Točnost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama

Marelić, Tome

Doctoral thesis / Disertacija

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:162:320546

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**

Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

University of Zadar Institutional Repository

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZADRU

POSLIJEDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

JADRAN - POVEZNICA MEĐU KONTINENTIMA

Tome Marelić

TOČNOST PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA

Doktorski rad

Zadar, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZADRU

POSLIJEDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

JADRAN - POVEZNICA MEĐU KONTINENTIMA

Tome Marelić

TOČNOST PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA

Doktorski rad

Mentor

Prof. dr. sc. Josip Faričić

Zadar, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZADRU
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

I. Autor i studij

Ime i prezime: **Tome Marelić**

Naziv studijskog programa: **Jadran – poveznica među kontinentima**

Mentor: **Prof. dr. sc. Josip Faričić**

Datum obrane: **23. prosinca, 2020.**

Znanstveno područje i polje u kojem je postignut doktorat znanosti: **interdisciplinarne znanosti, polje geografija**

II. Doktorski rad

Naslov: ***TOČNOST PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA***

UDK oznaka: **912:656.61](262.3)(091)(043)**

Broj stranica: **263**

Broj slika/grafičkih prikaza/tablica: **99 slika, 17 tablica**

Broj bilježaka: **67 bilježaka**

Broj korištenih bibliografskih jedinica i izvora: **131 bibliografska jedinica, 20 izvora**

Broj priloga: **24 priloga**

Jezik rada: **hrvatski**

III. Stručna povjerenstva

Stručno povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada:

1. **Izv. prof. dr. sc. Robert Lončarić**, predsjednik
2. **Prof. dr. sc. Stanislav Frangeš**, član
3. **Doc. dr. sc. Ante Blaće**, član

Stručno povjerenstvo za obranu doktorskog rada:

1. **Izv. prof. dr. sc. Robert Lončarić**, predsjednik
2. **Prof. dr. sc. Stanislav Frangeš**, član
3. **Doc. dr. sc. Ante Blaće**, član

UNIVERSITY OF ZADAR
BASIC DOCUMENTATION CARD

I. Author and study

Name and surname: **Tome Marelić**

Name of the study programme: **Adriatic – a Link between Continents**

Mentor: Professor **Josip Faričić, PhD**

Date of the defence: **December 23rd 2020**

Scientific area and field in which the PhD is obtained: **Interdisciplinary Sciences, field of Geography**

II. Doctoral dissertation

Title: ***THE ACCURACY OF ADRIATIC SEA RENDERINGS ON PORTOLAN CHARTS***

UDC mark: **912:656.61](262.3)(091)(043)**

Number of pages: **263**

Number of figures/graphical representations/tables: **99 figures, 17 tables**

Number of notes: **67 notes**

Number of used bibliographic units and sources: **131 bibliographic units, 20 sources**

Number of appendices: **24 appendices**

Language of the doctoral dissertation: **Croatian**

III. Expert committees

Expert committee for the evaluation of the doctoral dissertation:

1. **Associate professor Robert Lončarić, PhD**, chair
2. **Professor Stanislav Frangeš**, **PhD**, member
3. **Assistant professor Ante Blaće, PhD**, member

Expert committee for the defence of the doctoral dissertation:

4. **Associate professor Robert Lončarić, PhD**, chair
5. **Professor Stanislav Frangeš, PhD**, member
6. **Assistant professor Ante Blaće, PhD**, member

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Tome Marelić,** ovime izjavljujem da je moj **doktorski** rad pod naslovom ***TOČNOST PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA*** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, **15. siječnja, 2021.**

PREDGOVOR

Science is not about building a body of known 'facts'. It is a method for asking awkward questions and subjecting them to a reality-check, thus avoiding the human tendency to believe whatever makes us feel good.

Terry Pratchett, *The Science of Discworld*

O postojanju portulanskih karata doznao sam prvi put sredinom ili krajem svoje osnovne škole. Ne mogu se sa sigurnošću sjetiti u kojem sam razredu tada bio, no i dalje se poprilično živo sjećam trenutka kada me je kolega iz razreda pitao: *Jesi li znao da su još u srednjem vijeku znali kako izgleda Antarktik bez leda?* Pritom je mislio na sačuvani fragment karte Piri Reisa iz 1513. g. na kojoj je prikazan dio Atlantskog oceana, i ako mu ovaj tekst ikad dopadne u ruke, nadam se da će se prepoznati.

Premda su od tog trenutka pa do početka mojeg profesionalnog bavljenja problematikom portulanskih karata protekla najmanje dva desetljeća, iznimno sam zadovoljan što u konačnici imam priliku to ostvariti. Pojam *problematika* sam u prethodnu rečenicu ciljano umetnuo kako bih naglasio da i danas, nakon otprilike stoljeća i pol znanstveno–istraživačkog pristupa tim kartama, nismo uspjeli doznati „punu istinu" o načinu na koji su nastale. Naprotiv, omjer nepoznanica i poznatih informacija o njima i dalje sadrži prevagu u korist nepoznanica. Pritom ne mislim na spoznaje o završnoj rukopisnoj izradi karte tintom na pergameni, već na spoznaje o metodama s pomoću kojih su međuodnosi dimenzija iz prostora na njih bili inicijalno preslikavani. Točnost prikaza obalne crte Sredozemlja na portulanskim kartama je, s obzirom na razdoblje izrade najstarijih sačuvanih karata nevjerojatno visoka, što je vidljivo već pri letimičnom pogledu na njih, a upravo je ta točnost prikaza ono što me motiviralo da se time ozbiljnije pozabavim.

Jesu li portulanske karte projicirane ili ne? Koja je najvjerojatnija kartografska projekcija posrijedi ako jesu projicirane? Na koji način su osobe koje su inicijalno izradile takve karte vršile izmjere u prostoru? Postoji li poveznica između tih karata i magnetskog kompasa? Ova pitanja predstavljala su inicijalni motiv za početak istraživanja koje je rezultiralo ovim doktorskim radom, no ona predstavljaju motiv i za daljnja istraživanja, jer svaki novi znanstveni rad često

rezultira s više postavljenih pitanja naspram ponuđenih odgovora. Izuzev određivanja točnosti i, uvjetno, upotrjebljivosti odabranih karata iz uzorka, odgovor na pitanje na koji način su one inicijalno bile izrađene i dalje se nalazi negdje u budućnosti. Iako postoji mogućnost da znanstveno–istraživačkim putem nikada nećemo u potpunosti odgonetnuti enigmu njihova izvornog nastanka, to nas ne bi smjelo obeshrabriti u pokušajima da to postignemo.

Zahvaljujem svojem mentoru Josipu Faričiću na prepoznavanju važnosti ove teme i podršci da se time profesionalno bavim. Također, zahvaljujem Roelu Nicolaiju na ustupljenim radnim materijalima i savjetima u svrhu korekcija primijenjenih matematičkih formulacija. Iznimnu zahvalu želim uputiti i svojoj djevojci Tajani Ninković zbog razumijevanja obujma i složenosti ovog zadatka i podrške koju mi je pružila tijekom čitave provedbe istraživanja, brojnih prepravaka izračuna koje sam pritom izvodio te pisanja ovog rukopisa.

Rad posvećujem svima koji se ne boje postavljati teška pitanja i podvrgavati ih provjeri njihove istinitosti, izbjegavajući pritom ljudsku sklonost prema vjerovanju u ono što nas čini sretnima.

Tome Marelić

SADRŽAJ

SAŽETAK I
SUMMARY II
PROŠIRENI SAŽETAK III
EXTENDED SUMMARY VIII
POPIS OZNAKA I NAPOMENE XIII
ODABRANE PORTULANSKE KARTE XIII
ODABRANI PORTULANI XIV
OZNAKE ZA DODATNO DIFERENCIRANJE PORTULANSKIH KARATA XIV
OZNAKE UPOTRIJEBLJENE U IZRAČUNIMA XV
KORIŠTENE MJERNE JEDINICE XVII
TERMINOLOŠKE NAPOMENE XVII
1 UVOD: PORTULANSKE KARTE 1
1.1 SPECIFIČNOSTI KARTOGRAFIKE PORTULANSKIH KARATA 5
1.2 GEOMETRIJSKA OBILJEŽJA PORTULANSKIH KARATA 10
1.3 PORTULANSKE KARTE KAO NAVIGACIJSKA POMAGALA 13
1.3.1 MAGNETSKI KOMPAS I PORTULANSKE KARTE 14
POJAVA I RAZVOJ MAGNETSKOG KOMPASA U EUROPI 14
KOMPASNE RUŽE 16
1.3.2 NAVIGACIJSKE TEHNIKE IZ RAZDOBLJA UPORABE PORTULANSKIH KARATA 17
PORTULANSKE KARTE I ZBROJENA POZICIJA 17
TOLETA DE MARTELOIO 19
1.4 HIPOTEZE O RAZDOBLJU INICIJALNE IZRADE PORTULANSKIH KARATA 21
2 PREGLED PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA 23
2.1 PRETHODNA KARTOMETRIJSKA I ANALITIČKA ISTRAŽIVANJA 25
H. WAGNER, E. STEGER 25
A. CLOS-ARCEDUC, W. TOLBER 26
J. T. LANMAN, S. A. LOOMER 26
A. J. DUKEN, P. MESENBURG 28
J. E. KELLEY JR. 29
J. A. GASPAR, C. BOUTOURA, P. AMIENTI I A. M. VENGER 29
R. NICOLAI 31
3 OBUHVAT ISTRAŽIVANJA 33
3.1 ODABRANE PORTULANSKE KARTE I PORTULANI 34
3.2 PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANJA 35
3.3 CILJEVI I HIPOTEZE 37
CILJEVI: KARTOMETRIJSKA ANALIZA ODABRANIH KARATA 37
CILJEVI: UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA 39
HIPOTEZE 41

4 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA 42

4.1 KOREKCIJE DEFORMACIJA GEOMETRIJE PORTULANSKIH KARATA 42
4.2 REFERENTNE I IDENTIČNE VRIJEDNOSTI U EUKLIDSKOJ GEOMETRIJI 44
METODA NAJMANJIH KVADRATA I TRANSFORMACIJA PORTULANSKIH KARATA 47
FORMULACIJE ZA IZRAČUNE POGREŠAKA KARTIRANJA 51
4.3 HIJERARHIJSKI ODNOS PODATAKA I METODOLOŠKA OGRANIČENJA 55

5 KARTOMETRIJSKA ANALIZA ODABRANIH PORTULANSKIH KARATA 56

5.1 ODREĐIVANJE NAJSLIČNIJE KARTOGRAFSKE PROJEKCIJE 58
REFERENTNE KARTOGRAFSKE PROJEKCIJE 58
5.1.1 TOČNOST KARTIRANJA POLOŽAJA 62
TOČNOST KARTIRANJA POLOŽAJA PO X-OSI 65
TOČNOST KARTIRANJA POLOŽAJA PO Y-OSI 66
USPOREDBA RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA POLOŽAJA PO OSIMA 67
5.1.2 TOČNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI 68
5.1.3 TOČNOST KARTIRANJA AZIMUTA 69
5.1.4 RASPRAVA I ZAKLJUČCI 70
ZAKLJUČCI 71
5.2 TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA S OBZIROM NA VRIJEME IZRADE I MJERILO 72
GEOMETRIJSKI CENTRI REZIDUALA I DEVIJACIJE OD GEOMETRIJSKIH CENTARA 72
5.2.1 TOČNOST I PRECIZNOST *PROSJEČNIH PORTULANSKIH KARATA* 74
5.2.2 KRONOLOŠKI PREGLED TOČNOSTI I PRECIZNOSTI KARTIRANJA 79
TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA POLOŽAJA 80
TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI 81
TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA AZIMUTA 82
5.2.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI 83
ZAKLJUČCI 84
5.3 REGIONALNO–FUNKCIONALNE RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA 85
5.3.1 REGIONALNO–FUNKCIONALNE RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA UDALJENOSTI 86
APSOLUTNA TOČNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI 87
STVARNA TOČNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI 89
5.3.2 REGIONALNO–FUNKCIONALNE RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA AZIMUTA 92
5.3.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI 95
ZAKLJUČCI 97

6 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA 98

6.1 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA NJIHOVO MJERILO 100

6.1.1 ODREĐIVANJE MJERILA PORTULANSKIH KARATA ... 101
6.1.2 (NORMALIZIRANA) TOČNOST PORTULANSKIH KARATA ... 105
6.1.3 LOKALNA POVEĆANJA MJERILA NA PORTULANSKIM KARTAMA ... 107
6.1.4 LINEARNA MJERILA NA PORTULANSKIM KARTAMA I PORTULANSKA MILJA ... 111
PRETHODNI IZRAČUNI DULJINE PORTULANSKE MILJE ... 112
IZRAČUN IZNOSA PORTULANSKE MILJE ZA ODABRANE KARTE ... 113
6.1.5 RASPRAVA I ZAKLJUČCI ... 115
ZAKLJUČCI ... 117
6.2 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA POGREŠKE AZIMUTA I SMJER SJEVERA ... 118
6.2.1 ROTACIJA PORTULANSKIH KARATA I MAGNETSKA DEKLINACIJA ... 119
ODNOS ROTACIJE KARATA I MAGNETSKE DEKLINACIJE PREMA *CALS3K.4* ... 120
6.2.2 LOKALNE RAZLIKE U KARTIRANJU AZIMUTA S OBZIROM NA SMJER SJEVERA ... 123
6.2.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI ... 127
ZAKLJUČCI ... 128
6.3 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA VIDLJIVOST RELJEFA S MORA ... 129
6.3.1 VIDLJIVOST RELJEFA U OVISNOSTI O UDALJENOSTI OD OBALE ... 131
6.3.2 ODNOS VIDLJIVOSTI RELJEFA I TOČNOSTI KARTIRANJA AZIMUTA ... 137
PROSTORNI RASPORED VIDLJIVOG RELJEFA PRI VEĆIM UDALJENOSTIMA OD OBALE ... 138
VIDLJIVI RELJEF I TOČNOST AZIMUTA PREKOMORSKIH LINIJA ... 141
6.3.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI ... 145
ZAKLJUČCI ... 147
6.4 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA ZAPISE U PORTULANIMA ... 148
6.4.1 PRETHODNA ISTRAŽIVANJA O POVEZANOSTI PORTULANA I PORTULANSKIH KARATA ... 149
PRETHODNA KARTOMETRIJSKA ISTRAŽIVANJA ... 151
6.4.2 ANALIZA PODATAKA O UDALJENOSTIMA I KURSOVIMA IZ PORTULANA ... 153
6.4.3 PORTULANI I PORTULANSKA MILJA ... 157
PROBLEM TOČNOSTI DULJINA OBALNIH RUTA U PORTULANIMA ... 157
IZNOS PORTULANSKE MILJE S OBZIROM NA VRSTU I DULJINU RUTA ... 159
IZNOS PORTULANSKE MILJE S OBZIROM NA GEOMETRIJU KARTE ... 161
6.4.4 TOČNOST PODATAKA U ODABRANIM PORTULANIMA ... 165
TOČNOST PODATAKA O UDALJENOSTIMA ... 165
TOČNOST PODATAKA O KURSOVIMA ... 169
6.4.5 RASPRAVA I ZAKLJUČCI ... 180
ZAKLJUČCI ... 184

7 RASPRAVA ... 185

7.1 METODOLOŠKE RAZLIKE U ODNOSU NA SRODNA ISTRAŽIVANJA ... 188

7.1.1 IZVORNI ZNANSTVENI DOPRINOSI ISTRAŽIVANJA 190
7.2 PREGLED PODATAKA O TOČNOSTI PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA 191
7.2.1 TOČNOST PRIKAZA PRI *min. RMSE Re* 191
7.2.2 TOČNOST PRIKAZA U KONTEKSTU UPOTRJEBLJIVOSTI KARATA 194
7.3 IMPLIKACIJE NISKE VJEROJATNOSTI INICIJALNOG NASTANKA PORTULANSKIH KARATA U SREDNJEM VIJEKU 197
7.3.1 SUKCESIVNO KOPIRANJE KARATA 199
TOČNOST PRIKAZA S OBZIROM NA VRIJEME IZRADE 199
TOČNOST PRIKAZA S OBZIROM NA MJESTO IZRADE 200
TOČNOST PRIKAZA S OBZIROM NA MJERILO KARATA 201
7.3.2 PARADOKS (NE)VIDLJIVOSTI RELJEFA S MORA 203
ARGUMENTACIJA HIPOTEZE O IZRAVNOM TRANSFERU PODATAKA S PORTULANSKIH KARATA NA PORTULANE 204
7.3.3 ADAPTACIJA PRIKAZA NA MAGNETSKI SJEVER 205
7.3.4 KONFORMNA CILINDRIČNA KARTOGRAFSKA PROJEKCIJA 207
NEPOSTOJANJE PRIKAZA KONVERGENCIJE MERIDIJANA 207
ARGUMENTACIJA HIPOTEZE O KONFORMNOM CILINDRIČNOM PROJICIRANJU 208
POTENCIJALNA VALJANOST MJERILA UZDUŽ PARALELE φ=36° 210
7.4 USPRAVNA KONFORMNA CILINDRIČNA PROJEKCIJA PRIJE MERCATORA? 212
PROBLEM PRIKAZIVANJA LOKSODROME KAO RAVNE CRTE NA KARTI 212
RAZLIKE I SLIČNOSTI S HELENISTIČKOM KARTOGRAFIJOM 214
7.5 UZROČNO-POSLJEDIČNE ILI POSLJEDIČNO-UZROČNE VEZE? 216

8 ZAKLJUČCI 220

TOČNOST PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA 220
NISKA VJEROJATNOST INICIJALNOG NASTANKA PORTULANSKIH KARATA U SREDNJEM VIJEKU 222

9 LITERATURA I IZVORI 225

9.1 LITERATURA 225
9.2 IZVORI PORTULANSKIH KARATA 234
9.3 IZVORI PORTULANA 234
9.4 IZVORI REFERENTNIH PODATAKA 235

10 PRILOZI 237

10.1 POPIS SLIKA 256
10.2 POPIS TABLICA 262

SAŽETAK

Cilj istraživanja je utvrđivanje točnosti prikaza Jadranskog mora na odabranim portulanskim kartama kvantitativno–analitičkim putem te utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata u navigacijske svrhe. Rukopis je podijeljen na dvije glavne tematske cjeline.

U prvoj tematskoj cjelini, kartometrijski je određena kartografske projekcija koja je geometrijski najsličnija prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama. Potom je, u odnosu na tu projekciju, utvrđen kronološki tijek kretanja točnosti prikaza te geometrijska odstupanja pojedinih karata iz uzorka u odnosu na prosječnu geometriju prikaza na tim kartama. Također, u ovom dijelu istraživanja, bazen Jadranskog mora podijeljen je regionalno i funkcionalno, pri čemu su, za pojedine segmente te podijele, utvrđene razlike u točnosti prikaza na portulanskim kartama.

U drugoj tematskoj cjelini, prvi aspekt utvrđivanja upotrjebljivosti odabranih portulanskih karata čine fizičke dimenzije prikaza Jadranskog mora na tim kartama. Drugi aspekt je odnos rotacije prikaza na portulanskim kartama u smjeru obrnutom od kazaljke na satu i smjera i iznosa magnetske deklinacije iz razdoblja izrade odabranih karata. Treći aspekt predstavlja odnos terestričke navigacije Jadranskim morem i točnosti prikaza na portulanskim kartama, dok se četvrti aspekt odnosi na geometrijski međuodnos točnosti prikaza na portulanskim kartama i točnosti tekstualnih podataka o plovidbenim rutama sadržanih u odabranim portulanima.

Jedan od temeljnih zaključaka jest taj da je bazen Jadranskog mora na portulanskim kartama prikazan s iznimno visokom točnošću, poglavito u slučaju kartiranja azimuta prekomorskih linija, te da su portulanske karte, barem na dijelu na kojem je prikazano Jadransko more, ciljano izrađene u kartografskoj projekciji koja ima odlike uspravne konformne cilindrične (Mercatorove) projekcije. Također, rezultati istraživanja implicitno upućuju da portulanske karte najvjerojatnije nisu autentični srednjovjekovni kartografski proizvod, već da su, po svoj prilici, kopija karata koje su izrađene u nekom ranijem razdoblju. Temeljeni argumenti koji podupiru tu pretpostavku su: izračunano nepostojanje povećanja točnosti prikaza kroz razdoblje od tri stoljeća, veća točnost azimuta prekomorskih linija u odnosu na azimute obalnih linija te veća točnost prekomorskih ruta iz portulana (općenito) u odnosu na točnost obalnih ruta.

KLJUČNE RIJEČI: portulanske karte, portulani, točnost kartiranja, Jadransko more

SUMMARY

The research goal is to determine the level of accuracy of Adriatic Sea renderings on selected portolan charts by using the quantitatively–analytical approach and to determine the level of portolan charts usability for navigational purposes. The manuscript is divided into two main subject matters, each divided on three and four core chapters respectively.

In the first subject matter, map projection that is geometrically most similar to the renderings of Adriatic Sea on portolan charts has been determined catrometrcally. Afterwards, chronological variations of mapping accuracy, along with geometrical deviations of particular charts from their average geometry, were determined compared to that projection. Also, in this part of the research, the Adriatic Sea basin was divided regionally and functionally, which resulted in detection of mapping accuracy variations for each particular segment of those divisions.

In the second subject matter, the first aspect of charts' usability are physical dimensions of Adriatic Sea renderings on charts themselves. The second aspect is the relation between portolan charts' counterclockwise rendering tilt and direction and value of contemporary magnetic variation. The third aspect is the relation between terrestrial navigation across the Adriatic Sea and the portolan chart accuracy, whilst the fourth aspect represents geometrical interrelation between the accuracy of portolan charts and the accuracy of textual data on navigational routes contained in selected portolans.

One of the fundamental conclusions is that the renderings of Adriatic Sea basin on portolan charts show immense accuracy levels, especially if bearing-mapping accuracy of cross-basin lines is considered, and that portolan charts, at least on their segments on which Adriatic Sea is being displayed, are intentionally made with the appliance of map projection which shows the characteristics of conformal cylindrical (Mercator) map projection in its normal aspect. Also, the research results implicitly suggest that it is highly unlikely that portolan charts are genuine medieval products, but rather that they represent the copies of older charts made in certain earlier period. Fundamental arguments that support such assumption are: calculated inexistence of charts' accuracy increase during three-century period, higher accuracy of cross-basin bearings than that of coastal bearings, and higher accuracy of cross-basin routes in portolans (in general) than that of their coastal routes.

KEYWORDS: portolan charts, portolans, mapping accuracy, Adriatic Sea

PROŠIRENI SAŽETAK

Cilj istraživanja je utvrđivanje točnosti prikaza Jadranskog mora na odabranim portulanskim kartama kvantitativno–analitičkim putem koji se temelji na usporedbi geometrijskih obilježja točkastih uzoraka podataka preuzetih s portulanskih karata s geometrijskim obilježjima točkastog uzorka referentnih podataka preuzetih sa suvremene karte, projicirane u odabranim kartografskim projekcijama. Također, cilj istraživanja obuhvaća i analitički pristup utvrđivanju upotrjebljivosti portulanskih karata u navigacijske svrhe, koji je temeljen na četiri aspekta. Rukopis je podijeljen na dvije glavne tematske cjeline podijeljene na tri, odnosno na četiri temeljna poglavlja.

U prvoj tematskoj cjelini (poglavlje 5) izvršena je kartometrijska studija točnosti prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, a sastoji se od tri dijela. Prvi dio (poglavlje 5.1) odnosi se na određivanje kartografske projekcije koja je geometrijski najsličnija prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama. Drugi dio (poglavlje 5.2) odnosi se na utvrđivanje točnosti prikaza na portulanskim kartama iz kronološkog aspekta, ali i iz aspekta mjerila prikaza na tim kartama. U trećem dijelu (poglavlje 5.3) naglasak je stavljen na izračun razlika u točnosti prikaza pojedinih dijelova bazena Jadranskog mora na portulanskim kartama s obzirom na primijenjenu regionalno-funkcionalnu podjelu tog prostora.

Druga tematska cjelina (poglavlje 6) sačinjena je od četiri poglavlja i posvećena je utvrđivanju upotrjebljivosti portulanskih karata iz četiri aspekta. Prvi aspekt (poglavlje 6.1) predstavljaju fizičke dimenzije prikaza Jadranskog mora na tim kartama. Temeljni cilj ovog poglavlja je utvrđivanje točnosti prikaza udaljenosti izražene u milimetrima na karti prilikom njihove uporabe. Drugi aspekt (poglavlje 6.2) odnosi se na odnos rotacije prikaza na portulanskim kartama u smjeru obrnutom od kazaljke na satu i smjera i iznosa magnetske deklinacije iz razdoblja izrade odabranih karata. Treći aspekt (poglavlje 6.3) odnosi se na međuodnos terestričke navigacije i točnosti prikaza. Cilj tog poglavlja je utvrđivanje povezanosti između prethodno izračunane lokalne raspodijele točnosti prikaza i mogućnosti uočavanja obalnog i otočnog reljefa s broda prilikom plovidbe Jadranskim morem. Četvrti aspekt utvrđivanja upotrjebljivosti portulanskih karata u navigacijske svrhe (poglavlje 6.4) predstavlja geometrijski međuodnos točnosti prikaza na portulanskim kartama i točnosti tekstualnih podataka o plovidbenim rutama sadržanih u odabranim portulanima.

Svako od sedam temeljnih poglavlja koncipirano je tako da, osim temeljnog analitičkog dijela, sadrži manji i uvodni dio te pripadajuću raspravu i zaključke. Rasprave i zaključci iz svakog od tih sedam poglavlja potom su, u ponešto pojednostavljenom obliku, objedinjeni u poglavlja s temeljnom raspravom (poglavlje 7) i zaključcima (poglavlje 8). Takvom koncipiranju rukopisa pristupljeno je zbog toga što problematiku istraživanja portulanskih karata (čak i kada je ona temeljno kartometrijska, kao što je to slučaj u ovom istraživanju) nije moguće svesti isključivo na kartometrijski pristup, već je potrebno primijeniti tematski ponešto slojevitiji interdisciplinarni pristup. Naime, u svrhu stvaranja „krupne slike“ o

portulanskim kartama, a naročito o povezanosti tih karata i navigacije iz razdoblja izrade sačuvanih primjeraka, rezultate je potrebno kontekstualizirati u skladu s rezultatima istraživanja koja nisu isključivo geografska i geodetska – u slučaju ovog istraživanja riječ je u prvom redu o rezultatima istraživanja iz povijesti, tj. povijesti pomorstva i geofizike.

Prostor istraživanja je bazen Jadranskog mora s pripadajućim otočnim i okolnim kopnenim prostorom. Objekt istraživanja čini uzorak od 12 odabranih portulanskih karata i od 5 odabranih portulana – tekstualnih uputstava za plovidbu izrađivanih u razdoblju izrade portulanskih karata. Uzorak portulanskih karata podijeljen je, s obzirom na mjerila prikaza na tim kartama, na karte sitnog mjerila (karte A) i na karte krupnog mjerila (karte B). Karte iz skupine A dodatno su diferencirane na karte A1 i na karte A2 tako da karte A1 predstavljaju samostalne karte sitnog mjerila, dok karte A2 predstavljaju prikaz Jadranskog mora u sitnom mjerilu, uvezane u rukopisne zbirke karata u kojima se nalaze i karte B, na kojima je Jadransko more prikazano u krupnijem mjerilu.

Odabrane portulanske karte su, u svrhu izračuna pogrešaka kartiranja, „preklopljene“ s referentnom suvremenom kartom projiciranom u šest kartografskih projekcija. Na temelju izračunanih pogrešaka kartiranja utvrđena je točnost portulanskih karata kao *identičnih vrijednosti* u odnosu na suvremenu kartu kao plohu s *referentnim vrijednostima* tako da veći iznosi pogrešaka predstavljaju manju točnost kartiranja i obrnuto – manji iznosi pogrešaka predstavljaju veću točnost kartiranja. „Preklapanje“ portulanskih karata (u radu imenovano kao *georeferenciranje*) sa suvremenom kartom izvedeno je s pomoću *metode najmanjih kvadrata* uz primjenu *konformne 4-parametarske ravninske transformacije* na uzorku od 40 točaka. Uzorci točaka dodatno su povezani linijama u mrežu koja izgledom nalikuje mreži trokuta, no svaka od tih linija u istraživanju je tretirana kao samostalni geometrijski entitet. Uz pomoć takve mreže točaka i linija izračunana je točnost kartiranja položaja (po X-osi i po Y-osi), točnost kartiranja udaljenosti te točnost kartiranja azimuta u odnosu na (istovjetne) mreže referentnih točaka i linija na suvremenoj karti projiciranoj u odabranim kartografskim projekcijama.

U poglavlju 5.1, svaka od 12 portulanskih karata svedena je na mrežu od 40 identičnih točaka i 80 identičnih linija i georeferencirana na suvremenu kartu projiciranu u 6 referentnih kartografskih projekcija – HTRS96/TM, kosu gnomonsku projekciju (φ_0=+42,7°, λ_0=+16°) te uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju i uspravnu Mercatorovu projekciju u dvije izvedbe (zadane s parametrom φ_0=42,7° i φ_0=36°). Temeljni zaključak ovog poglavlja je da su portulanske karte iz geometrijskog aspekta najtočnije u odnosu na kartu u uspravnoj Mercatorovoj projekciji, poglavito kada je zadana s parametrom φ_0=42,7°. Naime, s tako zadanom Mercatorovom projekcijom, deformacije prikaza duljina za prikaz čitavog bazena Jadranskog mora na jednoj karti imaju najmanje iznose. Karta u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° odabrana je kao referentna ploha za gotovo čitavu daljnju kartometrijsku analitiku primijenjenu u istraživanju.

U poglavlju 5.2 svaka od 12 portulanskih karata, također svedena na mrežu od 40 identičnih točaka i 80 identičnih linija, georeferencirana je na kartu u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, odabranoj u poglavlju 5.1 kao geometrijski najsličniju prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama. U ovom poglavlju su, iz kumulativnih iznosa pogrešaka kartiranja svake od 40 točaka na svim odabranim kartama, izračunane njihove prosječne vrijednosti na temelju kojih su konstruirane *prosječne portulanske karte* – ukupna prosječna portulanska karta te *prosječne portulanske karte A1, A2 i B*. Za svaku od 12 karata iz uzorka izračunane su devijacije točnosti u odnosu na svaku od konstruiranih prosječnih karata, što je u kontekstu ovog istraživanja nazvano *preciznost kartiranja*. Cilj postupka je kvantitativno utvrđivanje geometrijskih sličnosti između pojedinih portulanskih karata, tj. utvrđivanje „stupnja standardizacije prikaza“ na tim kartama. Temeljni zaključak ovog poglavlja je da se točnost prikaza Jadranskog mora kroz razdoblje od tri stoljeća njihove izrade nije povećala te da su novije karte geometrijski međusobno izrazito slične. Također, na temelju provedene analize pretpostavljeno je da odabrane karte najvjerojatnije nisu nastale na temelju autentičnih prostornih izmjera (u plovidbi) izvršenih u razdoblju njihove izrade, već da je najvjerojatnije riječ o kopijama neke starije karte ili starijih karata.

U poglavlju 5.3, prikaz Jadranskog na kartama regionalno je podijeljen na sjeverni, srednji i južni dio, dok su linije u mreži funkcionalno podijeljene na obalne, prekomorske i otočne. Otočnim linijama povezane su odabrane točke na pučinskim otocima srednjeg Jadrana međusobno te sa susjednim im kopnenim točkama, također na srednjem Jadranu. Na temelju takve podjele izračunana je regionalno-funkcionalna točnost kartiranja udaljenosti i azimuta u odnosu na kartu u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Prema rezultatima te analize utvrđeno je da na prikazima Jadranskog mora na portulanskim kartama postoji trend prijelaza pogreške kartiranja udaljenosti iz pogrešaka negativnog iznosa na južnom dijelu prema pogreškama pozitivnog iznosa na sjevernom dijelu. Takve pogreške u odnosu na kartu u referentnoj projekciji se u odnosu na sfernu geometriju stvarnog prostora reflektiraju kao povećanje deformacija prikaza duljina od juga prema sjeveru. Također, ustanovljeno je da su pogreške kartiranja prekomorskih azimuta razmjerno ujednačene po čitavom polju karte. U ovom poglavlju je, primjenom regionalno-funkcionalne podjele prostora istraživanja, dodatno učvršćen zaključak o iznimnoj sličnosti geometrije prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama i njegovog prikaza na suvremenoj karti u Mercatorovoj projekciji.

U poglavlju 6.1 pogreške kartiranja udaljenosti, utvrđene u poglavljima 5.2 i 5.3 i izražene u kilometrima u odnosu na kartu u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° u mjerilu 1: 1 su, izračunom modula mjerila svake od karata iz uzorka, pretvorene u milimetre na karti. Na taj način nastojalo se utvrditi na koji se način točnost prikaza udaljenosti na kartama reflektira na mjerenje duljina prilikom rukovanja tim kartama u skladu s njihovim fizičkim dimenzijama. Na temelju rezultata ove analize proizašlo je da su karte iz skupine B, izrađene u otprilike tri puta krupnijem mjerilu od karata iz skupine A, u apsolutnim iznosima izraženima

u milimetrima na karti od njih oko tri puta manje točne. Rezultati ove analize nadopuna su zaključka iz poglavlja 5.2 tako da je ustanovljeno ne samo da su novije portulanske karte kopije starijih portulanskih karata, već i da su novije karte izrađene u krupnijem mjerilu zapravo uvećana kopija starijih karata izrađenih u sitnijem mjerilu. Dio ovog poglavlja čini i izračun *indeksa lokalnog povećanja mjerila* na portulanskim kartama, iz čijih rezultata je ustanovljeno da predimenzioniranost prikaza pojedinih objekata (specifična za kartografiku portulanskih karata), poglavito kada je riječ o prikazu pučinskih otoka, nije u skladu s njihovim stvarnim dimenzijama. U ovom poglavlju je, također, na temelju linearnih mjerila ucrtanih na portulanske karte izračunana i duljina *portulanske milje* u kilometrima za prostor Jadranskog mora u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji zadanu u dvije izvedbe: s parametrom φ_0=42,7° i s parametrom φ_0=36°.

U poglavlju 6.2 ispitan je odnos rotacije prikaza prostora u smjeru obrnutom od kazaljke na satu (što je također tipično obilježje portulanskih karata) i iznosa magnetske deklinacije istočnog smjera iz godina izrade odabranih karata, preuzetih s geofizičkog modela paleomagnetizma. Cilj poglavlja je utvrđivanje mogućnosti usporedne upotrjebljivosti karata iz uzorka i magnetskog kompasa prilikom plovidbe. Rezultati analize pokazali su da je rotacija prikaza Jadranskog mora na kartama s kraja 14. i početka 15. st. u skladu s iznosom magnetske deklinacije iz vremena njihove izrade. Na kasnijim kartama iznos rotacije prikaza ostao je nepromijenjen, dok je istodobno postojao pad iznosa magnetske deklinacije istočnog smjera. Također, u ovom poglavlju ustanovljene su i lokalne koncentracije azimuta koji su točniji u odnosu na smjer geografskog sjevera nego u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade karata.

U poglavlju 6.3 podaci o točnosti kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera uspoređeni su s digitalnim modelom vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa s mora za prostor Jadranskog mora i okolnog reljefa. Drugim riječima, nastojalo se utvrditi postoji li povezanost između mogućnosti viziranja reljefnih oblika iz perspektive pomorca na brodu i točnosti azimuta između tih objekata na portulanskim kartama. Rezultati analize pokazali su da su azimuti prekomorskih linija, uzduž kojih iz jedne krajnje točke nije moguće vizirati drugu krajnju točku, na portulanskim kartama točniji od azimuta obalnih linija i od azimuta otočnih linija srednjeg dijela Jadranskog mora (uzduž kojih je to izvedivo), tj. da su portulanske karte mogle poslužiti kao korisno navigacijsko pomagalo pri navigaciji prekomorskim rutama. Međutim, na temelju tih rezultata ustanovljeno je i da portulanske karte najvjerojatnije nisu nastale objedinjavanjem velikog broja lokalnih mjerenja provedenih prilikom plovidbe u kasnomu srednjem i ranomu novom vijeku.

U poglavlju 6.4, tekstualni podaci o kursovima i udaljenostima iz 5 odabranih portulana uspoređeni su s njihovim vrijednostima ucrtanima na karte u odabranim referentnim projekcijama i s istim vrijednostima ucrtanima na 12 portulanskih karata iz uzorka. Rezultati analize pokazali su da tekstualni podaci o plovidbenim rutama iz portulana u odnosu na karte

u referentnoj projekciji imaju točnost sličnu točnosti izračunanoj za portulanske karte u odnosu na kartu u referentnoj projekciji. Također, ustanovljeno je i da su ti podaci geometrijski sličniji njihovim preslikama na portulanske karte nego preslikama na karte u referentnim projekcijama. Temeljni zaključak izveden iz rezultata te analize jest da tekstualni podaci o plovidbenim rutama iz portulana nisu nastali na temelju autentičnih lokalnih mjerenja provedenih u razdoblju njihove izrade, već da su preuzeti s portulanskih karata, pri čemu su udaljenosti skalirane na dimenzije iz prirode. U ovom poglavlju izvršen je i izračun duljine portulanske milje, temeljen na tekstualnim podacima o udaljenostima preuzetih iz portulana. Taj izračun predstavlja ekstenziju izračuna duljine portulanske milje na temelju linearnih mjerila na portulanskim kartama, provedenog u poglavlju 6.1, a njegovi rezultati upućuju da je kartografska projekcija u kojoj su portulanske karte izrađene, vjerojatno zadana tako da linearno mjerilo vrijedi uzduž paralele $\varphi=36°$ (N), što približno odgovara geografskoj širini sredine Sredozemnog mora (kao cjeline sa svim pripadajućim morskim bazenima).

Iz rezultata istraživanja kao cjeline, tj. pri objedinjavanju partikularnih zaključaka temeljenih na rezultatima pojedinih poglavlja, izvedeno je nekoliko kumulativnih zaključaka. Jedan od njih je da je bazen Jadranskog mora na portulanskim kartama prikazan s iznimno visokom točnošću, ponajprije kada je riječ o kartiranju azimuta prekomorskih linija. Također, zaključeno je da su portulanske karte, barem na dijelu na kojem je prikazano Jadransko more, ciljano izrađene u kartografskoj projekciji koja ima odlike uspravne konformne cilindrične (Mercatorove) projekcije. Premda inicijalni cilj istraživanja nije bio testiranje hipoteze o srednjovjekovnoj izvornosti portulanskih karata, neizravnim putem pretpostavljeno je da portulanske karte najvjerojatnije nisu autentični srednjovjekovni kartografski proizvod, već da su, po svoj prilici, kopija karata koje su izrađene u nekom ranijem razdoblju. Temeljeni argumenti koji podupiru tu pretpostavku su: izračunano nepostojanje povećanja točnosti prikaza kroz razdoblje od tri stoljeća, veća točnost azimuta prekomorskih linija u odnosu na azimute obalnih linija te veća točnost prekomorskih ruta iz portulana (općenito) u odnosu na točnost obalnih ruta. Međutim, na temelju rezultata analiza primijenjenih u ovom istraživanju nije moguće sa sigurnošću pretpostaviti razdoblje i metodu izrade izvornika na temelju kojih su sačuvane portulanske karte izrađene.

EXTENDED SUMMARY

The research goal is to determine the level of accuracy of Adriatic Sea renderings on selected portolan charts by using the quantitatively–analytical approach based on the comparison of geometric features of point data samples obtained from portolan charts with geometric features of point data samples obtained from modern map, projected in selected map projections. The research goal also contains the analytical approach used to determine the usability of portolan charts for navigational purposes, based on four aspects. The manuscript is divided into two main subject matters, each divided on three and four core chapters respectively.

In the first subject matter (Chapter 5), composed out of three parts, the cartometric study of the accuracy of Adriatic Sea renderings on portolan charts has been preformed. The first part (Chapter 5.1) is about the calculation of the map projection that is geometrically most similar to the renderings of Adriatic Sea basin on portolan charts. The second part (Chapter 5.2) is about that calculation of rendering accuracy, but approached from the chronological and map scale aspects. In the third part (Chapter 5.3), stress has been put on the calculations of differences in rendering accuracy of certain segments of the Adriatic Sea basin on portolan charts in relation to applied regional and functional division of the charted area.

Second subject matter (Chapter 6) is made out of four chapters and is committed to the calculation of the usability of portolan charts, approached from four aspects. The first aspect (Chapter 6.1) represents physical dimensions of Adriatic Sea basin renderings on sample charts. The main purpose of this chapter is to determine the accuracy of distance-mapping expressed in millimeters on charts themselves. The second aspect (Chapter 6.2) refers to the relation between the counterclockwise rotation of coastline renderings on the portolan charts and the magnetic declination parameters from the era of charts' production. The third aspect (Chapter 6.3) refers to the interconnection between the previously calculated local distributions of rendering accuracy and the possibility of sightseeing the coastal and insular landforms while navigating across the Adriatic Sea basin. The fourth aspect of determining the portolan chart usability for navigational purposes (Chapter 6.4) is the geometrical interrelation between the accuracy of portolan charts and the accuracy of textual data on navigational routes contained in selected portolans.

Each of seven fundamental chapters is written in a way that it, except its core analytical part, also contains a smaller introductory part along with particular discussion and conclusions sections. Discussions and conclusions from each of those seven chapters are, afterwards, simplified and condensed into manuscript's core discussion (Chapter 7) and conclusions (Chapter 8) chapters. Such approach was chosen due to complexity of portolan charts' study, which (even when it is primarily cartometric study, like in this case) cannot be subdued to cartometric approach exclusively, yet it is necessary to apply a multi-layered

interdisciplinary approach. Namely, in order to create a "bigger picture" on portolan charts, and particularly about the interconnection between the charts and the navigation in times of the earliest preserved chart samples, the results need to be contextualized in accordance with research results that are not exclusively geographic or geodetic – in this case those are, in the first place, scientific results in the fields of history (of navigation) and geophysics.

The research area is the Adriatic Sea basin with its belonging insular and mainland area. The research object consists of 12 selected portolan charts and 5 selected portolans – textual navigation manuals, contemporary to the period of charts' production. Portolan chart sample was, in dependence of particular map scale, divided into smaller scale charts (Charts A) and larger scale charts (Charts B). Charts A were additionally divided into Charts A1 and A2 in a way that Charts A1 group represents individual maps, while Charts A2 group represents smaller scale maps that were bound in the same manuscript chart books with Charts B (on which the Adriatic Sea is charted in a larger scale).

Selected portolan charts were, in order to calculate their mapping errors, "overlapped" with the reference modern chart projected in six map projections. The accuracy of portolan charts, treated as *identical values*, compared to modern map treated as a plane that contains *reference values*, was determined from the results of mapping error calculations, in a manner that higher errors stand for lower accuracy and vice versa – smaller errors represent higher map accuracy. "Overlapping" charts over reference map (labeled as *georeferencing* in this manuscript) was performed by using *least squares estimation* method with the appliance of *4-parameter planar transformation* on a 40-point-sample. Point-samples were additionally interconnected with straight lines into a network which has an appearance of triangular network, but each line was treated as a standalone geometric entity. Such network was used to calculate the position-accuracy (along X-axis and Y-axis), distance-accuracy and bearing-accuracy in comparison with (equivalent) reference network, rendered over modern map, and projected in selected map projections.

In Chapter 5.1, each out of 12 portolan charts was reduced to a network made of 40 identical points and 80 identical lines, and was georeferenced on a modern map projected in 6 reference map projections – HTRS96/TM, the oblique gnomonic projection (φ_0=+42.7°, λ_0=+16°), the normal equidistant cylindrical projection, and the normal Mercator projection – both constructed in two ways (with φ_0=42.7° and φ_0=36° as standard parallels). Main conclusion of this chapter is that portolan charts, from the geometric perspective, show highest accuracy when they are compared to the normal Mercator projection, especially if set with φ_0=42.7°. In such case, distortions of distances show the smallest values if the normal aspect of the Mercator projection is being used to show the entire Adriatic Sea basin on a single map. Normal aspect of the Mercator projection with φ_0=42.7° was, therefore, used as a plane of reference for the almost entire remaining cartometric analysis applied in this research.

In Chapter 5.2, each of 12 portolan charts, also reduced to a network of 40 identical points and 80 identical lines, was georeferenced on a map projected in the Mercator projection φ_0=42.7°, selected in Chapter 5.1 as geometrically most similar to the renderings of the Adriatic Sea on portolan charts. In this chapter, average values of cumulative mapping errors for each of the 40 points on all selected charts were extracted and used to construct *average portolan charts – overall average portolan char*t and *average portolan charts A1, A2 and B*. For each of 12 charts, the deviations from the average chart were calculated, what was, in the context of this research, labeled as *mapping precision*. The aim of this procedure was to quantitatively determine geometrical similarities between particular charts, that is, to determine their "level of rendering standardization". Basic conclusion in this chapter is that the accuracy of Adriatic Sea renderings on portolan charts has not been improved during the three century period, and that newer charts are geometrically immensely similar to each other. Also, based on conducted analysis, it is presumed that it is very unlikely that selected charts were made upon authentic spatial surveys performed during navigation and prior to charts' production, but that it is more likely that they represent the copies of some older chart or older charts.

In Chapter 5.3, renderings of Adriatic Sea were region-wise divided into their northern, central and southern segments, while lines in the network were function-wise divided into coastal, cross-basin and island lines. Island lines connect the selected points on the islands of central Adriatic with each other and with the neighboring mainland points on central Adriatic. Such division was used to calculate regional and functional-dependent accuracy of distances and bearings compared to the Mercator projection φ_0=42.7° map. According to the analysis results, the trend of distance-mapping error transition from the negative values on the southern part towards positive ones on the northern part of the Adriatic has been detected. Such errors in comparison with the reference map are, in comparison with the spherical surface of the Earth, reflected as an increase of distance distortions in south – north direction. Also, it has been assumed that the errors of cross-basin bearings are more or less equal in value across the whole basin renderings. In this chapter, the usage of the region-wise and function-wise division of the research area additionally solidified the previous conclusion about the high similarity between portolan charts' geometry and the geometry of the Mercator projection map (for the Adriatic Sea area).

In Chapter 6.1, distance-mapping errors, detected in chapters 5.2 and 5.3, and expressed in kilometers in relation to the Mercator φ_0=42.7° projection in 1: 1 scale were, after the map scale of each chart from the sample had been calculated, transformed into millimeters on charts. Such method has been applied in order to determine how distance-mapping accuracy is reflected on the usage of the charts, regarding their physical dimensions. The results of this analysis had shown that Charts B, made in about three times larger scale than that of Charts A, are in absolute terms, expressed in millimeters on a map, about three times less accurate than

Charts A. Those results represent an extension of conclusion from Chapter 5.2 in a manner that it has been assumed not only that later charts are copies of older charts, but also that later larger scale charts are copies of older smaller scale charts. One part of this chapter is about the calculation of *local scale exaggeration index* of portolan charts, from whose results it is assumed that exaggeration of certain coastal features on those charts (a common characteristic of portolan charts' cartographic aesthetics), especially in the case of open-sea island coastline renderings on charts, is not related to physical dimensions of those features. Also, this chapter contains a scale-bar division length based calculation of *portolan mile* length expressed in kilometers for the Adriatic Sea basin area in relation to the reference Mercator projection map set with φ_0=42.7° and with φ_0=36° parameter respectively.

In Chapter 6.2, the relation between the counterclockwise rotation of portolan chart coastal renderings (also a common portolan chart feature) and the eastern magnetic variation tilts from the years of each particular chart production, extracted from paleomagnetic geophysical model. The aim of this chapter is to determine the possibility of simultaneous usage of charts and magnetic compass during navigation. Analysis results had shown that coastline rendering tilts on charts made in late 14th and early 15th centuries are closely related to magnetic variation tilts from that period. On later charts, coastline rendering tilts remained relatively unchanged, while simultaneously the decline of eastern magnetic variation had occurred. Local concentrations of bearings on charts that are more accurate compared to direction of geographic north than to direction of contemporary magnetic north were also detected in this chapter.

In Chapter 6.3, charts' bearing accuracy data compared to direction of the contemporary magnetic north were compared with the digital model of insular and mainland terrain visibility for the Adriatic Sea basin. In another words, the aim was to determine is there a connection between the possibility of terrain features sightseeing from the onboard sailors' perspective and the accuracy of bearings between those objects on portolan charts. The analysis results had shown that bearings of cross-basin lines, along which it is impossible to visualize one endpoint from another, are more accurate than bearings of coastal lines and of central Adriatic island-lines (along which it is possible to do so), and that the portolan charts could had been used as valuable navigational tool along cross-basin sailings. However, those same results had also shown that it is highly unlikely that portolan charts were graphic products of some sort of spatial database constructed upon local navigational surveys that were performed in late medieval and early modern period.

In Chapter 6.4, textual data on courses and distances, contained in 5 selected portolans, were compared with their values as if they were rendered on selected reference maps and also as if they were rendered on 12 sample portolan charts. The analysis results revealed that the accuracy of textual data on navigational routes in portolans compared to the reference map is similar to the accuracy of portolan charts compared to the reference map. It had, also,

been determined that portolan data are geometrically more similar to their portolan chart renderings than to their reference map renderings. Basic conclusion here is that textual portolan data were not generated upon authentic local navigational surveys, but that they are rather transferred directly from portolan charts, whilst distances were being scaled to dimensions in reality. In this chapter, another calculation of portolan mile length has been performed, this time based on textual data extracted from portolans. This calculation represents the extension of previously made one, based on portolan chart scale-bar division lengths, conducted in Chapter 6.1, and its results propose that latitude of $\varphi=36°$ (N), which is approximately the central latitude of the Mediterranean basin (with all of its sub-basins included), may be the latitude of true scale on portolan charts.

Out of results of this research as a unit, that is, when all of the conclusions of each separate chapter were aggregated, several cumulative conclusions had been extracted. One of them is that the Adriatic Sea basin is rendered on portolan charts with extremely high accuracy, especially in terms of cross-basin bearing accuracy. Also, it is concluded that portolan charts, at least on their segments on which Adriatic Sea is being displayed, are intentionally made with the appliance of map projection which shows the characteristics of the conformal cylindrical (Mercator) map projection in its normal aspect. Although the initial goal of this research was not aimed at testing the medieval origin hypothesis of the portolan charts, it was implicitly assumed that it is highly unlikely that they are genuine medieval products, but rather that they represent the copies of older charts made in certain earlier period. Fundamental arguments that support such assumption are: calculated inexistence of charts' accuracy increase during three-century period, higher accuracy of cross-basin bearings than that of coastal bearings, and higher accuracy of cross-basin routes in portolans (in general) than that of their coastal routes. However, based on the results of the analyses applied this research exclusively, it is not possible to propose with certainty the period of origin and the construction method of charts that were later used as a template for the production of the preserved portolan charts.

POPIS OZNAKA I NAPOMENE

ODABRANE PORTULANSKE KARTE[1]

OZNAKA:	IZVOR:	ZNAČENJE:
PK 1290.	**K1**	*Pisanska karta* (nepoznatog autora ili skupine autora) na kojoj je prikazan bazen Sredozemlja, Crno more i atlantsko pročelje zapadne Europe i sjeverozapadne Afrike (1290. g.) (najstarija sačuvana portulanska karta) (Slika 1—1., Slika 10—1.)
PV 1318.	**K2**	portulanska karta Jadranskog mora iz atlasa Pietra Vescontea (1318. g.) (Slika 10—2.)
KA 1375.	**K3**	portulanska karta središnjeg dijela Sredozemlja iz *Katalonskog atlasa* (1375. g.), čije se autorstvo pripisuje Abrahamu Cresquesu (Slika 10—3.)
AB 1436.	**K4**	portulanska karta središnjeg i zapadnog dijela Sredozemlja iz atlasa Andree Bianca (1436. g.) (Slika 10—4.)
GB 1466.	**K5**	portulanska karta središnjeg dijela Sredozemlja iz atlasa Gratiosusa Benincase (1466. g.) (Slika 10—5.)
AN 1482.	**K6**	portulanska karta središnjeg dijela Sredozemlja iz atlasa nepoznatog autora (anonim) (1482. g.), koja po stilu izrade uvelike podsjeća na karte Gratiosusa Benincase (Slika 10—6.)
BAa 1538.	**K7a**	portulanska karta središnjeg i istočnog Sredozemlja i jugozapadnog dijela Crnog mora iz atlasa Battiste Agnesea (1538. g.) (Slika 10—7.)
BAb 1538.	**K7b**	portulanska karta Jadranskog mora iz atlasa Battiste Agnesea, (1538. g.) (Slika 10—7.)
DHa 1570.	**K8a**	portulanska karta središnjeg i istočnog Sredozemlja i jugozapadnog dijela Crnog mora iz atlasa Dioga Homema (1570. g.) (Slika 10—8.)
DHb 1570.	**K8b**	portulanska karta Jadranskog mora iz atlasa Dioga Homema (1570. g.) (Slika 10—8.)
VDVa 1593.	**K9a**	portulanska karta središnjeg i istočnog Sredozemlja i jugozapadnog dijela Crnog mora iz atlasa Vicka Dimitrija Volčića (Vincus Demetrius Voltius Ragusens) (1593. g.) (Slika 10—9.)
VDVb 1593.	**K9b**	portulanska karta Jadranskog mora iz atlasa Vicka Dimitrija Volčića (Vincus Demetrius Voltius Ragusens) (1593. g.) (Slika 10—9.)

[1] Puni naslovi izvora portulanskih karata nalaze se u popisu izvora portulanskih karata, poglavlje 9.2. Na svim ostalim mjestima gdje se u tekstu ili grafičkim i tabličnim prilozima referira na njih, izvor portulanskih karata naveden je u skraćenom obliku (K1, ..., K5, ... K9b).

ODABRANI PORTULANI[2]

OZNAKA:	IZVOR:	ZNAČENJE:
LdN 1200.	**Po1**	portulan *Liber de Existencia Riverarium et Forma Maris nostri Mediterranei* (oko 1200. g.)
CdN 1275.	**Po2**	portulan *Lo Compasso de Navegare* (druga polovica 13. st.)
PdV 1445.	**Po3**	portulan Pietra de Versija (1445. g.)
P-M 1475.	**Po4**	portulan *Parma-Magliabecchi*, kompilacija sastavljena od pet portulana datiranih u razdoblje od sredine 15. do sredine 16. st.
Rz 1490.	**Po5**	portulan *Rizo* (1490. g.)

OZNAKE ZA DODATNO DIFERENCIRANJE PORTULANSKIH KARATA[3]

OZNAKA:	ZNAČENJE:
A / a	portulanska karta ili karte iz skupine A
A1 / a1	portulanska karta ili karte iz skupine A, podskupina A1
A2 / a2	portulanska karta ili karte iz skupine A, podskupina A2
B / b	portulanska karta ili karte iz skupine B

[2] Puni naslovi izvora portulana nalaze se u popisu izvora portulana, poglavlje 9.3. Na svim ostalim mjestima gdje se u tekstu ili grafičkim i tabličnim prilozima referira na njih, izvor portulana naveden je u skraćenom obliku (Po1, ..., Po5).

[3] Korištene oznake dodatno su objašnjene u tekstu.

OZNAKE UPOTRIJEBLJENE U IZRAČUNIMA[4]

OZNAKA:	MJ. JEDINICA:	ZNAČENJE:
φ	[°]	geografska širina na referentnom elipsoidu
λ	[°]	geografska dužina na referentnom elipsoidu
φ_0[5]	[°]	standardna geografska širina (referentne) kartografske projekcije[6]
λ_0	[°]	standardna geografska dužina (referentne) kartografske projekcije[7]
X-os	[km]	os apscisa u kartografskoj projekciji
Y-os	[km]	os ordinata u kartografskoj projekciji
AVG	-	aritmetička sredina (engl. *average*)
Re	[km]	ukupna pogreška kartiranja položaja (*ukupni rezidual*)
dX	[km]	pogreška kartiranja položaja po X-osi (*rezidual po X-osi*)
dY	[km]	pogreška kartiranja položaja po Y-osi (*rezidual po Y-osi*)
dL	[km]	pogreška kartiranja udaljenosti
LSE	-	metoda (procjene/izračuna) najmanjih kvadrata (engl. *least squares estimation*)
RMSE	[km, °]	korijen srednje kvadratne pogreške (engl. *root mean square error*)
min. RMSE Re	[km, °]	najmanji (mogući) korijen srednje kvadratne pogreške kartiranja položaja portulanskih karata (postignut po izvršenju postupka *LSE* uz korištenje odabrane planarne transformacije)
MAE	[km, °]	srednja apsolutna pogreška (engl. *mean absolute error*)
ME	[km, °]	srednja stvarna pogreška (engl. *mean error, mean biased error*)
$\overline{Re}$	[km]	rezidual geometrijskog centra (u referentno-identičnom oblaku točaka)
AVG $\overline{Re}$	[km]	prosječni iznos reziduala geometrijskih centara svih referentno-identičnih oblaka točaka
2×SD	[km, °]	dvostruka standardna devijacija (engl. *double standard deviation*)
AVG 2×SD	[km]	prosječni iznos dvostrukih standardnih devijacija svih referentno-identičnih oblaka točaka

[4] Korištene oznake s popisa poredane su približno prema redoslijedu poglavlja u kojima se one prvi put javljaju ili najčešće koriste.

[5] Kod uspravne ekvidistantne cilindrične projekcije, promjenom tog parametra dolazi do promjene izgleda stupanjske mreže za iste stupanjske intervale, primjerice za interval od 10° (kvadrati kada je φ_0=0° te pravokutnici izduljeni po pravcu sjever-jug pri φ_0>0°), dok se kod Mercatorove projekcije pritom mijenjaju iznosi deformacija prikaza duljina i površina, no ne i forma stupanjske mreže i prikazanog prostora.

[6] Kod gnomonske projekcije prefiks „+“ u kontekstu standardne geografske širine označava položaj središta projekcije sjeverno od ekvatora.

[7] Kod gnomonske projekcije prefiks „+“ u kontekstu standardne geografske dužine označava položaj središta projekcije istočno od Greenwichkog početnog meridijana.

2×SD A, 2×SD B	[km, °]	dvostruka standardna devijacija položaja karata iz skupine A ili iz skupine B u odnosu na (ukupnu) prosječnu portulansku kartu
2×SD A1-A1	[km, °]	dvostruka standardna devijacija karata iz podskupine A1 u odnosu na prosječnu portulansku kartu A1
2×SD A2-A2	[km, °]	dvostruka standardna devijacija karata iz podskupine A2 u odnosu na prosječnu portulansku kartu A2
2×SD B-B	[km, °]	dvostruka standardna devijacija karata iz skupine B u odnosu na prosječnu portulansku kartu B
ef. MAE dα	[°/km]	efektivna srednja apsolutna pogreška kartiranja azimuta
M	-	modul mjerila karte
≈M	-	zaokruženi modul mjerila portulanske karte
≈AVG M	-	zaokruženi prosječni modul mjerila portulanske karte
ef. M	[km/mm]	iznos duljine u kartografskoj projekciji (M=1) u kilometrima po jednom milimetru duljine na portulanskoj karti
MAE dL M	[mm]	srednja apsolutna pogreška prikaza duljina na portulanskoj karti u skladu s modulom mjerila karte
nor. MAE dL M	[mm]	srednja apsolutna pogreška na portulanskoj karti pri normalizaciji modula mjerila na M=1.000.000
lok. M	-	lokalni modul mjerila portulanske karte
ILPM	-	indeks lokalnog povećanja mjerila portulanske karte
θ_{man}	[°]	ručna rotacija skenirane portulanske karte, izvedena u svrhu pripreme portulanskih karata za postupak georeferenciranja
θ	[°]	rotacija portulanske karte nastala georeferenciranjem (pri *min. RMSE Re*)
δ	[°]	magnetska deklinacija (iz godine izrade portulanske karte)
θ_{mag}	[°]	rotacija portulanske karte u smjeru magnetskog sjevera iz godine izrade karte ($\theta_{mag}=\delta$)
θ_{geo}	[°]	rotacija portulanske karte u smjeru geografskog sjevera ($\theta_{geo}=0°$)
N_{LSE}, N_{mag}, N_{geo}	-	smjer sjevera pri *LSE* (*min. RMSE Re*), smjer magnetskog sjevera i smjer geografskog sjevera
$\lvert d\alpha \rvert$	[°]	apsolutna pogreška kartiranja azimuta, pri rotaciji portulanskih karata uslijed postupka georeferenciranja (*min. RMSE Re*)
$\lvert d\alpha_{mag} \rvert$	[°]	pogreška kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade karte
$\lvert d\alpha_{geo} \rvert$	[°]	apsolutna pogreška kartiranja azimuta s obzirom na smjer geografskog sjevera
H	[m]	nadmorska visina
H_{min}	[m]	minimalna nadmorska visina
ABS A	[km^2]	ukupna vidljiva površina reljefa
dA	[km^2]	ukupni prirast vidljive površine reljefa
AVG ef. ABS A	[km^2/km]	prosječna efektivna vidljiva površina reljefa po kilometru puta

KORIŠTENE MJERNE JEDINICE

KRATICA:	ZNAČENJE:	KRATICA:	ZNAČENJE:
[m]	metar	**[°]**	stupanj[8]
[km]	kilometar	**[ZK]**	zraka kompasa[9]
[NM][10]	nautička milja, 1NM=1.852 m	**[km²]**	kilometar kvadratni
[PM]	portulanska milja[11]	**[g.]**	godina

TERMINOLOŠKE NAPOMENE

Premda je dio obale Jadranskog mora koji danas pripada Italiji jugozapadni, a dio koji pripada Sloveniji, Hrvatskoj, Bosni i Hercegovini, Crnoj Gori, Albaniji i manjim dijelom Grčkoj sjeveroistočni, ti dijelovi su, u svrhu pojednostavnjivanja i skraćivanja teksta, u rukopisu nazvani **„zapadna obala“** i **„istočna obala“**.

Termini **„vrijednosti u prirodi“**, **„stvarne dimenzije“**, **„stvarni iznosi“** i sl. te njihove izvedenice odnose se na dimenzije Zemlje aproksimirane na model kugle radijusa 6.371 km ili na model referentnog elipsoida projiciranog na kartu u referentnoj kartografskoj projekciji zadanoj s parametrom M=1.

U poglavlju 6.3 termin **„model Zemlje kao kugle radijusa 6.371 km“** odnosi se na Zemlju aproksimiranu na model kugle čiji se radijus (R) izračunava po formuli: $R = \frac{2a+b}{3}$, na temelju duljina velike poluosi (a=6.378.137 m) i male poluosi (b=6.356.752,3 m) Zemlje aproksimirane na model rotacijskog elipsoida GRS80 (Moritz, 2000.: 130)

[8] Izmjerene i izračunane vrijednosti kutova izražavane su u stupnjevima u decimalnom obliku, izuzev pojedinih preuzetih vrijednosti izraženih u heksagezimalnom obliku. Za izražavanje vrijednosti azimuta (odnosno kursova) slovnim oznakama, korištene su kratice na engleskom jeziku, npr. N (enlg. *north*, tj. sjever), WSW (engl. *west-northwest*, tj. zapad-sjeverozapad) i sl. Slovne oznake za pripadajuće azimute prikazane su na shematiziranom prikazu ruže vjetrova (Slika 1—5.).

[9] *Zraka kompasa* (engl. *point of compass*) je mjera rezolucije kompasne ruže u skladu s brojem prikazanih smjerova (vjetra). Na portulanskim kartama, na kojima se kompasne ruže sastoje od 32 smjera (vjetra), rezolucija (jedne) zrake kompasa iznosi 11,25° (±5,625°). O elementima kompasnih ruža na portulanskim kartama, imenima smjerova (vjetrova), njihovoj rezoluciji i zrakama kompasa detaljnije je pisano u poglavljima tematski vezanim uz magnetsku deklinaciju i plovidbu uz pomoć magnetskog kompasa.

[10] Međunarodna hidrografska organizacija (*International Hydrographic Organization*, IHO) kao kraticu za nautičku milju predlaže *M* (IHO, 2016.: 9), no s obzirom na to da je u radu kratica *M* korištena za označavanje modula mjerila karte, za nautičku milju u rukopisu je korištena kratica *NM*. Prema Međunarodnom uredu za utege i mjere (engl. *International Bureau of Weights and Measures*, franc. *Bureau international des poids et mesures*, BIPM) kratica za nautičku milju nije strogo dogovorena i razlikuje se među pojedinim strukama, a one koje su u upotrebi su: *M*, *NM*, *Nm* i *nmi* (BIPM, 2006.: 127).

[11] Metoda izračuna i izračunani iznos portulanske milje detaljno su objašnjeni u tekstu.

ova stranica je namjerno ostavljena prazna

1 UVOD: PORTULANSKE KARTE

Portulanske karte su kartografski prikazi izrađivani tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka, a njihova namjena bila je pomoć pri navigaciji. Termin portulanska karta (engl. *portolan chart*) u upotrebi je od kraja 19. stoljeća, a izveden je iz naziva portulan (na talijanskom izvorniku *portolano*), što je sinonim za plovidbene upute u tekstualnom obliku koje su bile izrađivane i korištene usporedno s portulanskim kartama (Campbell, 1987.: 375). Valja istaknuti da se i portulanske karte u nekim izvorima mogu pronaći pod nazivom portulan (engl. *portolano*, množ. *portolani*, npr. u Nordenskiöld, 1897. ili Beazley, 1904.), pri čemu treba biti pažljiv u interpretaciji da bi se izbjegla zabuna o tome je li pritom riječ o kartama ili o pisanim uputstvima za plovidbu. Prethodno korišteni nazivi tih karata bili su, jednostavno, pomorska karta (engl. *sea chart*, *mariner's chart*), ili „ravna karta" (engl. *plane chart*) (Wagner, 1896. (1969.): 477)[12]. Uz termin portulanska karta, neki od predloženih naziva bili su i „kompasne karte" (engl. *compass charts*), kako ih je 1868. nazvao S. Ruge, „loksodromske karte" (engl. *loxodromic charts*), kako ih je 1881. g. nazvao A. Breusing ili „karte s rumbima" (engl. *rhumb line charts*), što je termin koji je M. Eckert predložio 1925. g. (Campbell, 1987.: 375)[13].

Portulanske karte bile su izrađivane rukopisno, korištenjem tinte na pergameni – štavljenoj janjećoj, jarećoj ili telećoj koži, kao samostalni kartografski prikazi ili kao serije karata uvezene u zbirke (Nordenskiöld, 1897.: 16; Stevenson, 1911.: 17; Campbell, 1987.: 376). Prostor koji je na njima najčešće prikazivan u pravilu obuhvaća Sredozemno i Crno more te atlantsko pročelje zapadne Europe i sjeverozapadne Afrike. Na nekim portulanskim kartama taj prostor prikazan je u cjelini, no izrađivane su i karte na kojima su u krupnijem mjerilu prikazani pojedini dijelovi tog prostora, npr. samo zapadni ili samo istočni dio Sredozemlja. Također, postoje i portulanske karte još krupnijih mjerila sa samostalnim prikazima morskih bazena, primjerice Jadranskog ili Crnog mora. Autori koji su izrađivali portulanske atlase, primjerice Pietro Vesconte, Battista Agnese, Diogo Homem ili Vicko Dimitrije Volčić, čije su portulanske karte korištene kao objekt istraživanja u ovom radu, u

[12] Pojam „ravna karta" (engl. *plane chart*) odnosi se na pomorske karte izrađivane u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji s ekvatorom kao standardnom paralelom, poznatoj i po francuskom nazivu *plate carrée*, za koje neki autori (A. Cortesão, R. Uhden i S. García Franco) pogrešno zaključuju da mogu biti produkt kartiranja pri svjesnom zanemarivanju sfernosti Zemlje (engl. *plane charting*), tvrdeći da su na taj način konstruirane i portulanske karte (Nicolai, 2014.: 72). O tome da karta u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji nije i ne može biti produkt kartiranja pri svjesnom zanemarivanju sfernosti Zemlje opširno je pisao R. Nicolai (Nicolai, 2014.: 70-81), a dodatna argumentacija u prilog tim dokazima na primjeru prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama te opširniji tekst o ovom problemu prikazan je u kasnijim poglavljima u radu. Najstarija sačuvana karta na kojoj je označena stupanjska mreža paralela na temelju koje se može ustanoviti nastojanje da se karta izradi u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji je tzv. *Cantinova planisfera* (engl. *Cantino planisphere*) izrađena 1502. g. (Gaspar, 2013.: 69-70), a čuva se u *Biblioteca Estense*, Modena, Italija (sign.: c.g.a.2)

[13] O primjerenosti korištenja naziva „kompasne karte" i „loksodromske karte" pisano je u nastavku rada.

pravilu su na listovima tih atlasa prostor Sredozemlja prikazivali segmentirano po pojedinim morskim bazenima ili grupama morskih bazena. Prema općeprihvaćenoj dataciji portulanskih karata, najstariji sačuvani primjerci izrađeni su krajem 13. i početkom 14. stoljeća, a u njih se ubrajaju, primjerice, *Pisanska karta*, *Cortonska karta* i *Avignonska karta*.

Slika 1—1. *Pisanska karta* s kraja 13. st. (izvor: K1) s vektoriziranom obalnom crtom kopna i većih otoka.

Pisanska karta[14] (Slika 1—1.) koju je izradio nepoznati autor ili skupina autora smatra se najstarijom sačuvanom portulanskom kartom i datirana je u razdoblje između 1275. i 1290. g., a čuva se u *Bibliothèque nationale de France* (sign.: GE B-1118 (RES)), Pariz, Francuska. Na njoj je prikazan čitav bazen Sredozemnog i Crnog mora te atlantsko pročelje zapadne Europe i sjeverozapadne Afrike. Jedan od temeljnih pokazatelja vremena njezine izrade je ime grada-luke Manfredonije, koja se nalazi na jugoistočnoj obali Apeninskog poluotoka, a osnovao ju je kralj Manfred od Sicilije 1258. g. Naime, na *Pisanskoj karti* toponim Manfredonia je napisan crnom, a toponim susjednog grada-luke Sipont, koji je prethodno bio znatno značajnije naselje, crvenom tintom. Zbog toga se pretpostavlja da je ta karta izrađena za vrijeme izgradnje i širenja Manfredonije u koju je stanovništvo potom postupno preseljeno iz susjednog Siponta. Budući da toponim Manfredonia nije upisan na *Cortonsku kartu*, pretpostavlja se da je ta portulanska karta možda i starija od *Pisanske karte* (Campbell, 1987.: 382, 402; Nicolai, 2014.: 211). *Cortonska karta* je pohranjena u Cortoni, Italija, u knjižnici *Biblioteca dell'Accademia Etrusca di Cortona* (sign.: Port.105). Prostor prikazan na toj karti uključuje pojas od Baleara do Bliskog istoka, budući da je dio karte koji prikazuje prostor

14 *Pisanska karta* nazvana je tako jer je prethodno bila u posjedu obitelji iz Pise, no vjerojatno je izrađena na području Genove (Crone, 1953.: 30).

zapadno od Baleara iz nekog razloga odstranjen prije nego je karta pronađena 1957. g. *Avignonska karta*, koja se čuva u *Archives départementales de Vaucluse*, Vaucluse, Francuska, (sign.: Port 01, 3E 54, 888bis), otkrivena je 2002. g. Karta nije sačuvana u cijelosti, a na dijelu karte koji je sačuvan prikazan je prostor zapadnog Sredozemlja i dijela zapadnoeuropske atlantske obale. Datirana je u prvo desetljeće 14. st., u razdoblje nakon izrade *Pisanske karte* i *Cortonske karte*, a prije izrade portulanskih karata Pietra Vescontea (Mille i Fermon, 2017.: 21). Genoveškom kartografu Pietru Vesconteu pripisane su najstarije sačuvane portulanske karte kojima je moguće točno odrediti godinu izrade (Wagner, 1896. (1969.): 481; Nordenskiöld, 1897.: 16; Beazley, 1904.: 159). Najstarija portulanska karta kojoj je bilo moguće utvrditi autora je karta talijanskog svećenika Giovannija da Carignana (Nordenskiöld, 1897.: 22; Duken, 1988.: 86) i starijeg je datuma izrade od Vesconteovih karata. Pretpostavlja se da je izrađena na prijelazu iz 13. u 14. stoljeće. Bila je pohranjena u *Archivio di Stato* (sign.: CN 2), Firenza, Italija, no uništena je 1943. g. prilikom savezničkog bombardiranja grada (Campbell, 1987.: 380). Alternativno tumačenje razdoblja izrade *Pisanske karte* i *Cortonske karte* te razmjerno nedavno otkrivene *Lucca karte*, pohranjene u *Archivio di Stato*, Lucca, Italija (sign.: Cornice 194/I.) ponudio je R. Pujades, koji njihovu izradu smješta u drugu polovicu 14. st. Razmjerno nisku sofisticiranost prikaza obalne crte na tim kartama pripisuje nedovoljnim crtačkim vještinama njihovih autora (Pujades, 2013.: 25-26). Na temelju radio-karbonske (^{14}C) analize izvršene povodom objave Pujadesovog članka, inicirane od strane *Bibliothèque nationale de France*, pergamena *Pisanske karte* je sa sigurnošću od 95 % datirana u razdoblje 1170.-1270. g. (Hofmann i dr., 2016., prema Livieratos i Boutoura, 2018.: 162).

Izrada portulanskih karata na području Sredozemlja nastavljena je tijekom kraja srednjeg i početka novog vijeka. U tom razdoblju razvilo se nekoliko „škola“ izrade portulanskih karata, od kojih je one europske u osnovi moguće raščlaniti na talijansku i katalonsku školu. Njihova temeljna razlika je u tome što portulanske karte iz talijanske škole sadrže iznimno malo sadržaja na dijelu karte koji prikazuje kopno, dok je kod karata katalonske škole taj dio karte upotpunjen sadržajem, primjerice shematiziranim vedutama većih gradova, njihovim zastavama i sl. (Campbell, 1987.: 373, 392). Osim toga, od početka 14. st. portulanske karte izrađivane su i unutar islamsko-arapskih kulturnih krugova (Brice, 1977.: 55-56), od kojih je jedna od najpoznatijih karata tzv. *Karta Magreba* (engl. *Maghreb chart*), *Biblioteca Ambrosiana,* Milano, Italija (sign.: MS. S.P. II 259) (Soucek, 1994.: 263).

Početkom 16. st., u vrijeme velikih geografskih otkrića i razvoja astronomske navigacije u Europi, na portulanske karte počinju se ucrtavati paralele i oznake geografske širine u stupnjevima. Pritom one prestaju biti portulanske karte u punom smislu riječi, budući da na portulanskim kartama koje su prethodile tom razdoblju nije ucrtavana stupanjska mreža s pripadajućim oznakama geografske širine i geografske dužine u stupnjevima (Campbell, 1987.: 371, 392). Unatoč tome, portulanske karte s prikazom Sredozemlja i Europe i dalje su bile izrađivane u standardiziranoj portulanskoj kartografici, s rumbima i bez prikaza

stupanjske mreže. Primjer takvih karata su karte iz atlasa portugalskog kartografa Dioga Homema (Slika 1—2.), koji je svoj rad započeo u Portugalu, a nastavio u Veneciji (Texeira de Mota, 1958., prema Nicolai, 2014.: 49). Prikaz rumba na pomorskim kartama zadržao se i kasnije, sve do sredine 18. st. (Wagner, 1896. (1969.): 477).

Detaljan popis poznatih portulanskih karata izrađenih do 1500. g. sastavio je T. Campbell u članku *Census of pre-sixteenth-century portolan charts* (Campbell, 1986.) i poglavlju *Portolan Charts from the Late Thirteenth Century to 1500* (Campbell, 1987.). Iscrpne sinteze o pomorskim kartama kakve su se izrađivale i koristile tijekom 16. i 17. st. s popisima karata iz tog razdoblja izradili su C. Astengo u poglavlju *The Renaissance Chart Tradition in the Mediterranean* (Astengo, 2007.) i F. Fernández-Armesto u poglavlju *Maps and Exploration in the Sixteenth and Early Seventeenth Centuries* (Fernández-Armesto, 2007.).

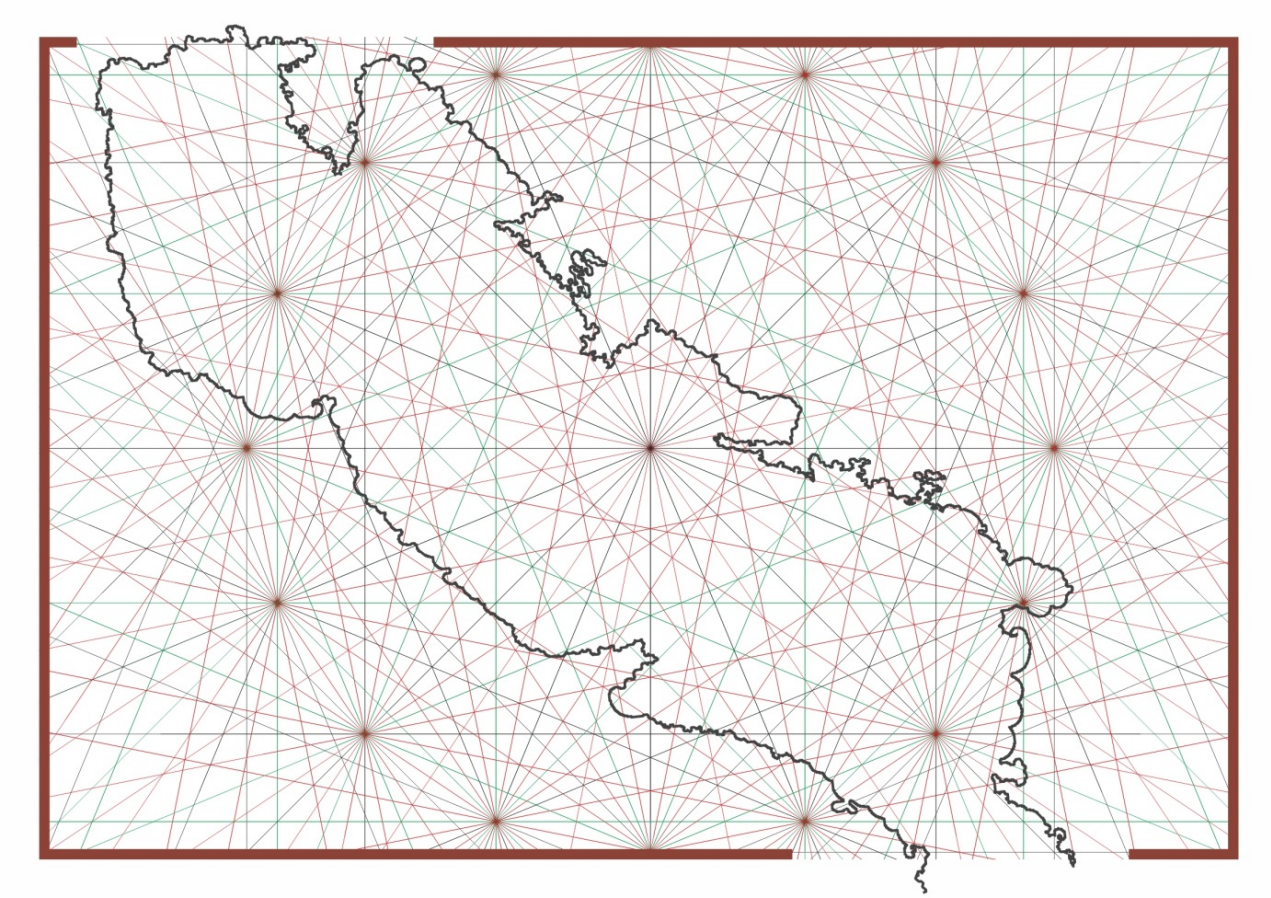
Slika 1—2. Portulanska karta iz atlasa Dioga Homema (1570.) – primjer portulanske karte novijeg datuma izrade na kojoj je Jadransko more prikazano preko cijelog polja karte u krupnijem mjerilu (izvor: K8b).

1.1 SPECIFIČNOSTI KARTOGRAFIKE PORTULANSKIH KARATA

Portulanske karte specifične su po jedinstvenoj kartografskoj estetici koju je vrlo jednostavno uočiti, a moguće ju je podijeliti u nekoliko istaknutih obilježja kao što su: mreža rumba, način upisivanja toponima, standardizirano isticanje pojedinih sadržaja bojama, shematizirani prikaz obalne crte s preuveličavanjem pojedinih geografskih sadržaja, redukcija geografskog sadržaja u unutrašnjosti kopna, ruže vjetrova i kompasne ruže, linearna mjerila bez oznake mjernih jedinica te izrazita međusobna sličnost tih karata. O jedinstvenim vizualnim obilježjima portulanskih karata pisali su brojni autori, primjerice A. E. Nordenskiöld (1897.), E. G. R. Taylor (1951.b), T. Campbell (1987.), M. Monmonier (2004.), R. Pujades (2007.) te mnogi drugi.

Jedno od temeljnih obilježja portulanskih karata čine rumbi – ravne crte koje se u pravilnim stupanjskim intervalima od 22,5° ili 11,25° radijalno šire iz središta koje se nalazi u središtu polja karte tvoreći mrežu koja pokriva cijelo polje karte. Kada je prostor prikazan na karti izrazitije izduljen po pravcu istok – zapad, primjerice u slučaju prikaza čitavog Sredozemlja i atlantske obale Europe i Afrike, ponekad su na karte ucrtavana dva takva središta širenja rumba, kao što je to slučaj na *Pisanskoj karti*.

Oko središta širenja rumba nalaze se čvorišta koja se nalaze na (nevidljivoj) kružnici, čiji je promjer često jednak širini polja karte uzduž njegove kraće osi, npr. na karti Jadranskog mora iz atlasa Dioga Homema (Slika 1—2.), no to, međutim, nije pravilo. Primjerice, promjer kružnice s čvorištima na *Pisanskoj karti* (Slika 1—1.) manji je od širine polja karte uzduž njegove kraće osi. S druge strane, na listu iz *Katalonskog atlasa*, na kojem je prikazan središnji dio Sredozemlja s Jadranskim i Jonskim morem (izvor: K3), čvorišta su raspoređena uzduž lukova tri koncentrične kružnice, čiji se promjeri međusobno razlikuju za oko 72 mm, tako da se minimizira grafički konflikt tih čvorišta s geografskim sadržajem karte (Slika 10—3.). Iz čvorišta ucrtanih uzduž lukova kružnica rumbi se, kao i iz centra kružnice, šire radijalno u pravilnim stupanjskim intervalima, za što je, također, osmišljeno više načina izvedbe. Primjerice, na *Pisanskoj karti* rumbi su među čvorištima premreženi tako da je svako čvorište povezano s nasuprotnim čvorištem te s čvorištima s kojima u odnosu na njega zatvara maksimalni raspon od ±45° (raspon od ukupno 90°). Na portulanskoj karti zapadnog Sredozemlja iz atlasa Andree Bianca (Slika 10—4.: izvor: K4) taj maksimalni raspon iznosi ±67,5° (ukupno 135°), dok se na karti Jadranskog mora iz atlasa Dioga Homema rumbi iz čvorišta šire u svim smjerovima u intervalima od 11,25° (Slika 1—3.). Rumbi osim svoje estetske specifičnosti imaju i izrazitu funkcionalnu namjenu vezanu uz određivanje kursa plovidbe, o čemu je detaljnije pisano u nastavku rada.

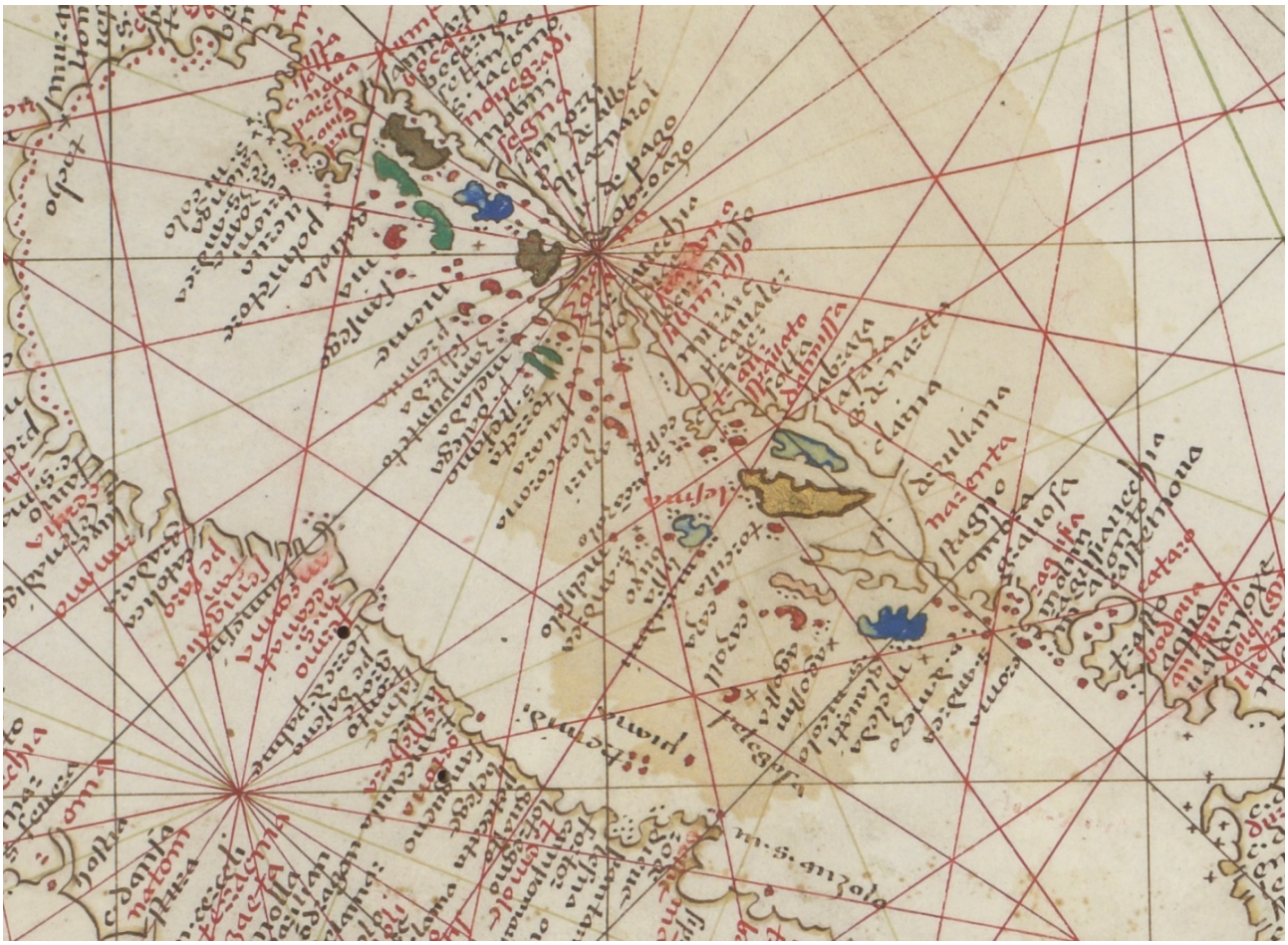


Slika 1—3. Pojednostavnjeni prikaz portulanske karte Jadranskog mora iz atlasa Dioga Homema s vektoriziranom obalnom crtom kopna i mrežom rumba.

Drugo važno obilježje portulanskih karata je način pisanja toponima, koji su pojedinačno upisivani otprilike okomito na pravac pružanja obalne crte, dok zajedno čine niz koji prividno prati izgled krivulje prikaza obalne crte. Također, toponimi koji se odnose na kopneni dio prikazanog prostora, u pravilu su to luke, upisivani su na dio karte koji prikazuje kopno, dok su toponimi koji se odnose na otoke, ponajprije one koji se nalaze bliže otvorenome moru, upisivani na dio karte koji prikazuje more, no zarotirani suprotno u odnosu na toponime koji se odnose na susjedno kopno (Slika 1—4.). Razlog tomu je, vjerojatno, izbjegavanje zabune o tome odnosi li se toponim na otok ili na susjedno kopno (Nicolai, 2014.: 28). Iznimku čini karta Giovannija da Carignana na kojoj su toponimi koji se odnose na luke pisani na dijelu karte koji prikazuje more, zbog čega je upitno je li ta karta uopće bila izrađena u svrhu navigacijskog pomagala (Campbell, 1987.: 380). Zbog takvog načina upisivanja toponima portulanske karte nemaju jedinstvenu orijentaciju prilikom korištenja, već je, da bi se svi toponimi mogli pročitati, kartu potrebno zakretati.

Primjerice, toponime koji se odnose na istočni kopneni dio obale Jadranskog mora najjednostavnije je pročitati tako da se kartu zakrene u položaj „sjeverozapad prema gore“, dok je toponime vezane uz otoke istočne obale koji se nalaze bliže otvorenom moru najjednostavnije pročitati tako da se kartu zakrene u položaj „jugoistok prema gore“. Naime,

toponimi pojedinih (većih) otoka Jadranskog mora koji se nalaze relativno blizu obale kopna upisivani su na dio karte koji predstavlja kopno, u nizu u kojem se nalaze i toponimi koji se odnose na kopneni dio prikazanog prostora, tj. također se najlakše čitaju tako da se kartu zakrene u položaj „sjeverozapad prema gore“ (Slika 1—4.). U svrhu najjednostavnijeg čitanja toponima koji se odnose na kopneni dio zapadne obale Jadranskog mora, a koji su pozicionirani „prekomorski“ u odnosu na one na istočnoj obali, kartu je također potrebno zarotirati u položaj „jugoistok prema gore“. S druge strane, prema načinu upisivanja toponima koji se odnose na veće geografske cjeline na nekim portulanskim kartama, može se zaključiti da je temeljna orijentacija karte ipak postojala. Najčešće je to sjever, no primjerice, na kartama iz atlasa Pietra Vescontea proizlazi da je temeljna orijentacijska strana svijeta njegovih karata jug (Slika 10—2.).

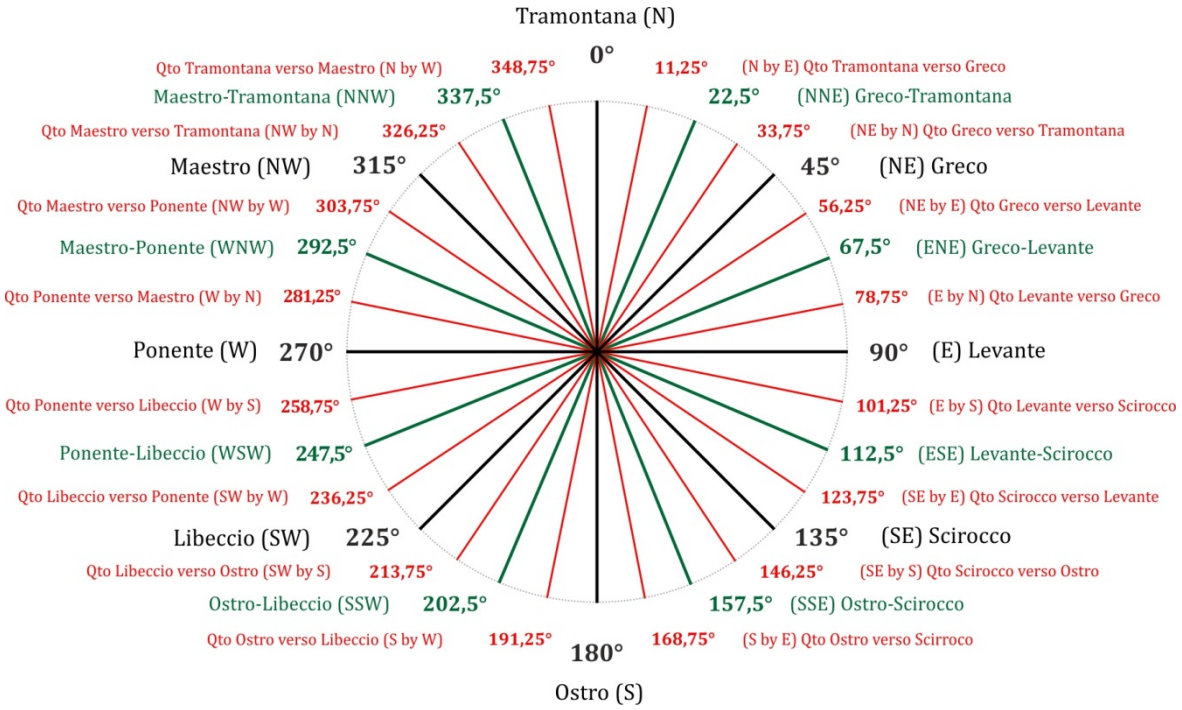


Slika 1—4. Orijentacija toponima na prikazu Jadranskog mora na portulanskoj karti istočnog Sredozemlja i Crnog mora iz atlasa Battiste Agnesea (1538.) – toponimi otoka bližih obali upisani su na dio karte koji predstavlja kopno, primjerice: *pago* (Pag), *solta* (Šolta) ili *abraza* (Brač) (izvor: K7a).

Na portulanskim kartama uočljiv je način korištenja tinte u različitim bojama, tj. standardizacija boja u kartografskom prikazivanju geografskog sadržaja, ispisivanju toponima te iscrtavanju pojedinih geometrijsko-funkcionalnih elemenata na tim kartama. Korištene boje u pravilu su crna ili smeđa, crvena, zelena, plava, žuta, srebrna i zlatna (Nordenskiöld,

1897.: 16). Toponimi su ispisivani tako da je najveći dio njih pisan crnom ili smeđom tintom, dok su važniji toponimi ispisivani crvenom tintom (Monmonier, 2004.: 20). Obalna crta je u pravilu crtana korištenjem crne ili smeđe tinte i izvedena kao tanka linija s dodatnim estetskim dekoracijama sjenčanjem usmjerenim prema kopnu. Kopneni prostor nije bio ispunjavan bojom za razliku od unutrašnjosti otoka koji su bojeni tako da se postigne što izrazitija razlika u boji između susjednih otoka.

Najveća standardizacija boja vidljiva je u iscrtavanju rumba, korištenjem isključivo tri boje: crne (ili smeđe), crvene i zelene (Slika 1—3., Slika 1—5.). Crna ili smeđa boja koristila se za crtanje rumba koji se odnose na 8 glavnih vjetrova iz smjerova N, NE, E, SE, S, SW, W i NW. Zelenom bojom iscrtavani su rumbi koji predstavljaju 8 vjetrova koji pušu između njih, iz smjerova NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW i NNW, tzv. „međuvjetrovi" (engl. *half-winds*). Crvena boja korištena je za iscrtavanje rumba koji se odnose na tzv. „četvrtine"[15] (engl. *quarter-winds*), njih ukupno 16, koji se nalaze između glavnih vjetrova i međuvjetrova (Slika 1—5.) (Kotruljević, 1464. (2005.): 151; Campbell, 1987.: 377; Nicolai, 2014.: 28).

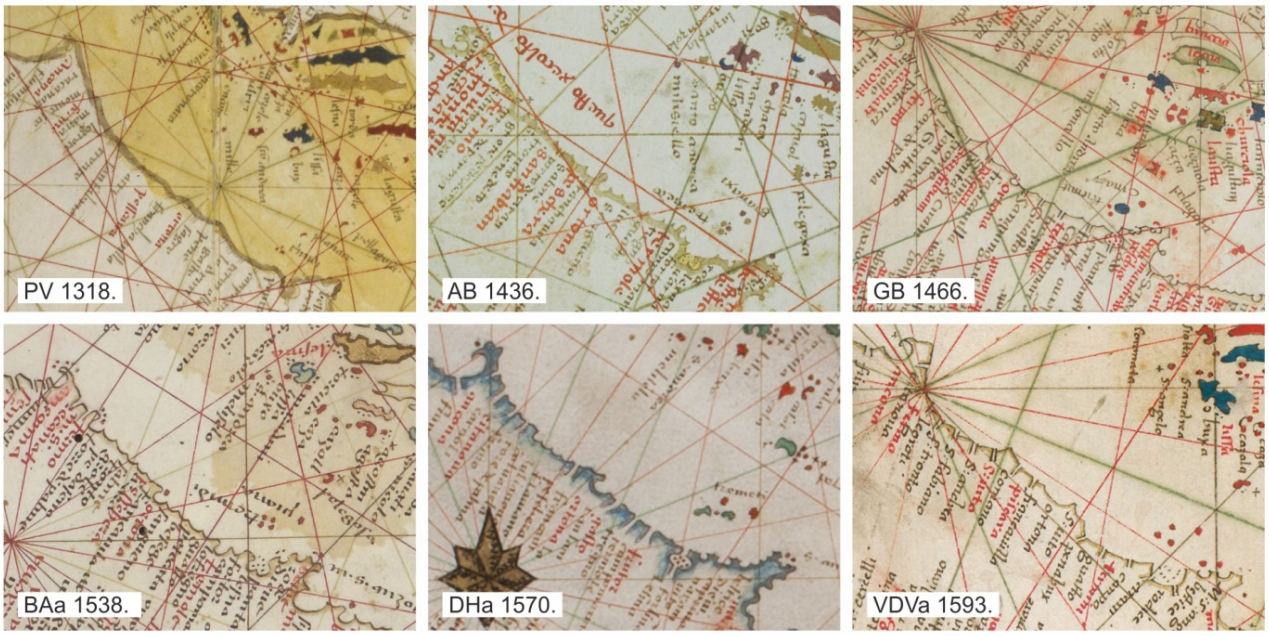


Slika 1—5. Azimuti na ružama vjetrova na portulanskim kartama i njihovi nazivi prema tadašnjim nazivima za vjetrove na prostoru Sredozemlja (Qto znači *quattro*, tj. četvrtina).

Portulanske karte specifične su i po načinu iscrtavanja obalne crte kopna i otoka, čiji je prikaz vidno shematiziran. Najveći dio obalne crte prikazan je kao niz lukova poluelipsi, s tjemenima usmjerenim prema kopnu, a njihovi spojevi djeluju nazubljeno, no postoje i

15 Termini *međuvjetrovi* i *četvrtine* preuzeti su iz Kotruljević, 1464. (2005.): 151.

izvedbe sa sitnim prekidima obalne crte između tih lukova (Slika 1—6.). S druge strane, pojedini dijelovi obale, poput lučkih bazena, rtova, uvala i otoka, ucrtani su vidljivo predimenzionirano i s izgledom ponekad sličnim stvarnoj konfiguraciji obale na tim mjestima, naročito kod prikaza lučkih bazena (Nicolai, 2004.: 34).



Slika 1—6. Tipičan prikaz obalne crte na portulanskim kartama na primjeru prikaza središnjeg dijela zapadne obale Jadranskog mora (obalni pojas između Ancone i Rta Gargano, Italija) na 6 portulanskih karata izrađenih u razdoblju od gotovo tri stoljeća.

Pri proučavanju tih karata iz geometrijskog aspekta, predimenzioniranost prikaza pojedinih dijelova prostora moguće je tretirati kao lokalna povećanja mjerila portulanskih karata. Predimenzioniranost pojedinih dijelova obale razmatralo je više autora, no konsenzus oko razloga i svrhe naglašavanja pojedinih dijelova obale na takav način nije postignut. Primjerice, T. Campbell pretpostavlja da se na taj način nastojala istaknuti važnost pojedinih elemenata iz prirode za plovidbu, poglavito manjih otoka (Campbell, 1987.: 377). Isti zaključak izvodi i S. A. Loomer pri čemu dodaje da je moguće da je predimenzioniranost i naglašavanje izgleda pojedinih elemenata obale posljedica autorskih detaljnih i autentičnih saznanja o prikazanom prostoru (Loomer, 1987.: 21-22). J. T. Lanman smatra da je razlog tomu upravo suprotan, odnosno tvrdi da autori portulanskih karata općenito nisu polagali pretjerano mnogo pažnje izgledu obale prilikom izrade karata (Lanman, 1987.: 43-45). R. Nicolai naglašava da je taj fenomen svakako potrebno detaljnije istražiti (Nicolai, 2014.: 414). Izračun lokalnih povećanja mjerila te korelacija njihovih iznosa i prosječnih mjerila portulanskih karata jedna je od strukturnih sastavnica istraživanja, prikazana u poglavlju 6.1.3.

1.2 GEOMETRIJSKA OBILJEŽJA PORTULANSKIH KARATA

Geometrija portulanskih karata njihovo je najspecifičnije obilježje, poglavito kada se u obzir uzme vrijeme izrade sačuvanih karata. S druge strane, nepostojanje sačuvanih materijalnih dokaza koji na izravan način svjedoče o načinu izrade tih karata i dalje dovodi u pitanje sve postojeće znanstvene spoznaje o njihovom geometrijskom aspektu i svrstava ih u domenu hipoteza. Raspon do sada izvedenih zaključaka o geometriji portulanskih karata relativno je širok i neki od njih međusobno su kontradiktorni, no ono što im je svima zajedničko jest to da su interpretacije rezultata svih istraživanja, uključujući i ovaj rad, u izrazitoj ovisnosti o ulaznim parametrima istraživanja i korištenoj metodologiji. Širi pregled istraživanja ove vrste prikazan je u poglavlju 2.1.

Iznimna točnost prikaza obalne crte na portulanskim kartama jedno je od najuočljivijih obilježja tih karata, a svakako i jedno od znanstveno najintrigantnijih. Usporedi li se primjerice, točnost prikaza prostora Sredozemlja na *Pisanskoj karti* i na *Herefordskoj karti*[16], kojima se pripisuje otprilike ista godina izrade, vidljivo je da ih međusobno po geometrijskom aspektu uopće nije moguće usporediti. Naime, prikaz prostora na T-O kartama, tj. na *mappama mundi* (kartama svijeta), uključujući i prikaz Sredozemlja, promatran iz suvremenog kuta gledišta, doima se izrazito deformiranim, no on predstavlja subjektivnu, simboličku i metaforičku percepciju prostora koja počiva na religijskim i kulturološkim temeljima i čiji autori nisu težili egzaktnosti prikaza, odnosno točnosti kartiranja (Woodward, 1987.: 290). S druge strane, prikaz bazena Sredozemlja na najstarijim sačuvanim portulanskim kartama je već na razini opažanja izrazito sličan njegovom prikazu na suvremenim kartama nastalim na temelju izmjere prostora i projiciranim u definiranim kartografskim projekcijama (Slika 1—1., Slika 1—7.).

Ono što geometriju portulanskih karata kao predmet znanstvenog istraživanja čini dodatno zanimljivom je nepostojanje sačuvanih kartografskih prikaza ili bilo kojih drugih povijesnih dokaza koji upućuju na evoluciju točnosti prikaza iz onog svojstvenog *mappama mundi* do prikaza kakav se narednih stoljeća ustalio na portulanskim kartama (Nicolai, 2014.: 40). Također, geometrijski su točnije i od tzv. *ptolemejskih karata* (Nicolai 2014.: 390), čije se izvorno autorstvo pripisuje helenističkom geografu Klaudiju Ptolemeju (prijelaz iz 1. u 2. stoljeće), a koje su obilježile kartografiju Europe tijekom renesanse, gotovo tisućljeće i pol kasnije (Harvey, 1987.: 7). Ovdje je važno istaknuti da sačuvane karte poznate pod nazivom *ptolemejske karte* nisu sačuvani izvorni rad Klaudija Ptolemeja, već srednjovjekovni pokušaji rekonstrukcije tih karata temeljeni na interpretaciji njegovoga geografskog opusa, sačuvanog u pisanom obliku. Pretpostavlja se da su najranije takve karte mogle biti izrađene tijekom 12.

[16] *Herefordska karta* najveća je sačuvana T-O karta (*mappamundi*) i vjerojatno je izrađena u Engleskoj (Woodward, 1987.: 306). Karta se čuva u Herefordskoj katedrali (Engleska, UK).

st. na području nekadašnjeg Bizanta (Bagrow, 1945., prema Dilke, 1987.: 189.). Zbog njihovog dokazanog nepripadanja izvornom autoru, sačuvane ptolomejske karte je, stoga, moguće izuzeti iz vremenskog slijeda razvoja točnosti kartografskog prikazivanja prostora na kartama izrađenim na području Sredozemlja u razdoblju koje je prethodilo pojavi sačuvanih portulanskih karata.

Slika 1—7. Usporedba izgleda obalne crte kopna na prikazu Jadranskog mora u atlasima Andree Bianca (1436.) i Vicka Dimitrija Volčića (1593.) s prikazom na karti u Mercatorovoj projekciji i njihova međusobna usporedba.

Iznenadna pojava portulanskih karata na kojima već od početka njihove pojave postoji iznimno visoka točnost prikaza prostora te naredna stoljetna stabilnost, gotovo pa nepromjenjivost njihove geometrije (Nordenskiöld 1897.: 18; Beazley, 1904.: 160) (Slika 1—7.), potakle su mnoge istraživače da pokušaju znanstvenim metodama utvrditi način na koji se to dogodilo, tj. kada su točno izvorne portulanske karte nastale i na koji su način konstruirane. Prve znanstvene spoznaje temeljene na istraživanju geometrije portulanskih karata sežu u kraj 19. st. Primjerice, A. E. Nordenskiöld je na temelju izrazite međusobne sličnosti tih karata te njihove iznenadne pojave s vrlo točnom geometrijom još od najstarijih sačuvanih karata, zaključio da su sve portulanske karte nastale na temelju predloška koji nije sačuvan, a kojeg je nazvao „normalna portulanska karta“ (engl. *normal-portolano*). Također, Nordenskiöld pretpostavlja da je moguće inicijalno vrijeme izrade tog predloška 1. st., a potencijalno izvorno autorstvo pripisuje Marinu iz Tira (Nordenskiöld, 1897.: 3, 10).

H. Wagner je, primijenivši kartometrijsku metodu analize portulanskih karata[17], utvrdio da linearno mjerilo na portulanskim kartama ne prikazuje isti iznos po čitavom polju karte, već se njegova vrijednost razlikuje među pojedinim morskim bazenima prikazanim na karti.

[17] Hermann Wagner je prva osoba koja je kvantitativno pristupila proučavanju starih karata, a ime *kartometrijska metoda* je njegov izvorni naziv za tu metodu, naglasivši pritom da ju je prijeko potrebno uvoditi u budućnosti, budući da se dotadašnji pristup proučavanju starih karata svodio isključivo na opažanja bez primjene egzaktnih mjerenja i računanja (Wagner, 1896. (1969.): 478).

Na temelju toga pretpostavio je da su portulanske karte zapravo kompoziti izrađeni na temelju starijih karata koje nisu sačuvane ili pronađene, a na kojima su samostalno prikazani pojedini morski bazeni Sredozemlja. Također, zaključio je da srednjovjekovni kartografi, prilikom spajanja tih karata u cjelinu, vjerojatno nisu posjedovali dovoljnu količinu znanja i vještina da bi te predloške mogli međusobno ispravno uskladiti po pitanju mjerila (Wagner, 1896. (1969.): 482, 487).

Portulanske karte najstariji su poznati kartografski prikazi na kojima je ucrtano linearno mjerilo (Taylor, 1951.b: 354). Ono je ucrtano na svim portulanskim kartama i povezano je s mjernom jedinicom poznatom kao *portulanska milja* (u tekstovima različitih autora spomenuta je kao *millaria*, *miglia*, ili, skraćeno, *mia*), u kojoj su udaljenosti izražavane i u portulanima, pisanim plovidbenim uputstvima, izrađivanim istodobno s portulanskim kartama. Zapisi o tome na koji je način portulanska milja povezana s oznakama na mjerilima portulanskih karata postojao je na danas uništenoj karti Giovannija da Carignana te na portulanskoj karti Vescontea de Maiola iz 1512. g. Prema tim zapisima, udaljenost između dvije točke na linearnom mjerilu odnosi se na 10 (portulanskih) milja u stvarnosti (Nordenskiöld, 1897.: 22). Na temelju tog podatka, Nordenskiöld, ali i poneki kasniji autori, nastojali su izračunati vrijednost portulanske milje izražen u suvremenim mjernim jedinicama, budući da izravan zapis o njezinom iznosu nije sačuvan (Nordenskiöld, 1897.: 20). Također, portulanska milja poslužila je i kao temelj istraživanja povezanosti između portulanskih karata i portulana, kakva su sproveli, primjerice, J. T. Lanman (1987.) i R. Nicolai (2014.), a tom međuodnosu posvećeno je poglavlje 6.4 ovog istraživanja.

U svojoj kartometrijskoj analizi H. Wagner je nastojao utvrditi stupanj sličnosti prikaza obalne crte na portulanskim kartama i prikaza obalne crte na kartama u suvremenim kartografskim projekcijama. Uočio je da je jedan od rezultata provedene analize rotacija portulanskih karata u smjeru kazaljke na satu i to tako da, prilikom individualnog ispitivanja točnosti preklapanja pojedinih bazena Sredozemlja, vrijednosti rotacije variraju, s vrijednostima između 7° i 8° za zapadni dio i između 9° i 10° za istočni dio (Wagner, 1896. (1969.): 481). Kartometrijska analiza portulanskih karata koju je sproveo H. Wagner rezultirala je konkretnim naznakama o možda i najvažnijem geometrijskom obilježju portulanskih karata – mogućnosti da su one ciljano izrađene u nekoj kartografskoj projekciji. Wagner navodi da su prije njegovog rada postojale ideje da je moguće da su te karte ciljano projicirane, tj. kazuje da je talijanski geodet M. Fiorini bio uvjeren da bi ekvidistantna azimutna projekcija bila najprikladniji izbor (Wagner, 1896. (1969.): 477). Međutim, Wagner smatra da je vjerojatnije da je pritom riječ o nekoj od uspravnih cilindričnih projekcija, budući da je na temelju njegove analize proizašlo da bi za pojedine morske bazene i paralele i meridijani, kada bi postojali na portulanskim kartama, bili prikazani kao ravne, međusobno paralelne crte (Wagner, 1896. (1969.): 480). Detaljniji presjek ovog te kasnijih kartometrijskih istraživanja portulanskih karata prikazan je u kasnijim poglavljima rada.

1.3 PORTULANSKE KARTE KAO NAVIGACIJSKA POMAGALA

Potreba za pomorskom kartom kao navigacijskim pomagalom, promatrano iz suvremene perspektive, je svakako neupitna. No, da bi karta bila učinkovito navigacijsko pomagalo, potrebno je da prije svega zadovoljava određene kriterije vjernosti prikaza, pri čemu se u pomorstvu prioritet daje vjernosti prikaza kursa na kartama.

U suvremeno doba u navigacijske svrhe koriste se karte izrađene u uspravnoj konformnoj cilindričnoj projekciji. Nju je konceptualno razvio flamanski kartograf Gerard Mercator, izradivši 1569. g. kartu svijeta u toj projekciji. Metodu njezine konstrukcije potom su matematički precizirali engleski matematičari Edward Wright 1599. g. i Henry Bond 1645. g. (Keuning, 1955.: 18; Monmonier, 2004.: 8).

Najstariji sačuvani zapis o korištenju pomorske karte na brodu datira iz 1270. g., u kojem se spominje da je brod na kojem je plovio francuski kralj Luj IX., na putu iz Aigues-Mortesa, (Francuska) prema Tunisu zbog nevremena bio prisiljen pristati u Cagliariju (Sardinija). Pritom mu je član posade broda pokazao kartu uz pomoć koje ga je uvjerio da se nalaze blizu obale (Kretschmer, 1909.: 50-51; Taylor, 1951.b: 345; Campbell, 1987.: 439). Godine 1294., zabilježeno je da je tadašnji princ od Aragonije zatražio povrat broda kojeg su prethodno bili zaplijenili talijanski gusari, prilikom čega je navedeno da su se u sastavu inventorija tog broda nalazile najmanje tri karte. Također, aragonijska uredba iz 1354. g. sadržavala je obvezu da sve galije u svojem inventoriju trebaju posjedovati dvije pomorske karte (Campbell, 1987.: 439-440). Korištenje portulanskih karata na brodovima tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka usko se vezuje uz uvođenje i širenje upotrebe kompasa na Sredozemlju.

Najveća poteškoća u suvremenom znanstvenom određivanju uloge i važnosti portulanskih karata za plovidbu je iznimno niska vjerojatnost da su sačuvane karte uistinu bile korištene na brodovima kao navigacijska pomagala. Naime, T. Campbell je, nadovezujući se na spomenutu aragonijsku uredbu o kartama kao obveznoj brodskoj opremi, pretpostavio da su sačuvane portulanske karte bile preskupe da bi se proizvodile u tolikim količinama, tj. da su one vrlo vjerojatno bile izrađene u svrhu „prestiža i prosvjetljenja“ te da karte koje su bile korištene na brodovima nisu sačuvane. Tu tezu potkrijepio je i činjenicom da na sačuvanim kartama nema vidljivih tragova uporabe u navigacijske svrhe te predložio provedbu kemijske analize karata da bi se utvrdilo postoje li na njima tragovi morske soli (Campbell, 1987.: 440).

Rezultati recentne multispektralne analize pet portulanskih karata izrađenih od 1320. do 1633. g. pokazali su da na ispitanom uzorku karata nema tragova morske soli. Temeljem tog podatka i korištenja zlatne tinte za izradu karata, autori zaključuju da su ispitane karte bile izrađene za bogate naručitelje, tj. da nisu bile namijenjene za brodsku uporabu (France i dr., 2018.: 4-5).

1.3.1 MAGNETSKI KOMPAS I PORTULANSKE KARTE

Spoznaja o svojstvu rude magnetit da privlači željezo postojala je na području Sredozemlja, prema tumačenjima Talesa, Platona i K. Ptolemeja, još u starom vijeku (Nordenskiöld, 1897.: 48-49; Smith, 1970.: 11). Međutim, uporaba magnetita u svrhu orijentacije je, po svoj prilici, inicijalno nastala na području Kine u 1. st. za vladavine dinastije Han (Smith, 1970.: 12; Pelham, 1980.: 47). Kompas je, prema kineskim službenim dokumentima, bio korišten u navigacijske svrhe u Kini na prijelazu iz 11. u 12. st., dok se, prema poznatim zapisima, na području arapskoga kulturnog kruga kompas spominje najranije 1243. g. (Taylor, 1957.: 96; Kreutz, 1973.: 369). Prema tumačenjima nekih znanstvenika, kompas su u Europu iz Kine prenijeli Arapi preko Indijskog oceana, prema drugima kompas su na Sredozemlje prenijeli Normani, a postoje i naznake da je kompas neovisno izumljen u Italiji krajem srednjeg vijeka (Nicolai, 2014.: 149).

POJAVA I RAZVOJ MAGNETSKOG KOMPASA U EUROPI

Najstarija poznata pisana svjedočenja o uporabi kompasa u navigacijske svrhe na području Europe sadržana su u djelima *De Utensilibus* i *De Naturis Rerum* na prijelazu iz 12. u 13. st. Njihov autor je engleski redovnik i znanstvenik Alexander Neckam, koji se školovao i podučavao na Sveučilištu u Parizu. Jedan od Neckamovih tekstova o kompasu odnosi se na opis kompasa s plutajućom iglom (engl. *floating compass*), dok se drugi, prema zaključcima pojedinih znanstvenika, može protumačiti kao opis suhog kompasa (engl. *dry pivot compass*) (Taylor, 1957.: 95; Nicolai, 2014.: 143-145).

Godine 1205., kompas s plutajućom iglom opisao je satirični pjesnik Guyot de Provins u pjesmi u kojoj stoji da se igla koja pluta na vodi, jer je postavljena u slamku, okreće prema zvijezdi (Sjevernjači), no bila je prije toga dodirnuta „ružnim crnim kamenom“ (magnetitom). U tekstu stoji i da igla u slamci uvijek pokazuje prema „zvijezdi“ te da se ta metoda u navigaciji koristi kada na nebu nije moguće uočiti zvijezde i Mjesec (Taylor, 1957.: 95-96).

Važan rani opis kompasa je i pismo francuskog inženjera Petrusa Peregrinusa (pravog imena Pierre de Maricourt) iz 1269. g., naslovljeno *Epistola de magnete*, koje je napisao prijatelju Sygerusu de Foucaucourtu iz francuske regije Pikardije. U tom je pismu navedeno da se magnetska igla poravnava s meridijanima koji se sijeku u nasuprotnim (nebeskim) polovima. To je ujedno i najstariji sačuvani europski zapis o magnetu kao dipolu kod kojeg se isti polovi odbijaju a nasuprotni privlače. Također, P. Peregrinus je u pismu opisao dva tipa kompasa – kompas s plutajućom iglom i suhi kompas (Smith, 1970.: 14).

U kontekstu korištenja magnetskog kompasa na Sredozemlju potrebno je spomenuti i legendu koja datira najkasnije iz 15. st., a u kojoj se navodi da je kompas izumljen početkom 14. st. u gradu Amalfiju, koji se nalazi nedaleko Napulja. U toj se legendi izum kompasa pripisuje Flaviju Gioji, čije postojanje, međutim, nije potvrđeno u arhivskim dokumentima

(Lane, 1963.: 616; Nicolai, 2014.: 147). R. Nicolai pri spomenu te legende citira geografsko djelo *Italia Illustrata* (1474.) autora Flavija Bionda u kojem stoji da je, prema predaji, orijentacija prema sjeveru uz pomoć magnetskog kompasa izum s područja Amalfija (Biondo 1474., prema Nicolai, 2014.: 147). Priču o izumu magnetskog kompasa na području Amalfija u svojem djelu *De Navigatione*[18] (*O plovidbi*) iz 1464. g navodi i Benedikt Kotruljević (1416.-1469. g.): *A potom su Malfitanci izumili upotrebu magneta, kako sam čuo od mnogih vrlo starih mornara dostojnih povjerenja s kojima sam o tome puno razgovarao, najviše s Đenovljanima* (Kotruljević, 1464. (2005.): 151) [19].

Iako je povezanost uporabe magnetskog kompasa i portulanskih karata potvrđena iz povijesnih izvora, temeljne rasprave u znanstvenim krugovima postoje oko začetaka tog međuodnosa, budući da su najstariji sačuvani zapisi o pojavi i uporabi kompasa na Sredozemlju datirani otprilike u isto razdoblje kao i najstarije sačuvane portulanske karte. Prema jednoj struji mišljenja koju zastupaju, primjerice, H. Winter i R. Pujades, portulanske karte su izravni srednjovjekovni produkt uvođenja i uporabe magnetskog kompasa (Winter, 1948.; 24, Pujades, 2007.: 511). Također, Pujades smatra da su portulanske karte izvorno nastale kao cjelovite karte, a ne kompoziti karata pojedinih morskih bazena (Pujades, 2007.: 511, 520-521). Prema H. Wagneru, one su nastale na temelju ranijih karata izrađenih bez kompasa i s usmjerenjem prema geografskom sjeveru, nakon čega su, uvođenjem kompasa, zarotirane prema magnetskom sjeveru. Kao jedan od argumenata za tu tezu navodi usmjerenost uzdužne osi Jadranskog mora prema geografskom sjeveru na *Pisanskoj karti*, za razliku od ostatka karte koji ima iznos rotacije od 7° do 10° u smjeru obrnutom od smjera kazaljke na satu (Wagner, 1896. (1969.): 481-482). S druge strane, Pujades prijelaz prikaza atlantskog dijela Europe iz vidljivo netočnog prikaza na *Pisanskoj karti* na mnogo točniji prikaz na kartama Pietra Vescontea unutar nekoliko desetljeća tumači kao izravan dokaz rapidnoga autentičnog napretka u pomorskoj kartografiji kasnoga srednjeg vijeka (Pujades, 2007.: 511).

Suhi kompas, kakav je opisao P. Peregrinus, konstrukcijski je izveden kao kutija u kojoj se magnetska igla okreće oko okomito postavljene osovine pričvršćene za dno kućišta. Za dno kućišta pričvršćena je i kompasna ruža, no ona je u odnosu na kompasnu iglu stacionarna (Lane, 1963.: 615-616). Sljedeći korak u tehnološkom razvoju kompasa bio je izum

---

18 Izvornik je pohranjen na sveučilištu Yale (Yale University, Beinecke rare book and manuscript library, sign. MS 557, Cotrugli, Benedetto: *De Navigatione Liber*)

19 Postoji mogućnost da je spoznaja o dipolnim i orijentacijskim svojstvima magneta na Sredozemlju postojala već u antici. Naime, B. Kotruljević citira Aristotelovo djelo *O kamenju* (a koje nije sačuvano u suvremeno doba): *Kut nekoga magneta je sposobnost da se željezo privuče k zoronu, tj. prema sjeveru, i time se služe mornari. Kut pak toga magneta suprotan onome, privlači k afonu, to jest prema južnome polu. I ako približiš željezo prema kutu zoron, okreće k sebi željezo prema zoronu, a ako se približi suprotnom kutu, okreće se prema afonu*. (Kotruljević, 1464. (2005.): 153). Kotruljević za taj citat kazuje: *Tako prema tvrdnji ovog autoriteta imamo dvostruki magnet koji služi za različite polove* (Kotruljević, 1464. (2005.): 153).

navigacijskog kompasa (engl. *mariner's compass*) kod kojeg je kompasna ruža, umjesto za dno kućišta, pričvršćena za kompasnu iglu, što umnogome olakšava očitanje azimuta. Prema F. C. Laneu, početak uporabe navigacijskog kompasa na području Sredozemlja zbio se početkom 14. st., pri čemu ističe 1300. godinu, a izum smješta u grad Amalfi. Lane nagli razvoj prikaza iz onog na *Pisanskoj karti* u prikaz na kartama Pietra Vescontea povezuje sa spomenutim iskoracima u tehničkoj izvedbi kompasa na prijelazu iz 13. u 14. stoljeće (Lane, 1963.: 616-617). R. Nicolai, s druge strane, smatra da je navigacijski kompas u masovnu uporabu na Sredozemlju uveden prekasno (sredinom 14. st.) da bi se prikupila baza podataka o kursovima dostatna za izradu najstarijih sačuvanih portulanskih karata (Nicolai, 2014.: 168).

KOMPASNE RUŽE

Jedna od poveznica portulanskih karata i magnetskog kompasa su kompasne ruže, koje su na portulanske karte ucrtavane od druge polovice 14. st. Najstariji sačuvani prikaz kompasne ruže nalazi se na prvoj od osam karata iz *Katalonskog atlasa* iz 1375. g. (Nordenskiöld, 1897.: 17; Campbell, 1987.: 395) (Slika 1—8.), čiji su autori židovski kartograf Abraham Cresques i njegov sin Jehua Cresques. A. Cresques je 1381. g. imenovan kao *magister mappamundorum et buxolarum*, tj. majstor karata i magnetskog kompasa (Taylor, 1957.: 116). Budući da kompasna ruža na *Katalonskom atlasu* nije integrirana u mrežu rumba kao što je to slučaj s kasnijim kartama, pretpostavlja se da je to jedan od prvih pokušaja prikazivanja kompasne ruže na portulanskoj karti. Kasnije kompasne ruže bile su vizualno mnogo više ornamentirane, a varijacije njihovih estetskih izvedbi su mnogobrojne (Verger, 1995., prema Astengo, 2007.: 192). Čest način ukrašavanja kompasnih ruža je, primjerice, crtež strjelice ili cvijeta ljiljana (tzv. *fleur-de-lis*) na oznaci sjevera (*tramontana*) te crtež križa na oznaci istoka (*levante*), kojim se označavao smjer Jeruzalema (Marinelli, 1895., prema Astengo, 2007.: 192). Najstariji sačuvani prikaz ljiljana na oznaci sjevera na kompasnoj ruži nalazi se na karti Portugalca Jorgesa de Aguiara iz 1492. g. (Campbell, 1987.: 395-396).

T. Campbell naglašava da u literaturi postoje terminološke nedosljednosti između pojmova *ruža vjetrova* i *kompasna ruža* te kazuje da se termin *ruža vjetrova* odnosi na sjecišta rumba unutar mreže rumba, dok se pojam *kompasna ruža* odnosi na stilizirani crtež kompasa koji se može, ali i ne mora nalaziti u sjecištu rumba. Drugim riječima, sve portulanske karte sadržavaju ružu vjetrova, no ne nužno i kompasnu ružu (Campbell, 1987.: 395). Na odabranim portulanskim kartama, kompasne ruže integrirane u ružu vjetrova jasno su vidljive na kartama iz atlasa Dioga Homema i Vicka Dimitrija Volčića (Slika 1—8.).

Slika 1—8. Primjeri estetskih izvedbi kompasnih ruža na karti iz *Katalonskog atlasa* (1375.) te na kartama iz atlasa Dioga Homema (1570.) i Vicka Dimitrija Volčića (1593.).

1.3.2 NAVIGACIJSKE TEHNIKE IZ RAZDOBLJA UPORABE PORTULANSKIH KARATA

Opažanja pravilnosti u gibanjima nebeskih tijela i primjena tih opažanja u navigaciji poznata je još iz starog vijeka tijekom kojeg se plovidba odvijala uz primjenu terestričke i astronomske navigacije (Taylor, 1957.: 43-51). Primjerice, fenički i grčki pomorci su nebeski sjeverni pol određivali prema zviježđu Malog medvjeda, no ne prema današnjoj zvijezdi Sjevernjači (*Stella Maris*), već prema zvijezdi *Kochab*, koja je u razdoblju antike, zbog Zemljine precesije, bila mnogo bliže sjevernom nebeskom polu (Taylor, 1957.: 10-12, 47).

Konsenzus u znanosti vezan uz navigaciju u razdoblju uporabe portulanskih karata jest da se ona u to vrijeme gotovo isključivo izvodila mjerenjem kursa i udaljenosti te da je astronomska navigacija ponovno dobila na važnosti tek početkom 16. st. tijekom velikih geografskih otkrića Europljana, a pioniri njezina razvoja bili su Portugalci (Sölver i Marcus, 1958.: 20; Campbell, 1987.: 386).

PORTULANSKE KARTE I ZBROJENA POZICIJA

Metoda navigacije koja je bila prakticirana širom Sredozemlja tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka poznata je pod nazivom *zbrojena pozicija*[20] (engl. *dead reckoning*, *deduced reckoning, position by account*), a odvijala se tako da se položaj broda određivao isključivo na temelju prijeđene udaljenosti i kursa (Taylor, 1950.: 280), no pojedina nebeska tijela i dalje su imala važnost za navigaciju. Primjerice, u zapisima Alexandera Neckama iz 1180. g., Guyota de Provinsa iz 1205. g. te Jacquesa de Vitrya iz 1218. g. o uporabi kompasa, stoji da se kompasna igla uvijek usmjerava prema zvijezdi Sjevernjači. Pritom A. Neckam navodi da se kompas pri

[20] Termin *zbrojena pozicija* za prijevod engleskog termina *dead reckoning* preuzet je iz Lušić i dr., 2008.: 7-8.

navigaciji koristi za vrijeme oblačnog vremena i izrazite tame, u uvjetima u kojima nije moguće koristiti ostale navigacijske metode (Taylor, 1957.: 94-95).

Najstariji sačuvani zapis o metodama navigacije uporabom više različitih plovidbenih pomagala u razdoblju kasnoga srednjeg vijeka je djelo *Arbor Scientiae* (*Stablo znanosti*) katalonskog znanstvenika Ramona Llulla, koje je izvorno napisano 1295. ili 1296. g. (Campbell, 1987.: 441; Nicolai, 2014.: 117)

U jednom od poglavlja te knjige, R. Llull je opisao trigonometrijsku metodu izračuna duljine prijeđenog puta po željenom kursu ako je brod bio prisiljen dio puta ploviti drugim kursom. Na kraju tog poglavlja stoji: *...et ad hoc instrumentum habent cartam, compassum, acum et stellam maris.* (Llull, 1295.–96.[21] (1515.): 569-570), tj. da u tu svrhu (navigacije) (pomorci) imaju instrumente: karta, *compassum*, igla i zvijezda Sjevernjača. Spomenuti nazivi instrumenata na latinskom jeziku različito su interpretirani od pojedinih istraživača. Pritom je pojam *compassum* od nekih autora protumačen kao portulan (s obzirom na naslov portulana *Compasso de Navegare*) a od nekih kao šestar, pojam *acum* u pravilu kao igla, tj. magnetski kompas, a *stellam maris* kao zvijezda Sjevernjača ili, pak, kao kompasna ruža na portulanskim kartama (Nicolai, 2014.: 120).

Benedikt Kotruljević u predgovoru i u poglavlju o pomorskoj karti u djelu *De Navigatione* (Knjiga IV) piše o porijeklu i načinu uporabe pomorskih karata na brodu. Kotruljević tvorcem karte na temelju koje je nastala pomorska karta smatra Klaudija Ptolemeja te kazuje: *...i sastavio je kartu svijeta prema kojoj smo mi izradili pomorsku kartu koja nas uči ploviti po moru i ne dopušta nam da lutamo* te: *...ipak njemu dugujemo mnogo jer danas ne lutamo. Štoviše, ono što su moreplovci spočetka obavljali prema slučaju i svojoj prosudbi, mi smo sada uredili prema vjetrovima i geografskim mjerama.* (Kotruljević, 1464. (2005.): 217, 219)

U kontekstu navigacije metodom danas poznatom pod nazivom *zbrojena pozicija*, Kotruljević kazuje da je kompas neophodan za usmjeravanje prema vjetru objekta koji se locira ili mjesta prema kojem se želi ploviti te da brzinu kretanja broda, izraženu u miljama na sat, mornari određuju okretanjem *mezzarole* i danju i noću, pri čemu trebaju uzeti u obzir jačinu vjetra, morske struje i manevarske sposobnosti broda te da se udaljenosti na karti mjere s pomoću šestara. Prema D. Salopeku, uredniku i prevoditelju Kotruljevićevog djela na hrvatski jezik, pojam *mezzarola* odnosi se na brodsku bačvicu za vodu zapremine oko 40 l, pri čemu kazuje da nije moguće odrediti kakva je njezina uloga u mjerenju prijeđenog puta (Kotruljević, 1464. (2005.): 219). Moguće je da se pojam *mezzarola* izveden iz talijanskih riječi *mezzo* (polovica) i *orologio*/*orologi* (sat/satovi) što bi ukazivalo na pješčani sat, odnosno na polusatno okretanje pješčanog sata. Naime, u izvoru s početka 14. st., koje je zapravo pjesnički zapis Francesca de Barberina u djelu *Documenti d'Amore* iz cca. 1306.–1313. g., stoji da se za mjerenje vremena koristi pješčani sat (*orologio*). U tom tekstu Barberino navodi da je riječ o

[21] Llullovo djelo *Arbor Scientiae* je moguće pregledavati u digitalnom obliku putem *Google Books* servisa.

obveznoj opremi pomoraca te da ne smije proći ni jedan sat a da se ne zna koliku je udaljenost brod pritom preplovio (Taylor, 1957.: 116-117, 121). Također, prema zapisima iz plovidbenog dnevnika Kristofora Kolumba vrijeme se mjerilo s pomoću pješčanog sata pri čemu je uređaj bilo potrebno okretati u polusatnim intervalima (Kelley, 1983.: 79).

Kotruljević opisuje i način određivanja pozicije broda na pomorskoj karti kada se brod nalazi u blizini obale. Kazuje da pomorac treba biti sposoban u prostoru i na karti prepoznati dvije istovjetne obalne točke i uz pomoć kompasa izmjeriti njihove azimute te ih prenijeti na kartu. Na karti potom treba kapnuti točku voska na mjestu gdje se dodiruju krakovi dvaju šestara u odnosu na izmjerene azimute koja označava poziciju broda, nakon čega je na karti moguće izmjeriti udaljenost broda od kopna (Kotruljević, 1464. (2005.): 221).

TOLETA DE MARTELOIO

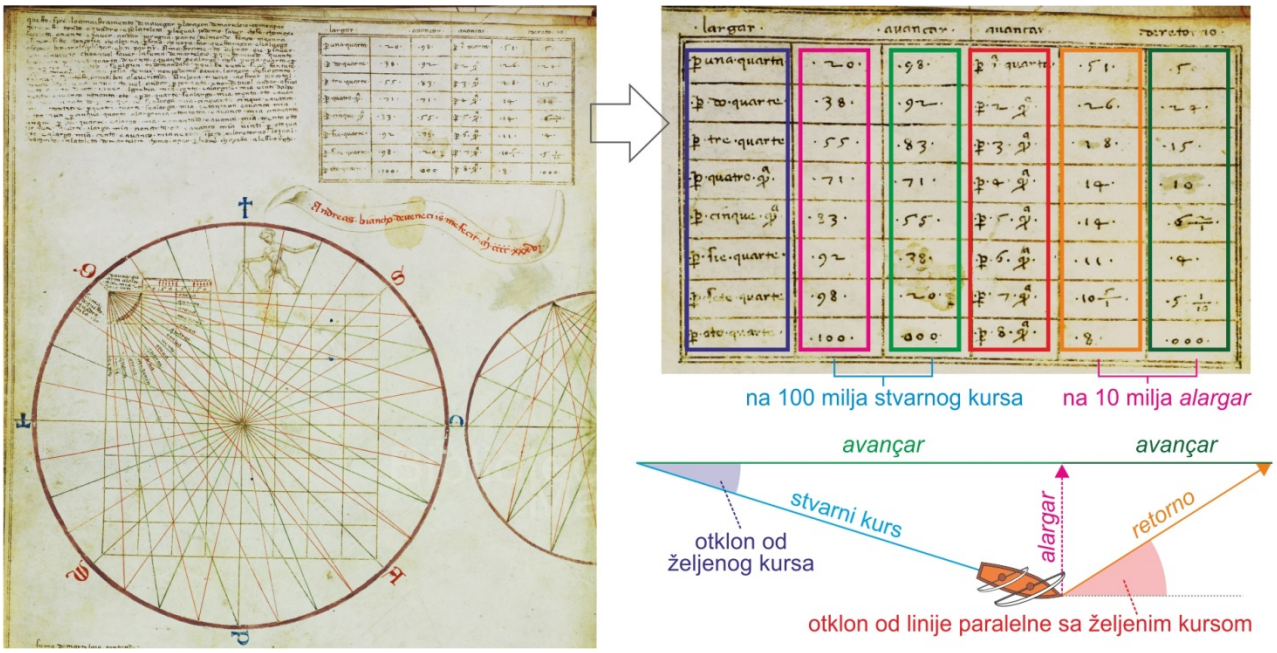
Plovidba metodom zbrojene pozicije počivala je, moguće, i na geometrijskim formulacijama ponešto kompleksnijim od određivanja pozicije na karti lukovima šestara. Riječ je o svojevrsnom trigonometrijskom kalkulatoru za izračunavanje projekcije duljine plovidbe po željenom kursu u situacijama kada je brod prisiljen dio puta ploviti drugim kursom. Taj kalkulator naveden je pod imenom *Raxon de Marteloio* (katalonski izvornici), odnosno *Toleta de Marteloio*[22] (talijanski izvornici) (Nicolai, 2014.: 124), a postojao je u tekstualnom, tabličnom i grafičkom obliku.

Poglavlje o navigacijskim tehnikama R. Llulla u djelu *Arbor Scientiae* najstariji je sačuvani zapis o toj metodi navigacije (Nicolai, 2014.: 117). U tom poglavlju, Llull je kao primjer dao plovidbu po kursu E (*orientale*) kao stvarnom, i primjer kursa SE (*exaloch*) kao željenog (razlika između stvarnog i željenog kursa pritom iznosi 45°). Navodi da je brod koji je preplovio 100 milja kursom E, ujedno preplovio i 200 milja kursom SE (Llull, 1295.–96. (1515.): 569-570). Međutim, ta formulacija je zapravo netočna jer bi projekcija stvarnog kursa na željeni u tom slučaju iznosila 141,4 milju umjesto 200 milja ($\sqrt{100^2 + 100^2} = 141{,}4$). Llull je tu pogrešku kasnije, u djelu *Ars Magna* (*Velika umjetnost*) iz 1305. g., ispravio tako da je prethodni omjer stranica trokuta od 2: 1: 1 zamijenio s 4: 3: 3 (Taylor, 1957.: 119) što je bliže stvarnoj vrijednosti, no i dalje netočno. Naime, približno točan omjer stranica pravokutnog trokuta s katetama iste duljine iznosi otprilike 7: 5: 5.

[22] Naziv ove tehnike izračuna duljine plovidbe nije sa sigurnošću preveden. Riječ *raxon* prevodi se kao *pravilo* (Taylor, 1957.: 117) ili kao *brojanje* (Nordenskiöld, 1897.: 53), a *toleta* kao *tablice* (Campbell, 1987.: 441). Riječ *Marteloio* se prema A. E. Nordenskiöldu odnosi na čekić (*marteloio*) čijim su se udarcima brodu naglašavali vremenski intervali i izmjene smjena posade i časnika (Nordenskiöld, 1897.: 53), a prema Giuseppeu Toaldu znači *pravilo mora* (*mari logio*) (Toaldo, 1782.: 44, dostupno preko *Google Books* servisa).

Toleta de Marteloio u tekstualnom obliku nalazi se u portulanu Gratiosusa Benincase iz 1470. g. (Kretschmer, 1909.: 358-359), a u tabličnom i grafičkom obliku u atlasu Andree Bianca iz 1436. g. (Slika 1—9.) te u atlasu *Cornaro* iz kraja 15. st. (Campbell, 1987.: 442), pri čemu je grafička izvedba imenovana kao *Tondo e Quadro* (*krug i kvadrat*) (Nicolai, 2014.: 124).

Toleta de Marteloio u tabličnom obliku sastoji se od dva dijela. Lijeva tri stupca tablice odnose se na plovidbu kursovima s maksimalnim kutnim otklonom od 90° naspram željenog kursa (*avançar*). U tim stupcima, s lijeva na desno, prikazani su otklon stvarnog od željenog kursa u četvrtinama vjetra kao intervalima (11,25°), najkraća udaljenost od željenog kursa (*alargar*) te duljina projekcije prijeđenog puta na željeni kurs (*avançar*). Udaljenosti su prikazane u odnosu na svakih 100 milja prijeđenih po stvarnom kursu. Desna tri stupca odnose se na povratak na željeni kurs. Pri poretku s lijeva na desno, oni prikazuju otklon povratnog kursa u odnosu na liniju paralelnu sa željenim kursom (također u intervalima od 11,25°), duljinu povratnog kursa (*retorno*) te duljinu projekcije puta prijeđenog po povratnom kursu na željeni kurs (*avançar*). Udaljenosti vezane uz povratak na željeni kurs prikazane su u odnosu na svakih 10 milja najkraće udaljenosti od željenog kursa (Taylor, 1957.: 119-120, Nicolai, 2014.: 121-127). Na grafikonu *Tondo e Quadro* intervali otklona prikazani su u osminama vjetra (interval od 5,625°) (Slika 1—9.).



Slika 1—9. ***Toleta de Marteloio*** **i** ***Tondo e Quadro*** **na listu iz atlasa Andree Bianca (1436.) (izvor: K4) i grafičko objašnjenje pojedinih stupaca iz** ***Tolete de Marteloio*****.**

1.4 HIPOTEZE O RAZDOBLJU INICIJALNE IZRADE PORTULANSKIH KARATA

Prethodno spomenute spoznaje o geometriji portulanskih karata začetak su preispitivanja inicijalnog vremena njihova nastanka, čije se autorstvo do tada u znanstvenim krugovima, kako tvrdi H. Wagner, u pravilu pripisivalo Portugalcu princu Henriku Pomorcu (1394. – 1460.) (Wagner, 1896. (1969.): 476). Danas, nakon otprilike stoljeće i pol znanstvenog pristupa proučavanju portulanskih karata, uobličilo se nekoliko hipotetskih pristupa vremenu i načinu izrade portulanskih karata. Njih je najjednostavnije podijeliti na hipoteze o inicijalnoj izradi portulanskih karata tijekom srednjeg vijeka i hipoteze o inicijalnoj izradi tih karata prije srednjeg vijeka. Ovdje valja naglasiti da se u radovima koji preispituju njihovu srednjovjekovnu izvornost ne dovodi u pitanje vrijeme izrade sačuvanih karata, već vrijeme izrade potencijalnog predloška na temelju kojeg su, ako je postojao, moguće bile izrađene. Različite pristupe toj problematici detaljno su sistematizirali, primjerice, S. A. Loomer (1987.) i R. Nicolai (2014.). U nastavku je prikazan njihov kratki presjek, a poredak hipoteza slijedi kronologiju pretpostavljenog inicijalnog nastanka portulanskih karata.

Inicijalni nastanak portulanskih karata kronološki najudaljenije smješta C. H. Hapgood koji tvrdi da su portulanske karte pretjerano točne s obzirom na vrijeme izrade sačuvanih primjeraka te njihove izvornike smješta daleko u stari vijek, tj. najkasnije u razdoblje koje je prethodilo erupciji vulkana koja je razorila grčki otok Santorini (Thera) sredinom drugog tisućljeća prije nove ere (Hapgood, 1966.: 7, 172). A. Cortesão smatra da su one produkt egipatske i feničke kartografije, koja se potom prenijela preko helenističkog na arapski kulturni krug, odakle je, zahvaljujući Al-Idrisiju, dospjela u srednjovjekovnu kršćansku Europu (Cortesão, 1969., prema Nicolai, 2004.: 58). Važnu ulogu antičkog geografa i kartografa Marina iz Tira za kasniji nastanak portulanskih karata pretpostavlja A. E. Nordenskiöld, oslanjajući se na zapise Klaudija Ptolemeja i arapskog znanstvenika Al-Masudija. Klaudije Ptolemej je u *Geografiji* napisao da je najveći dio lokacija na svojim kartama te njihov prostorni međuodnos preuzeo od Marina iz Tira (Nordenskiöld , 1897.: 10; Breggren i Jones, 2000.: 3, 23, 63-64). U Al-Masudijevom zapisu iz 10. st. stoji da je osobno bio u prilici vidjeti karte koje izradio Marin iz Tira te da ih smatra najboljim od svih karata koje je ikad vidio (Nordenskiöld , 1897.: 10; Brice, 1977.: 54), no Breggren i Jones pretpostavljaju da je Al-Masudi zapravo parafrazirao Ptolemejev tekst (Breggren i Jones, 2000.: 23). R. Uhden inicijalni nastanak portulanskih karata također smješta u antiku, dovodeći ih u vezu s periplusima, antičkim uputstvima za plovidbu. Kao primjer navodi segmente iz antičkih tekstova gdje su između pojedinih lokacija udaljenosti izražene u stadijima, a međusobni položaj uz pomoć vjetrova, način koji je kasnije korišten u srednjovjekovnim i kasnijim portulanima (Uhden, 1935.: 4). U autore koji su zastupali hipotezu porijekla portulanskih karata prije srednjeg vijeka spada i prethodno spomenuti H. Wagner. Postoje i autori koji inicijalni nastanak portulanskih karata smještaju u razdoblje Rimskog Carstva, primjerice G. Grosjean i H. Minow, koji pretpostavljaju da je u to vrijeme za područje čitavog Sredozemlja

provedena temeljita izmjera prostora potpomognuta astronomskim mjerenjima (o kojoj, međutim, ne postoje sačuvani povijesni dokazi) te da su karte koje su poslužile kao predložak za izradu portulanskih karata proizvod takvog pothvata (Loomer, 1987.: 42; Nicolai, 2014. 59-60).

Usprkos hipotezama spomenutih autora o inicijalnom nastanku portulanskih karata tijekom antike ili ranije, prevladavajući konsenzus među znanstvenicima jest da su one inicijalno nastale tijekom kasnoga srednjeg vijeka (Nicolai, 2014.: 62). Hipoteze o srednjovjekovnom inicijalnom nastanku međusobno se razlikuju u lokaciji njihovog potencijalnog nastanka te u tome jesu li portulanske karte nastale unutar jednog užega kulturnog kruga na Sredozemlju ili su produkt evolucije kroz suradnju više različitih kulturnih krugova (Loomer, 1987.: 43). Primjerice, Nordenskiöld, iako sumnja u srednjovjekovnu izvornost tih karata, smatra da je moguće da su katalonski srednjovjekovni kartografi prvi u posjedu imali starije izvornike na temelju kojih su izradili „normalnu portulansku kartu“ te da poznate portulanske karte predstavljaju samo više ili manje kvalitetnu kopiju te karte. Pritom ističe R. Llulla, kao osobu koja je, moguće, imala izravan utjecaj na kompilaciju „normalne portulanske karte“ (Nordenskiöld, 1897.: 46, 53). Među osobe koje su djelovale tijekom srednjeg vijeka, a kojima pojedini drugi autori pripisuju utjecaj na izvornost izrade portulanskih karata, mogu se ubrojiti, primjerice, Leonardo iz Pise, poznatiji pod imenom Fibonacci te genoveški trgovac Benedetto Zaccaria (Nicolai, 2014.: 63-64). H. C. Freiesleben, pak, smatra da je najvjerojatnije mjesto njihova nastanka Sicilija, budući da je smještena između nekadašnjih talijanskih kraljevstava i kraljevstva Aragonije (Freiesleben, 1983.: 129). Prema R. Pujadesu, stoljetna tradicija navigacije Sredozemljem postupno je bivala unaprjeđivana te je u jednoj od svojih etapa kulminirala nastankom i izradom portulanskih karata, čemu su doprinijela znanja i vještine svih naroda tog prostora orijentiranih na pomorstvo (Pujades, 2007.: 515). Mnogi autori dovode u vezu izradu portulanskih karata s izradom portulana, primjerice K. Kretschmer (1909.), B. Motzo (1947.) i E. G. R. Taylor (1951.a, 1951.b). Prema R. Nicolaiju, najveći dio znanstvenika unutar te struje mišljenja smatra da su portulani odraz stoljetnih plovidbenih iskustava na temelju kojih su potom izrađene portulanske karte (Nicolai, 2014.: 62). J. E. Kelley Jr. smjer transfera podataka u tom međuodnosu preispituje i potencijalno obrće, postavivši pitanje jesu li možda zapisi u portulanima nastali na temelju prepisivanja udaljenosti i azimuta prethodno izmjerenih na portulanskim kartama (Kelley, 1995.: 10).

2 PREGLED PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA

Portulanske karte predmet su znanstvenog interesa otprilike od sredine 19. stoljeća. Tijekom tog razdoblja, duljeg od stoljeće i pol, napisan je velik broj radova u obliku cjelovitih autorskih knjiga, poglavlja u knjigama te članaka u znanstvenim časopisima ili zbornicima radova. Najveći broj cjelovitih i opsežnih autorskih knjiga napisan je na prijelazu iz 19. u 20. st., dok je tijekom najvećeg dijela 20. st. i kasnije ta problematika obrađivana pretežito u obliku znanstvenih članaka i poglavlja u knjigama.

U svrhu ovog istraživanja pregled istraživanja koja su mu prethodila razdijeljen je na istraživanja temeljena na kvalitativnom pristupu i istraživanja temeljena na kvantitativnom, kartometrijskom pristupu. Radovi temeljeni na kvalitativnom pristupu brojniji su i u pravilu su većeg obujma od onih kartometrijskih, no metodološki nisu usko vezani uz izradu ovog istraživanja. Njihov pregled je u sklopu ovog poglavlja stoga prikazan u izrazito suženoj formi i bez detaljnog opisa njihovih pojedinih poglavlja ili hipoteza. Pojedinim hipotezama i zaključcima prethodnih kvalitativnih istraživanja relevantnih za ovo istraživanje detaljnije je pristupljeno u kasnijim poglavljima. Zbog metodologije korištene u ovom istraživanju, opsežnije i detaljnije prikazana su prethodna istraživanja temeljena na različitim kartometrijskim metodama. Pritom je, u svrhu usporedbe izlaznih rezultata, naglasak stavljen na kartometrijska istraživanja novijeg datuma koja su izvršena uz primjenu računala. Naime, prednosti korištenja računala u odnosu na analogne metode su brojne, primjerice: veća točnost ulaznih mjerenja, prikupljanje i obrada mnogo veće količine kvantitativnih podataka, jednostavnije i brže računanje te lakša kasnija vizualizacija i interpretacija izlaznih rezultata.

Među prvim autorima koji su pisali o portulanskim kartama mogu se izdvojiti E. F. Jomard (Fischer, 1896.: 1), A. Breusing, J. Lelewel i M. Fiorini (Wagner, 1896. (1969.): 476-477). Također, portulanskim kartama bavili su se i P. Matković, koji je sastavio opsežan popis portulanskih karata u venecijanskim knjižnicama (Matković, 1862.) te M. D'Avezac u opsežnom radu o kartografskim projekcijama (D'Avezac, 1863.). Kraj 19. i početak 20. st. razdoblje je izrazitije znanstvene produkcije na temu portulanskih karata i portulana. Primjerice, C. R. Beazley u svojoj knjizi o princu Henriku Pomorcu piše o portulanskim kartama te o uporabi i razvoju kompasa (Beazley, 1895.), a godinu nakon njega T. Fischer je napisao opsežno djelo o portulanskim kartama u kojem se detaljnije osvrnuo na pojedine karte, primjerice one autora Pietra Vescontea, Giovannija de Carignana, Andree Bianca ili Gratiosusa Benincase (Fischer, 1896.). Godine 1897. A. E. Nordenskiöld napisao je monumentalno djelo *Periplus: An Essay on the Early History of Charts and Sailing-Directions*, unutar kojeg je, kako je prethodno spomenuto, razvio hipotezu o „normalnoj portulanskoj karti“ na temelju koje su prekopirane sve potom izrađene portulanske karte (Nordenskiöld, 1897.). Otprilike desetljeće kasnije, K. Kretschmer sastavio je, također vrlo opsežno djelo o portulanskim kartama i portulanima, unutar kojeg se nalaze prijepisi nekoliko portulana, od

kojih su tri korištena u ovom radu kao sekundarni objekt istraživanja (Kretschmer, 1909.). Godine 1911., razmjerno sažeto no vrlo koncizno djelo o portulanskim kartama s opisom 32 portulanske karte iz kolekcije Hispanskog društva Amerike (engl. *Hispanic Society of America*) izradio je E. L. Stevenson (Stevenson, 1911.). Tijekom gotovo čitavog 20. st. znanstvene spoznaje o portulanskim kartama objavljivane su u pravilu u obliku članaka u znanstvenim časopisima, a tek posljednjih desetljeća izrađeno je nekoliko opširnijih sinteza. Tu svakako treba izdvojiti radove T. Campbella iz 1987., kao i C. Astenga i F. Fernández-Armesta iz 2007. koji čine opsežna poglavlja u serijalu knjiga *The History of Cartography* (Campbell, 1987.; Astengo, 2007.; Fernández-Armesto, 2007.) te knjigu R. Pujadesa *Les cartes portolanes: la representació medieval d'una mar solcada* (Pujades, 2007.). Članci o portulanskim kartama objavljeni u znanstvenim radovima su brojni i stoga nisu navedeni u ovom poglavlju, već su pojedini detalji, hipoteze i zaključci iz tih radova relevantni za ovo istraživanje navedeni u kasnijim poglavljima, u skladu s njihovom tematskom povezanosti.

Prethodna istraživanja o portulanskim kartama korištena za ovo istraživanje u najvećem broju proveli su inozemni autori. Razlog tomu je taj što je znanstveni opus hrvatskih autora vezan uz portulanske karte metodološki deskriptivan i temeljen na povijesnom i toponomastičkom pristupu te je njegova važnost za ovo istraživanje manja. Uz već spomenut rad P. Matkovića, među radovima novog datuma valja izdvojiti monografije *Descriptio Croatiae: hrvatske zemlje na geografskim kartama od najstarijih vremena do pojave topografskih karata* M. Markovića iz 1993. g., *Kartografski spomenici hrvatskog Jadrana* M. Kozličića iz 1995. g., *Stare karte Jadrana* L. Laga iz 1996. g., *Povijesna kartografija: kartografski izvori u povijesnim znanostima* M. Slukan Altić iz 2003. g., te knjigu *Pet stoljeća geografskih i pomorskih karata* iz 2005. g. koju su uredili D. Novak, M. Lapaine i D. Mlinarić (Marković, 1993.; Kozličić, 1995.; Lago, 1996.; Slukan Altić, 2003.; Novak i dr., 2005.). U kontekstu usporedbe prikaza hrvatskih otoka na portulanskim kartama ponajprije s geografsko-toponomastičkog gledišta, mogu se izdvojiti radovi J. Faričića, primjerice *Otoci Ist i Škarda na starim kartama – mali otoci u „velikoj" geografiji Jadrana i Sredozemlja* (2010.), *Silba na starim geografskim i pomorskim kartama* (2013.), *Geografska imena Kornata na starim kartama* (2013.), *Stari kartografski izvori geografskih podataka o Velom Ratu* (2013.) (Faričić 2010., 2013a, b i c.). Isti autor ukazuje na važnost portulanskih karata u kontekstu plovidbe Jadranom u radovima *The Significance of the Croatian Coastline in the Network of European Pilgrim Routes* (2014.) te *Dolasci sv. Franje Asiškog na hrvatsku obalu u kontekstu pomorsko-geografskog sustava Jadrana* (2015.) (Faričić, 2014., 2015.).

2.1 PRETHODNA KARTOMETRIJSKA I ANALITIČKA ISTRAŽIVANJA

Kartometrijski pristup istraživanju portulanskih karata prvi je put primijenjen krajem 19. stoljeća, no svoj puni potencijal dobiva tijekom posljednjih nekoliko desetljeća zbog razvoja računalne tehnologije koja omogućuje bržu i točniju obradu mnogo veće količine ulaznih podataka. U ovom poglavlju prikazan je presjek nekoliko istaknutih kartometrijskih istraživanja portulanskih karata, od kojih su u svrhu ovog istraživanja metodološki najrelevantnije doktorske disertacije *A Cartometric Analysis of Portolan Charts: a Search for Methodology* S. A. Loomera (Loomer, 1987.) te *A Critical Review of the Hypothesis of a Medieval Origin for Portolan Charts* R. Nicolaija (Nicolai, 2014.), koje su prikazane detaljnije.

H. WAGNER, E. STEGER

Najraniji pokušaj kvantitativnog pristupa istraživanju portulanskih karata je već spomenuti rad H. Wagnera, koji je pritom takav metodološki pristup nazvao *kartometrijskim*. Wagner je izvršio kartometrijsku analizu portulanskih karata Pietra Vescontea iz 1318. g. i Gratiosusa Benincase iz 1480. g., prilikom čega je zaključio da bi meridijani i paralele, kada bi postojali na portulanskim kartama, za pojedine morske bazene bili prikazani kao međusobno paralelne ravne crte, što odgovara izgledu stupanjske mreže suvremenih uspravnih cilindričnih projekcija. Time je demantirao prethodno mišljenje M. Fiorinija da je prikaz Sredozemlja na uspravnoj ekvidistantnoj azimutnoj projekciji, na kojem je prikazana konvergencija meridijana, najsličniji prikazu na portulanskim kartama (Wagner, 1896. (1969.): 480).

Godine 1896., kartometrijski pristup istraživanju portulanskih karata primijenio je i Wagnerov student E. Steger, analiziravši portulansku kartu Giacoma Giraldija iz 1426. g. te također dokazao da bi stupanjska mreža na portulanskim kartama, kada bi postojala, bila sačinjena od ravnih i međusobno paralelnih crta (Steger, 1896., prema Nicolai, 2014.: 185). Zaključci proistekli iz tih istraživanja pretpostavljaju da su portulanske karte geometrijom bliske kartama izrađenim u uspravnim cilindričnim projekcijama i da su najvjerojatnije kompoziti izrađeni tijekom srednjeg vijeka sastavljanjem više karata pojedinih bazena Sredozemlja koje su izvorno bile izrađene prije srednjeg vijeka. Isti autori smatraju da za izradu portulanskih karata nije bio korišten kompas te da je rotacija prikaza prostora na portulanskim kartama u smjeru obrnutom od kazaljke na satu produkt srednjovjekovnog sastavljanja tog kompozita pri čemu utjecaj magnetske deklinacije nije bio korigiran. Wagnerovi i Stegerovi zaključci nisu naišli na odobravanje H. Wintera, koji je na temelju tumačenja povijesnih dokumenata te isključivo vizualne interpretacije portulanskih karata zaključio da su one definitivno produkt korištenja kompasa za određivanje smjera plovidbe tijekom 13. st. (Winter, 1948.: 21-23; Winter, 1956.: 39).

A. CLOS-ARCEDUC, W. TOLBER

Sredinom 20. st. M. A. Clos-Arceduc u članku *L'Énigme des Portulans: Étude sur la Projection et le Mode de Construction des Cartes à Rumbs du XIV^e et XV^e Siècle* razmotrio je povezanost portulanskih karata s kartografskim projekcijama. Pritom je naglasio da pojedini znanstvenici, primjerice M. Eckert i L. Bagrow, smatraju da portulanske karte nisu izrađene u nekoj od kartografskih projekcija, tj. da su „neprojicirane" (Clos-Arceduc, 1956.: 216, 229-231). Clos-Arceduc je usporedio prikaz obalne crte na portulanskim kartama Pietra Vescontea (1318.) i Gratiosusa Benincase (1467.) i zaključio da postoji izrazita podudarnost s kartama u uspravnoj konformnoj cilindričnoj (Mercatorovoj) projekciji te da su portulanske karte u suštini konformne, no temeljene na magnetskom, a ne na geografskom sjeveru (Clos-Arceduc, 1956.: 226). Međutim, u svojem radu nije prikazao opis postupka na temelju kojeg je izvršio preklapanje portulanskih karata s kartom u Mercatorovoj projekciji.

Tijekom druge polovice 20. st. dolazi do razvoja računalne tehnologije koja je potom bila korištena i kao alat pri kartometrijskoj analizi starih karata. Jedan od pionira korištenja računala u te svrhe je W. Tobler, koji je 1966. g. u članku *Medieval distortions: the Projections of Ancient Maps* predložio kosu Mercatorovu projekciju kao najprikladniju, a u članku je prikazao preklapanja obalne crte portulanske karte Petrusa Rosellija iz 1468. g. s kartom u toj projekciji. Pritom se nadovezuje na rad Clos-Arceduca, kazavši da je vjerojatno da je za konstrukciju tih karata korišten neispravljeni magnetski, a ne geografski sjever. Također, naglašava da je preklapanje karata koje je izvršio površno te da je za dobivanje konkretnih odgovora o sličnosti portulanskih karata i određenih kartografskih projekcija potrebna temeljitija kartometrijska analiza (Tobler, 1966.: 355-360).

J. T. LANMAN, S. A. LOOMER

Godine 1987. objavljeni su rezultati dvaju kvantitativnih istraživanja vezanih uz geometriju portulanskih karata i portulana, a koja su po ciljevima i korištenoj metodologiji iznimno relevantna za ovo istraživanje. Riječ je o radu *On the Origin of Portolan Charts* autora J. T. Lanmana te *A Cartometric Analysis of Portolan Charts: a Search for Methodology*, doktorska disertacija S. A. Loomera (Lanman, 1987.; Loomer, 1987.).

J. T. Lanman je u svojem radu pokušao ustanoviti vezu između portulana i portulanskih karata. Prema zapisima sadržanim u portulanima *Compasso de navegare* i *Parma-Magliabecchi*, pokušao je iscrtati konture portulanskih karata. To je izveo tako da je, počevši od Gibraltara, u smjeru kazaljke na satu redom ucrtavao točke i ravne crte koje ih povezuju na temelju kursova i udaljenosti između pojedinih lokacija sadržanih u portulanima (Lanman, 1987.: 1-10). Također, kartometrijski je usporedio *Pisansku kartu* i kartu Mattea Prunesa iz 1599. g. s kartom Sredozemlja u Mercatorovoj projekciji, zarotiravši ih za iznos od 10,5°, odnosno 9° u smjeru kazaljke na satu (Lanman, 1987.: 33-39). Prilikom postupka preklapanja

Lanman te portulanske karte nije tretirao kao kompozite već kao jedinstvene cjeline. On u svojem radu zaključuje da su portulanske karte vrlo vjerojatno nastale na temelju zapisa iz portulana, pri čemu kazuje da postoji velika sličnost između zapisa u portulanu *Compasso de Navegar*e i *Pisanske karte* te da su i azimuti na portulanskim kartama i kursevi u portulanima zarotirani zbog neispravljene magnetske deklinacije. Također, Lanman smatra da zbog nedovoljno vjerodostojnog prikaza otoka portulanske karte nisu bile pogodne za plovidbu uzduž međuotočnih kanala (Lanman, 1987.: 53-54). Dio njegovog rada važan za ovo istraživanje je osvrt na prikaz Jadranskog mora na dvije odabrane portulanske karte. Lanman pritom pretpostavlja da je stupanj poznavanja tog prostora od strane ondašnjih pomoraca vjerojatno bio mnogo detaljniji u odnosu na njegov prikaz na portulanskim kartama, tj. da autori tih karata nisu pridavali mnogo važnosti detaljnom prikazu otoka istočne obale Jadranskog mora (Lanman, 1987.: 43). Više detalja o ovome radu prikazano je u kasnijim poglavljima.

U svojoj doktorskoj disertaciji S. A. Loomer je izvršio izrazito opsežno kartometrijsko istraživanje, koje je metodološki najsličnije prvoj tematskoj cjelini ovog istraživanja. Loomer je kao objekt istraživanja koristio ukupno 26 portulanskih karata. Odabrane karte je na temelju 359 parova referentno-identičnih točaka georeferencirao korištenjem planarne konformne 4-parametarske transformacije na suvremenu kartu Sredozemnog i Crnog mora i atlantskog pročelja zapadne Europe i sjeverozapadne Afrike. Suvremenu kartu projicirao je u ukupno 9 različitih referentnih kartografskih projekcija i konstruirane trilateracijske mreže, da bi ispitao pogreške prikaza obalne crte na portulanskim kartama u odnosu na pojedine odabrane projekcije (Loomer, 1987.: 81-83, 88, 107-108). Prema izračunanim pogreškama kartiranja kao produktima georeferenciranja pojedinih portulanskih karata Loomer je izračunao prosječne pogreške tih karata na temelju kojih je računski izradio više tzv. "kompozitnih karata“ (engl. *composite charts*). Generirane kompozitne karte podijelio je prema vremenu izrade na rane, srednje i kasne, a prema mjestu izrade na talijanske, katalonske i arapske (Loomer, 1987.: 126-131). Portulanske karte u jednom dijelu rada tretirao je i kao kompozite sačinjene od karata pojedinih morskih bazena te je i po tom kriteriju analitički odredio točnost svake od njihovih sastavnica (Loomer, 1987.: 159-165). Loomer je točnost karata izračunavao putem *RMSE*, tj. pomoću korijena iz sume varijanci odstupanja koordinata identičnih točaka u odnosu na referentne koordinate, podijeljene s brojem stupnjeva slobode s obzirom na korištenu 4-parametarsku konformnu transformaciju (Loomer, 1987.: 113-114), što je metoda korištena i u ovom istraživanju. Loomerov zaključak je da portulanske karte kao cjelina pokazuju najmanje pogreške u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji te da su one vrlo vjerojatno izrađene na temelju podataka o kursovima, a ne o udaljenostima (Loomer, 1987.: 144-146). Njegova analiza pokazala je da su talijanske i katalonske karte približno slične po pitanju točnosti te da su točnije od arapskih. Promatrano iz kronološkog aspekta, njegova analiza pokazala je da na čitavom odabranom

uzorku karata ne postoje izraženije oscilacije u razini točnosti prikaza. Drugim riječima, tijekom razdoblja njihove izrade od gotovo dva stoljeća, ne postoji vidljivi pomak ka povećanju točnosti kartiranja. Loomer smatra da su portulanske karte nastale kompiliranjem sadržaja s tzv. „glavnih karata" (engl. *master charts*) pri čemu je mreža rumba služila da pri kopiranju točnost karata ne bi opala (Loomer, 1987.: 156-157, 167-169). Prilikom analize pojedinih morskih bazena utvrdio je da iznos njihove individualne rotacije raste od zapada prema istoku. Na temelju toga je zaključio da rotacija prikaza na njima nije posljedica neispravljene magnetske deklinacije, već da je vjerojatnije da su kompilatori lokalnih karata na taj način htjeli kompenzirati konvergenciju meridijana tako da svaku od sastavnica kompozita zarotiraju prema sjevernom geografskom polu kao točki. Sličan prijedlog objašnjenja rotacije prikaza pojedinih dijelova mediteranskog bazena iznio je i J. E. Kelley (Loomer, 1987.: 150-151, 167). Najveći nedostatak Loomerovog istraživanja jest taj što su pogreške kartiranja prikazane u dimenzijama koje vrijede za fizičke dimenzije karata u skladu s njihovim mjerilom, zbog čega ih je teško usporediti s vrijednostima dobivenim u ovom istraživanju. Izračunane pogreške kartiranja se u najvećem dijelu ovog istraživanja odnose na stvarne dimenzije Zemlje, projicirane na kartu u određenoj kartografskoj projekciji u mjerilu 1: 1 (M=1) i izražene su u kilometrima u skladu s parametrima projiciranja pojedinih odabranih projekcija. Budući da je Loomerov rad jedan od metodološki najrelevantnijih za ovo istraživanje, više detalja o tom radu prikazano je u kasnijim poglavljima.

A. J. DUKEN, P. MESENBURG

A. J. Duken je u članku *Reconstruction of the Portolan chart of G. Carignano* iz 1988. g. nastojao dokazati da su portulanske karte projicirane u kosoj stereografskoj projekciji, pri čemu je kao objekt istraživanja koristio fotoreprodukciju već tada uništene karte Giovannija da Carignana. Zaključio je da je ta karta kompozit sačinjen od tri karte, sastavljen tako da je dio od sredine zapadnog Sredozemlja do krajnjeg istoka prikazanog prostora (najveći dio karte) jedna karta, a dio zapadno od toga da se sastoji od dvije karte, čija se međusobna granica nalazi malo istočnije od Gibraltara (Duken, 1988.: 91). Kao najsličniju kartografsku projekciju predlaže kosu stereografsku projekciju, no s različitim koordinatama središta projekcije za svaki od tri segmenta karte. Također, Duken smatra da je ta karta izvorni kartografski rad te da su sve ostale portulanske karte obične kopije te karte (Duken, 1988.: 93). Duken je istraživanje prvi put objavio 1984. g., temeljem čega je S. A. Loomer za jednu od referentnih projekcija odabrao i kosu stereografsku projekciju (Loomer, 1987.: 67, 108). Loomerova kartometrijska analiza pokazala je slabu povezanost geometrije portulanskih karata ne samo s kosom stereografskom projekcijom, već i s bilo kojom projekcijom na kojoj je prikazana konvergencija meridijana (Loomer, 1987.: 133, 144), a Dukenov zaključak analitički je opširno opovrgnuo i R. Nicolai (Nicolai, 2014.: 185-192, 245-248).

Kartometrijsku analizu portulanskih karata izvršio je i P. Mesenburg 1988. g., i jedan je od rijetkih autora koji je pogreške kartiranja prikazao u kilometrima u stvarnosti u skladu s korištenim referentnim kartografskim projekcijama. Mesenburgov zaključak je da tijekom više stoljeća izrade ne postoji vidljiv pomak u povećanju točnosti kartiranja obalne crte na portulanskim kartama (Mesenburg, 1988., prema Nicolai, 2014.: 192).

J. E. KELLEY JR.

U radu *Perspectives on the Origins and Uses of Portolan Charts* iz 1995. g. J. E. Kelley Jr. je pokušao dati alternativu hipotezi o rotaciji prikaza Sredozemnog i Crnog mora na portulanskim kartama kao posljedici neispravljene magnetske deklinacije. Pretpostavlja da je takav prikaz mogao biti postignut na temelju svojevrsne trilateracijske izmjere, prilikom koje se udaljenosti između točaka na kopnu mjere uzduž lukova velikih kružnica. Dao je primjer izrade takve mreže između paralela φ=36° N i φ=45° N s obuhvatom geografske dužine u skladu s prosječnim prikazom Sredozemlja na portulanskim kartama i bazom na krajnjem zapadu te mreže (Kelley, 1995.: 5-6). Na taj način, promatrajući mrežu od njezine baze na zapadu prema istoku, postiže se zakrivljenost mreže prema sjeveru, budući da je paralela φ=45° N manjeg opsega od paralele φ=36° N. Takav prikaz neminovno uzima u obzir konvergenciju meridijana te daje prikaz prostora sličan onome na uspravnim azimutnim ili konusnim projekcijama. Tu hipotezu Kelley je, premda bez službene objave, predstavio godinama ranije, slično kao što je slučaj s Dukenovom hipotezom, a na nju se referira i S. A. Loomer. On je u svojem radu, uz 9 referentnih kartografskih projekcija, za referentnu vrijednost pri ispitivanju točnosti portulanskih karata koristio i Kelleyevu pretpostavljenu trilateracijsku mrežu. Loomerovi rezultati pokazali su slabiju podudarnost geometrije karata s tom mrežom nego s Mercatorovom i uspravnom ekvidistantnom cilindričnom projekcijom, no ipak ponešto veću nego s odabranim konusnim i azimutnim projekcijama (Loomer, 1987.: 108, 133).

J. A. GASPAR, C. BOUTOURA, P. AMIENTI I A. M. VENGER

Tijekom posljednja dva desetljeća objavljen je veći broj radova u kojima su objavljeni rezultati primjene više ili manje sofisticiranog kartometrijskog pristupa istraživanju portulanskih karata. Autor nekoliko takvih radova je J. A. Gaspar, a tema njegovih istraživanja je pretežito prijelaz s portulanskih karata na tzv. „latitudne karte“[23] (engl. *latitude charts*) kao i, općenito,

[23] *Latitudne karte* termin je koji za tu vrstu karata upotrjebljava J. A. Gaspar (Gaspar, 2010.; 2013.) Riječ je o kartama baziranima na kartografici svojstvenoj portulanskim kartama uz dodatak prikaza paralela, tj. stupnjeva geografske širine. Takve karte bile su izrađivane od početka 16. st. Na njima je prikaz Atlantskog oceana te novootkrivenih obala obiju Amerika bio projiciran u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji s

portugalski doprinosi kartografiji tijekom ranoga novog vijeka (Gaspar, 2007.; 2008.; 2010.; 2013.; Gaspar i Leitão, 2014.). Gaspar je u svojoj doktorskoj disertaciji *From the Portolan Chart of the Mediterranean to the Latitude Chart of the Atlantic: Cartometric Analysis and Modelling* pokušao računski rekonstruirati izradu portugalskih *latitudnih karata*. Pritom je koristio model „empirijske kartografske projekcije", koju je predložio W. Tobler 1977. g. (Tobler, 1977.: 51-64; Gaspar, 2010.: 4, 190) te tzv. „multidimenzionalno skaliranje" (engl. *multidimensional scaling*) čime je težinski ponderirao važnost prikaza duljina naspram važnosti prikaza kursova (Gaspar, 2010.: 73-84). Gasparov zaključak je da se tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka navigacija obavljala određivanjem kursa s neispravljenom magnetskom deklinacijom i procijenjene prijeđene udaljenosti na tzv. „plohi s konstantnim mjerilom". Drugim riječima, Gaspar smatra da su tadašnji pomorci zanemarivali sfernost Zemlje te da su portulanske, a potom i tzv. *latitudne karte*, izrađivali po načelu kartiranja na ravnoj plohi, tj. da te karte ne samo da nisu projicirane u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji, već da nisu projicirane uopće (Gaspar, 2007.: 77-78; Gaspar, 2008.: 202; Gaspar, 2010.: 183-198). Gasparov metodološki pristup kritizirao je R. Nicolai, istaknuvši da se zbog različitih mjernih jedinica, prijeđenu udaljenost i kut međusobno ne može jednostavno ponderirati (Nicolai, 2014.: 356-359). J. A. Gaspar je 2019. g. objavio i rad o portulanu *Liber de existencia riveriarum*, datiranom u 1200. g. U tom radu dan je prikaz vidljivosti reljefa kopna i otoka s mora, no njegova analiza svedena je isključivo na prikaz pojasa udaljenosti od obale nakon kojeg više nije moguće uočiti reljefne oblike s mora (Gaspar, 2019.: 12).

Izuzev Gaspara, među autorima novijih radova mogu se izdvojiti C. Boutoura te P. Amienti i A. M. Venger, koji smatraju da su karte izrađene u kosoj konusnoj projekciji (Boutoura, 2006.: 48), ili pak u poprečnoj ortografskoj projekciji (Amienti i Venger, 2018.: 144) geometrijski najsličnije prikazu prostora na portulanskim kartama.

C. Boutoura na temelju odabira 25 parova referentno-identičnih točaka te uz nedovoljno jasno prikazanu metodu transformacije prilikom georeferenciranja (no prema prikazanim grafičkim prilozima čini se da je riječ o konformnoj 4-parametarskoj transformaciji) tvrdi da su najmanje pogreške prilikom preklapanja s kosom konformnom Lambertovom konusnom projekcijom, za čitavo Sredozemlje te za karte krupnijeg mjerila na kojima je prikazano Egejsko more (Boutoura, 2006.: 44). Taj rad uzet je u obzir jer su u njemu, kao i za ovo istraživanje, korištene portulanske karte različitih mjerila, no postoji razlika u kriteriju odabira. Naime, za potrebe ovog istraživanja kriterij odabira karata je taj da su karte različitih

---

ekvatorom kao standardnom paralelom zbog čega nisu bile dovoljno točne za prekooceansku navigaciju. Opsežni tekst o tim kartama sastavio je F. Fernández-Armesto u poglavlju *Maps and Exploration in the Sixteenth and Early Seventeenth Centuries* (Fernández-Armesto, 2007.).

mjerila izrađene od istih autora i uvezene u iste zbirke karata, dok su u Boutourinom radu karte različitih mjerila izrađene od strane različitih autora.

Amienti i Venger svoj rad temelje na metalnom artefaktu otkrivenom 1915. g. u Veroni, Italija, za koji smatraju da predstavlja srednjovjekovni instrument uz pomoć kojeg se određivala kibla (engl. *qibla*), tj. smjer Mekke, Saudijska Arabija, prema kojoj su muslimani okrenuti za vrijeme molitve (Amienti i Venger, 2018.: 137). Zaključili su da artefakt prikazuje meridijane $\lambda=\pm14{,}73°$ i $\lambda=\pm30°$, u odnosu na središnji meridijan projekcije pri prikazu Zemlje u poprečnoj ortografskoj projekciji sa središtem u sjecištu ekvatora ($\varphi_0=0$) i meridijana koji se nalazi između Mekke i Pise (otprilike $\lambda_0=+25°$) te da su portulanske karte izrađene upravo na temelju projiciranja sfere u ravninu primjenom te kartografske projekcije (Amienti i Venger, 2018.: 141-144).

R. NICOLAI

U doktorskoj disertaciji *A Critical Review of the Hypothesis of a Medieval Origin for Portolan Charts* iz 2014. g. R. Nicolai je izradio opsežnu analitičku studiju. U njoj je potanko elaborirao nedostatke hipoteza o srednjovjekovnom porijeklu portulanskih karata. Na temelju svojih mjerenja, izračuna i modela ustanovio je da srednjovjekovno poimanje točnosti i ondašnja točnost mjerenja općenito nisu bili dovoljni da bi se karte s razinom točnosti kakvu pokazuju portulanske karte tada inicijalno mogle izraditi (Nicolai, 2014.). Ovaj rad tematski i metodološki pokriva iznimno širok spektar problematike istraživanja portulanskih karata, zbog čega je njegov prikaz u ovom poglavlju izrazito sužen.

Nicolai je u poglavlju posvećenom ispitivanju razine tehničke sofisticiranosti kasne srednjovjekovne navigacije, uz iscrpan pregled povijesnih izvora i prethodnih istraživanja o navigacijskim praksama i instrumentariju, izradio i model točnosti srednjovjekovne navigacije koji uključuje i parametre kao što su, primjerice, oni tehnički ili oceanografski. Na temelju tog modela dobio je rezultate koji pobijaju hipotezu o matematički obrazovanom i navigacijski iznimno discipliniranom srednjovjekovnom pomorcu, a koju u pravilu promoviraju povjesničari i povjesničari pomorstva pri čemu takve zaključke ne temelje na kvantitativno-analitičkom, već na kvalitativnom i deskriptivnom pristupu (Nicolai, 2014.: 168).

Jedan dio njegovog istraživanja čini i kartometrijska analiza pet portulanskih karata, koje su tretirane kao kompoziti sačinjeni od karata pojedinih morskih bazena. Kao referentnu podlogu koristio je uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju sa standardnim paralelama $\varphi_0=39°57'$ te Mercatorovu projekciju kod koje mjerilo vrijedi na istoj geografskoj širini, budući da su za tu standardnu geografsku širinu te dvije projekcije međusobno najsličnije za prikaz zapadnog Sredozemlja. Razlog takvog odabira je taj što zagovaratelji srednjovjekovnog inicijalnog nastanka portulanskih karata najčešće taj prostor, tj. Baleare i Kataloniju, odnosno Genovu smatraju izvorištima njihove izrade (Nicolai, 2014.: 248-250). Nicolai je pritom

koristio afinu 6-parametarsku planarnu transformaciju (Nicolai, 2014.: 205-207). Izradio je i perifernu studiju usporedbe geometrije portulanske karte Angelina Duclerta iz 1339. g. s kosom stereografskom projekcijom koju zagovara Duken. Točnost je pritom bila 17 % viša (u odnosu na prethodno spomenute projekcije) za tu kartu promatranu kao cjelinu, no gotovo dvostruko niža za njezin svaki pojedini segment kada je tretirana kao kompozit (Nicolai, 2014.: 248).

U dijelu rada koji se tematski naslanja na prethodno spomenuta poglavlja, Nicolai je nastojao testirati postoji li mogućnost izrade portulanske karte na temelju hipotetskih mjerenja kursova i prijeđenih udaljenosti u plovidbi primjenom geodetskih načela triangulacije, pod uvjetom da je baza takve mreže trokuta izmjerena bez pogrešaka. Time je pokušao ustanoviti je li moguće isključivo na temelju prikupljanja podataka tijekom plovidbe sastaviti mrežu točaka s kutovima i udaljenostima među tim točkama koja bi poslužila kao temelj za izradu karata s točnošću svojstvenom portulanskim kartama. Nicolaijev zaključak je da, s obzirom na srednjovjekovnu razinu znanosti i tehnologije, ne postoji mogućnost da su portulanske karte produkt takvog pothvata. Također, smatra i da prethodno ustanovljena podudarnost geometrije portulanskih karata s geometrijama uspravne ekvidistantne cilindrične i Mercatorove projekcije nije nusprodukt (suvremenih) kartometrijskih metoda proučavanja tih karata, već da su portulanske karte ciljano izrađene u kartografskoj projekciji (Nicolai, 2014.: 387).

Nicolai je u svojoj disertaciji posebnu pažnju posvetio i odnosu podataka o kursovima i udaljenostima na portulanskim kartama i portulanima, pri čemu je analitički obradio podatke iz portulana *Compasso de navegare*. Podatke o udaljenostima i kursovima iz portulana je, osim podjele na dužobalne (*per starea* rute) i prekomorske (*per peleio* rute), testirao na dva načina: kao izravno izmjerene prilikom plovidbe i kao izravno prenesene s portulanskih karata. Zaključio je da su podaci sadržani u portulanu *Compasso de navegare* nastali mjerenjem azimuta i duljina na portulanskim kartama pri čemu su udaljenosti potom bile preračunavane (skalirane) na dimenzije u prirodi. Također, zaključio je i da su prekomorske plovidbene rute u tom portulanu točnije od onih dužobalnih te da portulanska milja u tom portulanu ima otprilike isti iznos kao i ona koju je izračunao prilikom kartometrijske obrade portulanskih karata (Nicolai, 2014.: 347-348). Nicolai je potom svoje rezultate prikazao u skraćenom obliku u članku *The Premedieval Origin of Portolan Charts: New Geodetic Evidence* (Nicolai, 2015.) te u knjizi *The Enigma of Portolan Charts – a Geodetic Analysis of the Hypothesis of a Medieval Origin* (Nicolai, 2016.).

3 OBUHVAT ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je konceptualno podijeljeno na dvije tematske cjeline od kojih se svaka sastoji od nekoliko poglavlja s pripadajućim im podpoglavljima. Za objekt istraživanja odabrano je ukupno 12 portulanskih karata kao primarni te 5 portulana kao sekundarni objekt, čiji ukupni raspon izrade pokriva razdoblje od oko četiri stoljeća, odnosno razdoblje od početka 13. do kraja 16. stoljeća. Popis odabranih karata i njihova podjela na skupine karata te popis odabranih portulana navedeni su na početku rada u poglavlju o korištenim oznakama i dodatno pojašnjeni unutar teksta, a njihov prikaz nalazi se u sekciji priloga, poglavlje 10. Prostorni obuhvat istraživanja rada u užem smislu čini Jadransko more, dok u širem smislu u njega spadaju i pripadajući otočni te okolni kopneni prostor.

Prvi dio istraživanja (poglavlja 5.1, 5.2 i 5.3) odnosi se na kartometrijsku analizu odabranih portulanskih karata i podijeljen je na tri temeljna koraka. Prvi korak je analitička usporedba geometrije odabranih portulanskih karata s geometrijom referentne karte u odabranim suvremenim kartografskim projekcijama, a krajnji rezultat postupka je odabir geometrijski najsličnije kartografske projekcije. Odabrana najsličnija kartografska projekcija korištena je potom kao referentna ploha u svim ostalim poglavljima rada. Drugi korak čini ispitivanje razlika između *točnosti* i *preciznosti*[24] kartiranja prostora na pojedinim portulanskim kartama s obzirom na vrijeme njihove izrade i mjerilo. U trećem koraku obuhvaćeno je ispitivanje razlika u točnosti kartiranja pojedinih dijelova Jadranskog mora na odabranim kartama na temelju regionalno-funkcionalne podjele prostora istraživanja.

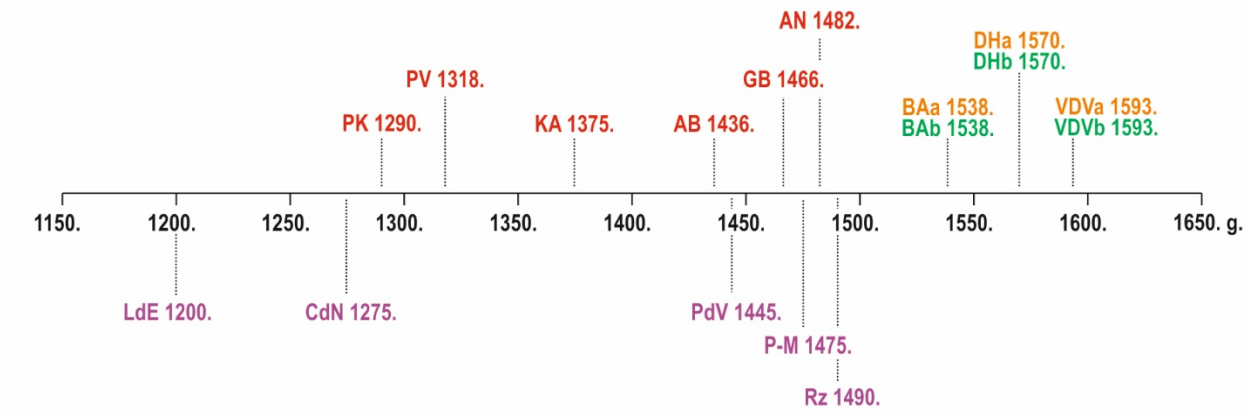
Drugi dio istraživanja (poglavlja 6.1, 6.2, 6.3 i 6.4) sadrži ispitivanje upotrjebljivosti portulanskih karata, s pristupom toj problematici iz četiri aspekta. Prvi aspekt vezan je uz mjerila portulanskih karata, u svrhu određivanja točnosti pojedinih karata s obzirom na njihove fizičke dimenzije. Drugi aspekt odnosi se na standardiziranu rotaciju prikaza prostora na portulanskim kartama u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu tako da je ispitana potencijalna povezanost portulanskih karata s izumom i korištenjem magnetskog kompasa na Sredozemlju. Treći aspekt odnosi se na ispitivanje mogućnost korištenja tih karata u skladu s terestričkom navigacijom, tj. u skladu s vidljivošću kopnenog i otočnog reljefa iz perspektive pomorca na brodu da bi se utvrdilo postoji li povezanost između vidljivosti reljefa s mora i prikaza obalne crte na tim kartama. Četvrti aspekt upotrebljivosti obuhvaća analitički pristup usporedbe numeričkih podataka izmjerenih na odabranim portulanskim kartama s numeričkim podacima sadržanim u odabranim portulanima, koji su datirani u otprilike isto ili vremenski vrlo blisko razdoblje izrade, da bi se ispitao stupanj geometrijske korelacije između tih dviju vrsta navigacijskih pomagala.

[24] Pojmovi *točnost* i *preciznost* (kartiranja) detaljnije su objašnjeni u poglavljima 4 i 5.2.

3.1 ODABRANE PORTULANSKE KARTE I PORTULANI

Primarni objekt istraživanja sastoji se od ukupno 12 odabranih portulanskih karata, čije vrijeme izrade pokriva razdoblje od otprilike 300 godina, tj. razdoblje od kraja 13. do kraja 16. stoljeća. U svrhu što točnijeg uvida u kronološki tijek razvoja točnosti kartiranja unutar razdoblja korištenja portulanskih karata, izborom karata nastojalo se postići da intervali između pojedinih datuma njihove izrade budu razmjerno ujednačeni (Slika 3—1.). Odabrane portulanske karte prikazane su u sekciji priloga. Sekundarni objekt istraživanja čini 5 odabranih portulana, pri čemu su u svrhu istraživanja korišteni samo dijelovi tekstova na kojima su zapisani podaci vezani uz Jadransko more. Korelacija geometrije podataka iz portulana i geometrije portulanskih karata ispitana je u poglavlju 6.4. Popis odabranih portulanskih karata i portulana zajedno s njihovim godinama izrade, autorstvima i obuhvatom na njima prikazanog prostora nalazi se u tablici na samom početku rada, a njihovi izvori navedeni su na kraju rada (poglavlje 9.2 i poglavlje 9.3).

Ukupni primarni objekt istraživanja uključuje portulanske karte na kojima je prikazano Jadransko more u sitnom i u krupnom mjerilu. Pritom je kriterij za odabir karata bio taj da su ti svojevrsni „parovi karata“ različitih mjerila izrađeni od strane istih autora i uvezani u iste rukopisne zbirke karata. Takav kriterij za sastavljanje primarnog objekta istraživanja upotrijebljen je u svrhu ispitivanja korelacije između točnosti prikaza obalne crte Jadranskog mora na portulanskim kartama i njihovih mjerila. U skladu s time, portulanske karte podijeljene su na karte A i B, pri čemu su karte iz skupine A dodatno podijeljene na karte A1 i A2. Skupinu A čine karte sitnog mjerila, a skupinu B karte krupnog mjerila. U skupini karata A, karte A1 su samostalne karte sitnog mjerila, dok su karte A2 karte sitnog mjerila na kojima je prikazano Jadransko more, uvezene u zbirke unutar kojih se nalaze i karte B, odnosno karte na kojima je Jadransko more prikazano u krupnom mjerilu preko čitavog lista karte (Slika 3—1.).



Slika 3—1. Slijed izrade odabranih portulanskih karata i portulana – karte A1 označene su crvenom, karte A2 narančastom, karte B zelenom, a portulani ljubičastom bojom.

3.2 PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANJA

Prostorni obuhvat istraživanja čini Jadransko more s pripadajućim otočnim i kopnenim prostorom (Slika 3—2.). Za granice Jadranskog mora u užem smislu određen je obuhvat temeljen na klasifikaciji Međunarodne hidrografske organizacije (engl. *International Hydrographic Organization*). Granicu Jadranskog mora prema Jonskom moru čini crta koja približno po pravcu istok–zapad povezuje ušće rijeke Butrint (Albanija), φ=39°44′ N, Rtove Karagol i Kephali (o. Krf, Grčka), φ=39°45′ N te Rt Santa Maria di Leuca (Italija), φ=39°47′ N (IHO, 1953.: 17) (Slika 6—17.).

Slika 3—2. Nadmorska visina prostornog obuhvata istraživanja (izvori referentnih kartografskih podloga: SHP, DEM).

Kopneni dio prostora istraživanja je u prvom redu sačinjen od otoka Jadranskog mora. Uz otoke, obuhvaća i širi obalni pojas južne i jugoistočne Europe, a koji je danas u teritorijalnom sastavu država s izlazom na Jadransko more. Vanjske granice tog prostora za potrebe istraživanja nisu strogo određene, a njihov obuhvat može se, uvjetno rečeno, uokviriti unutar maksimalnog dometa vidljivosti reljefa iz perspektive zamišljenog promatrača koji se nalazi na brodu u Jadranskom moru, o čemu je detaljnije pisano u poglavlju 6.3. Iz aspekta vidljivosti reljefa s mora se kao najistaknutije reljefne cjeline mogu izdvojiti Apeninsko gorje (Italija), južno pročelje Alpi (Italija i Slovenija), Dinaridi (Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Crna Gora) te Keraunijsko gorje i gorje Korab (Albanija) (Slika 3—2.). U ovom istraživanju kopneni dio njegovog prostornog obuhvata promatran je prvenstveno kao neprekinuta prirodna cjelina i gotovo u potpunosti izvan konteksta političkih zbivanja, odnosno državnih entiteta koji su na tom prostoru postojali tijekom prošlosti ili trenutno postoje. Pojedini politički entiteti koji su ostvarili utjecaj na taj prostor, naročito tijekom srednjeg vijeka, nisu svođeni na numeričke varijable unutar analitičke obrade podataka, već su spomenuti u kontekstu interpretacije rezultata pojedinih izračuna, poglavito u dijelovima rada vezanim uz upotrjebljivost portulanskih karata.

Referentna kartografska podloga na kojoj je prikazana obalna crta Jadranskog mora i okolnog dijela Sredozemlja (*shapefile*) (izvor: SHP) izrađena je u *Flanders Marine Data and Information Centre*-u, vektorizacijom predložaka u mjerilu 1: 466.188 (Claus i dr., 2017.), a u svrhu istraživanja nije dodatno modificirana.

Referentnu kartografsku podlogu za prikaz kopna čine segmenti rasterskog digitalnog modela visina (engl. *digital elevation model*) *EU-DEM* (izvor: DEM). Preuzeti digitalni model visina na kojem je prikazano područje istraživanja sastoji se od ukupno četiri segmenta koja su potom objedinjena u cjelinu. Izvorna prostorna rezolucija modela iznosi 25 m (ćelije rastera pritom imaju površinu 625 m^2), no s obzirom na površinu prostora obuhvaćenog istraživanjem, prostorna rezolucija reducirana je na 500 m. W. Tobler je izradio prijedlog formule za određivanje prostorne rezolucije rasterskih digitalnih modela s obzirom na mjerilo karte iz koje proizlazi da je optimalna prostorna rezolucija polovica od iznosa dobivenog kada se modul mjerila karte podijeli s 1.000 (Tobler, 1987.: 12-16). Najveći dio autorskih karata prikazanih u radu izrađen je u dimenzijama od oko 160 mm × 160 mm, a njihov modul mjerila, s obzirom na prikazani prostorni obuhvat, iznosi oko 5.000.000. Prema Toblerovoj formuli, optimalna prostorna rezolucija iznosila bi 2.500 m (ćelije pritom imaju površinu od 6,25 km^2), no redukcija prostorne rezolucije na 500 m (s ćelijama površine 0,25 km^2) odabrana je iz dva razloga. Prvi je mogućnost prikazivanja što većeg broja otočića Jadranskog mora na kartama nakon redukcije prostorne rezolucije. Drugi razlog je postizanje što točnije i detaljnije analize vidljivosti reljefa s mora provedene u poglavlju 6.3.

3.3 CILJEVI I HIPOTEZE

Cilj istraživanja kao cjeline je utvrđivanje razine točnosti kartiranja Jadranskog mora na portulanskim kartama. Premda je na portulanskim kartama najčešće prikazivano čitavo Sredozemlje, istraživanju točnosti kartiranja samo jedne njegove sastavnice pristupilo se iz dva razloga. Jedan razlog je taj što je u prethodnim kartometrijskim istraživanjima, primjerice u Wagnerovom, Loomerovom i Nicolaijevom, dokazano da su portulanske karte zapravo kompoziti sačinjeni od karata s prikazom pojedinih morskih bazena (Wagner 1896. (1969.); Loomer, 1987.; Nicolai, 2014.). Drugi razlog je taj što prikaz Jadranskog mora, zbog morfologije bazena izduljenog po pravcu NW – SE, omogućuje razmjerno jednaku mogućnost utvrđivanja točnosti kartiranja uzduž X-osi i uzduž Y-osi. Istraživanje je tematski koncipirano u dvije cjeline. Prva cjelina odnosi se na ispitivanje točnosti portulanskih karata primjenom detaljne kartometrijske analize. U drugoj cjelini, prethodno dobiveni rezultati razmotreni su u kontekstu upotrebe tih karata u svrhu utvrđivanja razine njihove korisnosti kao navigacijskih pomagala za čitavo Jadransko more ili za njegove pojedine dijelove te u svrhu utvrđivanja potencijalne povezanosti između prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama i geometrije podataka o istom prostoru sadržanih u odabranim portulanima.

U nastavku je prikazan detaljniji nacrt istraživanja tako da su podrobnije obrazložene svrha i koncepcija svakog od sedam poglavlja unutar obiju tematskih cjelina te doprinos svakog pojedinog poglavlja generiranju krajnjih zaključaka.

CILJEVI: KARTOMETRIJSKA ANALIZA ODABRANIH KARATA

Svrha prve tematske cjeline istraživanja, podijeljene na tri pripadajuća poglavlja, je utvrđivanje je li prikaz prostora na portulanskim kartama posljedica namjernog i sustavno primijenjenog postupka kartografskog projiciranja ili je taj prikaz svojevrstan nusproizvod kartiranja nastao bez izravne namjere da se karte izrade u nekoj od kartografskih projekcija, odnosno nusproizvod primijenjene kartometrijske metode. Sve vrijednosti izračunane u ovoj tematskoj cjelini odnose se na virtualno georeferencirano okruženje koje je u istraživanju tretirano kao ono koje odgovara vrijednostima na referentnom elipsoidu, uvjetovano ograničavajućim parametrima pojedine odabrane referentne kartografske projekcije.

Prema poznatim podacima, u razdoblju izrade sačuvanih portulanskih karata postojala je svijest o sfernom obliku Zemlje, no ne i o spljoštenosti Zemlje na polovima. Također, u ovom istraživanju nije izvršen izračun aproksimacije izgleda Zemlje na temelju podataka iz portulanskih karata, već usporedba kartografskih prikaza u ravninskoj geometriji – portulanskih karata sa suvremenom kartom projiciranom u referentnim kartografskim projekcijama. Karte u referentnim projekcijama temelje se na projiciranju Zemlje aproksimirane na model referentnog elipsoida iz razloga što referentni elipsoid oblikom i

dimenzijama vjernije aproksimira stvarni izgled Zemlje (u odnosu na kuglu), tj. karte nastale projiciranjem elipsoida u ravninu predstavljaju vjerniji prikaz Zemljine površine.

Točnost prikaza na portulanskim kartama izražena je izračunima pogrešaka kartiranja položaja, udaljenosti i azimuta u odnosu na ekvivalentne vrijednosti na kartama u odabranim referentnim projekcijama. Pojednostavljeno govoreći; što je izračunana pogreška kartiranja manja, točnost karte (po tom parametru kartiranja) je veća.

Cilj poglavlja 5.1 je utvrđivanje povezanosti geometrije portulanskih karata i geometrije neke (ili nekih) od suvremenih kartografskih projekcija. Prikaz Jadranskog mora na 12 odabranih portulanskih karata uspoređen je sa suvremenom kartom Jadranskog mora projiciranom u 6 odabranih referentnih kartografskih projekcija. Parametri točnosti kartiranja podijeljeni su na točnost kartiranja položaja (ukupna te po X-osi i po Y-osi), točnost kartiranja udaljenosti i točnost kartiranja azimuta za svaku portulansku kartu u odnosu na kartu u svakoj od odabranih referentnih projekcija.

Rezultati dobiveni u ovom poglavlju od iznimne su važnosti za nastavak istraživanja jer je kartografska projekcija u odnosu na koju su pogreške kartiranja na portulanskim kartama najmanje korištena u ostatku istraživanja kao skup referentnih vrijednosti za gotovo svu preostalu analitiku.

Cilj poglavlja 5.2 je utvrđivanje kronološkog tijeka točnosti i preciznosti kartiranja s obzirom na vrijeme izrade pojedinih odabranih portulanskih karata, ali i s obzirom na njihovo mjerilo. Točnost prikaza s obzirom na mjerilo utvrđena je na uzorku karata različitih mjerila, s težištem na uzorku karata koje su izradili isti autori i koje su objavljene u istim rukopisnim zbirkama, no s razlikom u mjerilu prikaza prostora Jadranskog mora na različitim kartama.

Parametar preciznosti kartiranja odnosi se na devijacije točnosti kartiranja svake pojedine portulanske karte u odnosu na geometriju tzv. „prosječne portulanske karte“. Prosječna portulanska karta aritmetički je konstrukt izračunan na temelju podataka o točnosti pojedinih odabranih karata. Za potrebe istraživanja izrađene su ukupno četiri prosječne portulanske karte: ukupna, koja je izračunana kao prosjek ukupnog uzorka te prosječne portulanske karte A1, A2 i B, koje su izračunane kao prosjeci istoimenih grupa karata. Na taj način utvrđeno je u kojem je stupnju točnost prikaza prostora na portulanskim kartama međusobno usklađena, tj. stupanj međusobne standardizacije karata u odnosu na vrijeme njihove izrade i mjerilo.

Cilj poglavlja 5.3 je ispitivanje regionalno-funkcionalnih razlika u točnosti kartiranja Jadranskog mora na portulanskim kartama. U tu svrhu Jadransko more kao prostor istraživanja prostorno je podijeljeno u više cjelina prema dva kriterija:

a) regionalna podjela uzduž longitudinalne osi pružanja na *sjeverni*, *srednji* i *južni* dio,
b) funkcionalna podjela prema vrsti (zamišljenih) navigacijskih pravaca na *kopnene*, *prekomorske* i *otočne* linije (plovidbene rute).

Točnost kartiranja udaljenosti i azimuta izračunana je za svaku cjelinu prema dvije prethodno spomenute podjele i uspoređena s istim parametrima točnosti za prikaz Jadranskog mora kao cjeline na portulanskim kartama. Potencijalne pravilnosti u izobličenju prikaza pojedinog dijela Jadranskog mora uspoređene su s deformacijama prikaza svojstvenim karti u prethodno odabranoj referentnoj kartografskoj projekciji.

CILJEVI: UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA

Svrha druge tematske cjeline, podijeljene na četiri pripadajuća poglavlja je analitičko utvrđivanje razine upotrjebljivosti portulanskih karata kao plovidbenih pomagala tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka. Problematici upotrjebljivosti u istraživanju se pristupilo iz četiri aspekta: s obzirom na fizičke dimenzije prikaza Jadranskog mora na kartama, s obzirom na rotaciju prikaza i magnetsku deklinaciju, s obzirom na vidljivost obalnog i otočnog reljefa s mora te s obzirom na geometriju zapisa u portulanima. Dobiveni podaci trebali bi, zajedno sa srodnim prethodnim istraživanjima, upotpuniti do sada generirane znanstvene zaključke o korisnosti portulanskih karata kao navigacijskih pomagala. Utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata je po pitanju referentnih vrijednosti oslonjeno na rezultate kartometrijske analize dobivene unutar prethodne tematske cjeline.

Cilj poglavlja 6.1 je utvrđivanje povezanosti između točnosti kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama i fizičkih dimenzija tih karata, u skladu s njihovim iznimno sitnim mjerilima s modulima u milijunskim vrijednostima. Milijunske vrijednosti modula mjerila doimaju se još ekstremnijima prilikom usporedbe s modulima mjerila i sukladnim fizičkim dimenzijama suvremenih pomorskih karata koje se koriste kao navigacijska pomagala[25].

U ovom poglavlju, prethodno izračunane podatke o točnosti kartiranja položaja i udaljenosti izražene u kilometrima (koji vrijede za virtualno georeferencirano okruženje, tj. u odnosu na kartu u referentnoj projekciji pod uvjetom M=1), potrebno je pretvoriti u udaljenosti izražene u milimetrima na portulanskim kartama u skladu s fizičkim dimenzijama i izračunanim mjerilom tih karata. Jedan od ciljeva ove analize je i normalizacija portulanskih karata na mjerilo 1: 1.000.000, da bi se, hipotetski, pretpostavilo kolika bi bila točnost portulanskih karata (u milimetrima na karti) kada bi sve bile izrađene u istom mjerilu. Temeljni cilj ovog dijela poglavlja je utvrđivanje jesu li portulanske karte krupnijeg mjerila točnije od karata sitnijeg mjerila ili ne.

Dio poglavlja odnosi se i na izračun stupnja uvećanja pojedinih dijelova obale kopna i otoka svojstven kartografici portulanskih karata. Predimenzioniranost prikaza je u sklopu

[25] Primjerice, službena suvremena navigacijska karta na kojoj je prikazano čitavo Jadransko more na jednom listu papira (službene pomorske karte za Jadransko more izrađuje HHI, *Hrvatski hidrografski institut*), izrađena je u mjerilu 1: 800.000 u formatu A0 (dimenzije: 1.189 mm x 841 mm) (HHI, 2013.: 14).

istraživanja kvantificirana i tretirana kao indeks lokalnog povećanja mjerila karte. Cilj tog postupka je utvrđivanje korelacije između stupnja povećanja prikaza objekata i njihovih stvarnih dimenzija.

Posljednje podpoglavlje vezano uz fizičke dimenzije karata odnosi se na izračun duljine portulanske milje izražene u kilometrima. Iznos portulanske milje izračunan je na temelju mjerenja duljina intervala na linearnim mjerilima odabranih portulanskih karata i dovođenja tih podataka u računsku vezu s parametrima referentne kartografske projekcije na temelju koje su mjerila pojedinih portulanskih karata izračunana.

Cilj poglavlja 6.2 je ispitivanje povezanosti rotacije prikaza prostora na portulanskim kartama u smjeru suprotnom od kazaljke na satu (u odnosu na smjer geografskog sjevera) s pretpostavljenom povezanošću korištenja portulanskih karata i magnetskog kompasa. U tu svrhu rotacija prikaza Jadranskog mora na pojedinim portulanskim kartama, prethodno izračunana unutar kartometrijske analize, uspoređena je s iznosima magnetske deklinacije iz vremena izrade pojedine portulanske karte. Iznosi magnetske deklinacije na prostoru Jadranskog mora iz godina izrade pojedinih portulanskih karata određeni su na temelju odabranog geofizičkog modela rekonstrukcije magnetske deklinacije.

U sklopu ovog poglavlja jedan od ciljeva je i ispitivanje pravilnosti u lokalnoj distribuciji točnosti kartiranja azimuta. Drugim riječima, cilj je izračunati je li točnost kartiranja azimuta u skladu sa smjerom magnetskog sjevera preko čitavog polja karte koji prikazuje Jadransko more ili postoje određene lokalne oscilacije, tj. dijelovi prikazanog prostora koji su točnije kartirani u odnosu na smjer geografskog sjevera. Lokalna distribucija točnosti kartiranja azimuta ispitana je na temelju izračuna lokalnih razlika među pogreškama kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade svake od karata i pogreškama u odnosu na smjer geografskog sjevera.

Cilj poglavlja 6.3 je utvrđivanje povezanosti geometrijskih međuodnosa prikaza prostora na portulanskim kartama, dobivenih u prethodnim poglavljima, s vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa iz perspektive pomorca na brodu. U svrhu ispitivanja tog aspekta korištenja portulanskih karata izrađen je model vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa s mora, stupnjevan s više jednakih intervala udaljenosti promatrača od obale.

Na temelju izrađenog modela vidljivosti reljefa s mora identificirani su dijelovi otočnog i kopnenog reljefa koji su više ili manje pogodni kao referentni objekti u svrhu terestričke navigacije. Prikaz vidljivosti reljefa s mora naknadno je uspoređen s točnošću kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera na portulanskim kartama.

Cilj poglavlja 6.4 je analitička usporedba podataka o točnosti kartiranja na portulanskim kartama, dobivenih unutar kartometrijske analize, s točnošću podataka o kursovima i udaljenostima sadržanim u odabranim portulanima. Svrha analize je utvrđivanje stupnja povezanosti tih dvaju vrsta izvora, odnosno utvrđivanje u kojoj se mjeri ti podaci slažu ili razlikuju. Podaci iz portulana su, osim s vrijednostima na portulanskim kartama, uspoređeni i

s ekvivalentnim vrijednostima na kartama u referentnim projekcijama. Ključni dio ove usporedbe je razina točnosti prikaza na portulanskim kartama, tj. pogreške kartiranja naspram referentnih vrijednosti. Na temelju tih razlika moguće je utvrditi je li geometrija podataka u portulanima u većoj korelaciji s geometrijom portulanskih karata ili s geometrijom prostora čiji je prikaz posljedica primjene standardiziranih hidrografskih izmjera i korištenja odabrane kartografske projekcije. Drugim riječima, cilj postupka je ispitivanje izvora podataka u portulanima – jesu li ti podaci nastali izravnim mjerenjima tijekom plovidbe ili su, pak, izmjereni na portulanskim kartama te potom (uz preračunavanje udaljenosti na dimenzije u prirodi) upisani u portulane.

S obzirom na to da su udaljenosti u portulanima izražene u portulanskim miljama, u ovom poglavlju izvršen je dodatni izračun iznosa portulanske milje. Udaljenosti iz portulana uspoređene su s ekvivalentnim udaljenostima na kartama u referentnim projekcijama i na portulanskim kartama. Iznos portulanske milje izračunan iz podataka u portulanima uspoređen je s iznosom portulanske milje prethodno izračunanim na temelju mjerenja duljina linearnih mjerila na portulanskim kartama. Ovaj dio poglavlja predstavlja nadogradnju dosadašnjim znanstvenim pokušajima rekonstrukcije duljine portulanske milje izražene u kilometrima.

HIPOTEZE

Hipoteze temeljene na prethodnim istraživanjima vezanim uz spomenutu problematiku su sljedeće:

1) *Portulanske karte geometrijski su najsličnije suvremenim kartama izrađenim u uspravnim cilindričnim projekcijama, odnosno u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj i u uspravnoj konformnoj cilindričnoj (Mercatorovoj) projekciji, a njihova geometrija odraz je postupka preslikavanja sferne površine Zemlje u ravnini s ciljano postavljenim parametrima projiciranja. Geometrija portulanskih karata konceptualno je utemeljena na nastojanju da se kursne linije prikažu kao ravne crte, a njihova točnost nije se značajnije mijenjala od najstarijih sačuvanih karata.*

2) *Portulanske karte bile su iznimno korisne kao navigacijsko pomagalo tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka, konstrukcijski su temeljene na portulanskoj milji kao mjeri za udaljenost, koncipirane su tako da mogu biti korištene uz magnetski kompas (pri čemu magnetska deklinacija nije bila korigirana) te su podaci na njima u skladu s kursovima i udaljenostima navedenim u tekstualnom obliku u portulanima.*

4 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Kada se istraživanje promatra kao cjelina, korištena metodologija izrazito je složena, no njezina kompleksnost opada s razlaganjem na korake postupka korištenih u pojedinim poglavljima i podpoglavljima. Pretpostavka je da bi detaljan prikaz metodologije isključivo unutar ovog poglavlja obuhvatio nepotrebno velik broj stranica te da bi prilikom čitanja kasnijih poglavlja potencijalno mogle nastati određene metodološke nejasnoće, što bi zahtijevalo često prelistavanje na poglavlje o metodologiji i natrag. Zbog toga su u ovom poglavlju navedeni samo temeljni metodološki postupci i terminologija važni za istraživanje u cjelini. Detaljan uvid u metodologiju prikazan je u pripadajućim poglavljima i grafički je upotpunjen odgovarajućim hodogramima (engl. *flow charts*). Pretpostavlja se da je na taj način čitatelju lakše kontekstualizirati problematiku pojedinih poglavlja i primijenjenu metodologiju povezati s dobivenim rezultatima i njihovom interpretacijom.

4.1 KOREKCIJE DEFORMACIJA GEOMETRIJE PORTULANSKIH KARATA

Postupak koji prethodi kvantitativnoj obradi odabranih portulanskih karata je priprema ulaznih podataka, odnosno korekcija njihove geometrije. Budući da su odabrane portulanske karte sačuvane tijekom razdoblja od pet do osam stoljeća, na njima su, uslijed rukovanja i prethodnih uvjeta pohrane, nastale fizički i kemijski uzrokovane deformacije. Te deformacije u kontekstu ovog istraživanja predstavljaju pogreške u odnosu na njihovu inicijalnu geometriju koje je potrebno minimizirati ispravljanjem.

Pretpostavlja se da su autori prilikom izrade karata mrežu rumba i (nevidljivu) kružnicu izradili s visokom razinom točnosti, tj. da su one izvorno bile izrađene kao gotovo savršena kružnica i gotovo savršeno ravne linije s točnim stupanjskim intervalima između njih. Ispravljanje geometrije karata stoga podrazumijeva ispravljanje mreže rumba na preuzetim digitalnim reprodukcijama karata tako da ono rezultira mrežama rumba s gotovo savršenom kružnicom.

Digitalne reprodukcije korištene za ovo istraživanje izrađene su skeniranjem i ortografski su ispravne. Zbog toga nije potrebno korigirati fokus leće fotoaparata, kao što je to slučaj kod reprodukcija nastalih fotografiranjem, a kakve je koristio, primjerice, Loomer. On je distorzije prikaza na kartama, nastale zbog perspektivnog prikaza u leći fotoaparata, ispravljao projektivnim transformiranjem (Loomer, 1987.: 98-126).

U svrhu ovog istraživanja ručno su ispravljene deformacije skeniranih izvornika karata najprije rotacijom (θ_{man}), a zatim sažimanjem uzduž X-osi, odnosno uzduž Y-osi. Pretpostavka je da su deformacije na kartama koje su izvedene kao samostalni listovi nastale razvlačenjem uzduž njihovih duljih osi, a na kartama uvezanima u atlase da su nastale u smjeru listanja prilikom rukovanja, odnosno u smjeru od knjižnog hrpta prema bočnim marginama listova.

Skenirane karte zarotirane su tako da su njihovi N–S rumbi nakon rotacije gotovo savršeno paralelni s Y-osi u koordinatnom sustavu da bi se potom što točnije mogli usporediti s geografskim sjeverom na referentnim kartama.

Kružnice rumba na portulanskim kartama su uslijed prethodno spomenutih deformacija blago spljoštene, tj. imaju oblik elipse. Na skeniranim kartama izmjerena je deformacija kružnice rumba u odnosu na (savršenu) referentnu kružnicu. Pritom se točke dodira elipse i kružnice na kartama kao samostalnim listovima nalaze uzduž kraće osi karte, a na kartama iz atlasa uzduž osi okomite na smjer listanja. Portulanske karte potom su ručno korigirane tako da su linearno sažimane uzduž osi okomite na os dodira dok se deformirana kružnica rumba iz oblika elipse ne preklopi s referentnom kružnicom. Na karti PK 1290. ispravljena je samo zapadna kružnica, budući da se prikaz Jadranskog mora na toj karti nalazi isključivo u sastavu te kružnice.

Vrijednosti izmjerenih, odnosno ispravljenih deformacija te iznosa rotacije koji je bilo potrebno izvršiti, prikazan je u tablici (Tablica 4—1.). Nedostatak ove metode je taj što njome nije moguće geometrijski ispraviti vidljiva oštećenja karata, kao ni manje lokalne deformacije radijalnog tipa koje su nastale uslijed izlaganja karata tekućini ili vlazi, a koje se najčešće nalaze na rubovima karata. Iz prikazane tablice vidljivo je da, unatoč tome što su odabrane portulanske karte redovito stare više od pola tisućljeća i tome da uvjeti u kojima su bile pohranjene prije njihova posljednjeg pronalaska nisu u potpunosti poznati, najveća izmjerena deformacija uzduž jedne osi ne prelazi više od 14 mm, tj. 3,7 % u odnosu na linearne dimenzije čitave karte. Ako se pritom izuzmu karte PK 1290. i PV 1318., koje imaju izrazitije vrijednosti deformacije, u slučaju karte KA 1375. i karata izrađenih nakon nje deformacija kružnice rumba često ima iznos od 1 mm ili manji, odnosno 0,5 % ili manje s obzirom na ukupne linearne dimenzije tih karata uzduž X-osi ili uzduž Y-osi.

Tablica 4—1. Iznosi ručnih ispravaka deformacija na nevidljivim kružnicama mreže rumba na odabranim portulanskim kartama po X-osi (dX) i po Y-osi (dY) [mm, %] te vrijednosti ručne rotacije karata (θ_{man}) pri postavljanju rumba N-S u položaj paralelan s Y-osi [°] u svrhu pripreme karata za postupak georeferenciranja.

KOREKCIJE	PK 1290.	PV 1318.	KA 1375.	AB 1436.	GB 1466.	AN 1482.	AVG A1	BA a 1538.	DH a 1570.	VDV a 1593.	AVG A2	BA b 1538.	DH b 1570.	VDV b 1593.	AVG B	AVG
dX [mm]	14,3	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**3,7**	0,0	0,3	0,0	**0,1**	1,1	1,5	0,9	**1,1**	**1,7**
dX [%]	3,7	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**1,1**	0,0	0,1	0,0	**0,0**	0,6	0,6	0,3	**0,5**	**0,5**
dY [mm]	0,0	0,0	0,6	5,0	0,5	1,8	**1,3**	0,6	0,0	0,8	**0,5**	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,6**
dY [%]	0,0	0,0	0,9	2,0	0,6	0,7	**0,7**	0,3	0,0	0,3	**0,2**	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,3**
θ_{man} [°]	-2,0	0,0	0,5	0,0	-0,3	1,2	**-0,1**	0,5	-0,5	0,2	**0,1**	0,4	-0,1	0,2	**0,2**	**0,0**

4.2 REFERENTNE I IDENTIČNE VRIJEDNOSTI U EUKLIDSKOJ GEOMETRIJI

Istraživanje je temeljeno na kvantitativno-analitičkom pristupu proučavanju portulanskih karata, a njihova geometrija uspoređena je s geometrijom prikaza prostora Jadranskog mora na suvremenoj karti projiciranoj u 6 kartografskih projekcija. Prikaz bazena Jadranskog mora na suvremenoj karti u svakoj od odabranih kartografskih projekcija tretiran je kao samostalna *referentna ploha*, što ukupno čini 6 referentnih ploha, dok su prikazi bazena Jadranskog mora na 12 odabranih portulanskih karata tretirani kao *identične plohe*.

Sve vrijednosti izmjerene i izračunane u istraživanju odnose se na ravninsku (euklidsku) geometriju u kartezijevom koordinatnom sustavu. Drugim riječima, ravninski prikaz prostora na portulanskim kartama analitički je izravno uspoređen s ravninskim prikazom prostora na kartama u referentnim kartografskim projekcijama, čime su izbjegnute transformacije iz ravninske u sfernu geometriju i obrnuto.

Sa svake od 6 referentnih ploha prikupljen je uzorak od ukupno 40 točaka (luke i otoci prikazani na karti) koji u svrhu izračuna točnosti portulanskih karata čini *skup referentnih točaka* (Slika 4—1.). Svakoj od odabranih referentnih točaka potom su, s obzirom na parametre kartografske projekcije u kojoj je karta izrađena, izmjerene pripadajuće ravninske $(\hat{X}, \hat{Y})$ koordinate [km], što ukupno čini 6 samostalnih skupova točaka. Budući da referentne točke predstavljaju presjeke svojih koordinata na X-osi i na Y-osi u odnosu na ishodište ravninskog koordinatnog sustava (ukupno 80 referentnih koordinata na obje osi), one u kontekstu geometrije karte imaju značenje *apsolutnih vrijednosti* (engl. *absolute values*). Kriteriji odabira referentnih točaka navedeni su u sljedećim odlomcima.

Broj točaka treba biti što veći s ciljem povećanja redundancije ulaznih podataka da bi kasniji izračuni prosječnih iznosa točnosti kartiranja po pojedinim kriterijima bili što manje „osjetljivi“ na ekstremne vrijednosti. Ukupno 40 točaka odabrano je zbog razmjerno malih dimenzija prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama sitnog mjerila (karte A), i u skladu s time, razmjerno reduciranog broja toponima na njima u odnosu na broj toponima na kartama krupnijeg mjerila (karte B). Mogućnost identificiranja istih točaka na svim portulanskim kartama jedan je od ključnih preduvjeta za kasniju međusobnu usporedbu njihove točnosti i preciznosti, zbog čega je bilo potrebno odabrati točke koje su prepoznatljive na svim odabranim portulanskim kartama[26].

Rubne točke u skupu točaka trebaju obuhvaćati i svojim oblikom donekle prikazivati pojednostavljeni izgled prostora istraživanja u užem smislu, u ovom slučaju obalne crte Jadranskog mora.

[26] Iznimku predstavlja točka Ortona u na karti KA 1375 i Kopar na pojedinim kartama iz grupe A. Naime, zbog oštećenja karte na tom dijelu, lokaciju luke Ortona nije bilo moguće izravno očitati i ucrtati, već je njezin položaj na toj karti pretpostavljen s obzirom na luke vidljive sjeverozapadno i jugoistočno od nje na dijelu karte koji nije pretrpio oštećenja, dok je položaj luke Kopar na pojedinim kartama iz grupe A pretpostavljen.

Točke rubnog dijela skupa trebaju međusobno biti položene tako da je između susjednih točaka plovidbu moguće organizirati izravno ili barem relativno neometano. To, naravno, nije izvedivo na tako jednostavan način u plovidbenoj praksi u stvarnosti, no nastojalo se postići da poveznice između točaka presijecaju kopno što manjim dijelom te da se postigne izgled mreže unutar koje za svaku obalnu točku postoji barem jedna ili dvije prekomorske točke s kojima je povezana relativno neometanom prekomorskom linijom. Najveći izazov tom kriteriju čine otoci i otočni nizovi istočne obale Jadranskog mora, koji onemogućuju izravnu povezanost dviju nasuprotnih prekomorskih točaka istočne i zapadne obale kopna.[27]

Kopneni dio obale istočnog Jadranskog mora na potezu između točaka Pula i Dubrovnik s pripadajućim prostorom otočja i unutarnjih morskih voda Kvarnera i Dalmacije ciljano je izostavljen iz primarne kartometrijske analitike iz dvaju razloga, no neki dijelovi tog prostora obuhvaćeni su posredno u poglavlju 6.4 vezanom uz međuodnos portulanskih karata i portulana. Prvi razlog izostavljanja je što taj dio prostora ne udovoljava prethodno spomenutom kriteriju mogućnosti izravne plovidbe. Drugi razlog je pretjerano shematiziran prikaz otoka i otočja tog prostora na svim odabranim portulanskim kartama, stoga bi njihovo postojanje u kartometrijskoj analizi predstavljalo ekstremne vrijednosti koje bi statistički povećale ukupne pogreške karata. Njihovo izostavljanje s popisa referentno–identičnih parova točaka opravdano je rezultatima analize vidljivosti reljefa otoka i kopna s mora, poglavlje 6.3, iz kojih proizlazi da je reljef gotovo svih otoka i čitave obale kopna koji se nalaze u sastavu unutarnjih voda istočnog Jadranskog mora u pravilu vidljiv s udaljenosti do 3 NM (oko 5,6 km) (Slika 6—16., Slika 6—17.). U istraživanju se pretpostavlja da pri prilasku broda obali na udaljenost od 3 NM ili bliže, potreba za korištenjem portulanske karte opada te da njezina uporaba u tom slučaju može potencijalno više štetiti nego koristiti sigurnosti plovidbe. Ta pretpostavka utemeljena je na spomenutom pretjerano shematiziranom prikazu otoka unutrašnjih morskih voda Jadranskog mora na svim portulanskim kartama te prosječnim mjerilima tih karata s modulima u milijunskim iznosima. Pojednostavljeno govoreći, pretpostavlja se da je prilikom prilaska obali na udaljenosti od 3 NM ili manjoj, pomorcima bilo sigurnije ploviti isključivo na temelju terestričke navigacije i prethodno stečenih plovidbenih iskustava.

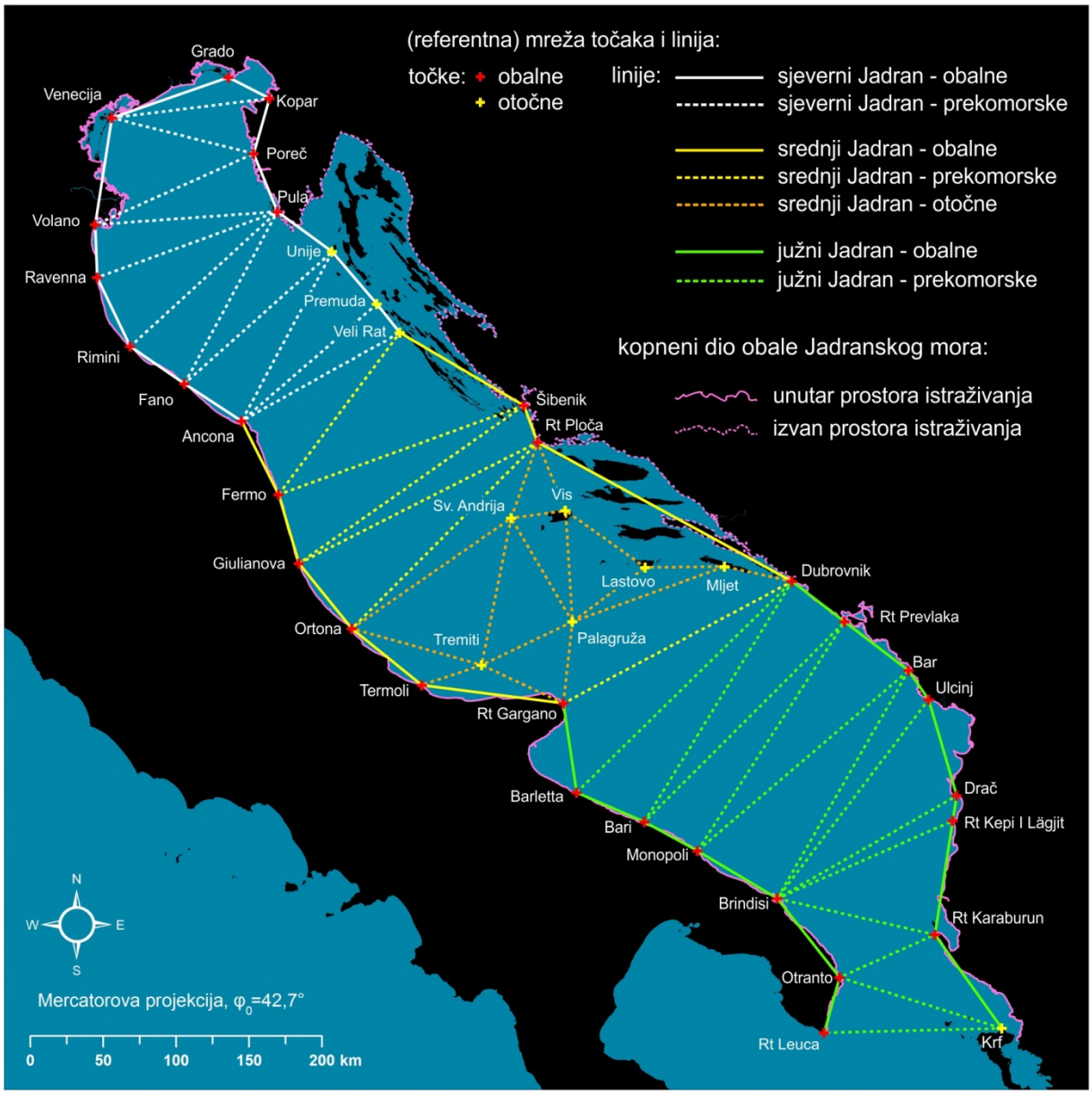
[27] Upravo iz tog razloga, na istočnom dijelu Jadranskog mora uzduž kojeg postoje pojasevi otočnih nizova Kvarnera i Dalmacije (između točaka Pula i Dubrovnik), odabrane su samo dvije referentne točke – Veli Rat na Dugom otoku te Rt Ploča. Veli Rat odabran je iz razloga što se nalazi na plovidbenoj ruti koja povezuje gradove Anconu i Zadar. Naime, na otoku Molatu, nekoliko kilometara NE od Velog Rata jedna od uvala poznata je i pod toponimom *Jakinška uvala.* Jakin je jedno od hrvatskih imena za Anconu (Crljenko, 2017.: 93, 101), a navedena je i na *Pisanskoj karti* pod toponimom *Porto Anconan*. Rt Ploča odabran je kao referentna točka zbog svojeg iznimnog plovidbenog značaja. Naime, taj rt je zbog svoje morfologije (kao dio ponešto veće kopnene cjeline isturene prema otvorenome moru) te zbog vremenskih prilika specifičnih za tu mikrolokaciju bio poznat pomorcima još iz vremena antike, a moguće i ranije (Šešelj, 2009.: 387-392).

U svrhu detaljnijeg definiranja geometrijskih odnosa između pojedinih točaka, odabrane referentne točke međusobno su povezane s ukupno 80 *referentnih linija* (dužina) (Slika 4—1.). Takav skup linija prividno ima izgled nepravilne mreže trokuta, no svaka linija iz tog skupa je u svrhu istraživanja tretirana kao samostalni geometrijski entitet definiran svojom duljinom (koja se odnosi na određenu udaljenost u stvarnosti) i azimutom u odnosu na smjer sjevera. Budući da su duljina i azimut svake od linija u izravnoj ovisnosti o prostornoj raspodijeli odabranih referentnih točaka kao apsolutnih vrijednosti, one u kontekstu geometrije karte imaju značenje *relativnih* (*zavisnih*) *vrijednosti* (engl. *dependent values*). Maksimalni broj linija ($n_{L\,max}$) koji je moguće povući između skupa od $T\,(X,Y)$ točaka u ravnini moguće je izračunati prema izrazu: $n_{L\,max} = \sum_{i=1}^{n-1} T_i$, ili kraće: $n_{L\,max} = \frac{n_T(n_T-1)}{2}$ (Tobler, 1977.: 3). Jednostavna grafička demonstracija te zakonitosti prikazana je u sekciji priloga (Slika 10—10.). Drugim riječima, maksimalni broj linija koje je moguće povući između 40 točaka iznosi 780, gotovo deset puta više od 80 odabranih linija. Kriterij odabira referentnih linija funkcionalno se temelji na prethodno spomenutoj mogućnosti organizacije izravne ili barem relativno neometane plovidbe uzduž tih pravaca (hipotetskih plovidbenih ruta u stvarnosti).

Pojednostavljeno govoreći, ta referentna mreža sastoji se od ukupno 40 točaka koje predstavljaju apsolutne vrijednosti, definirane svojim ravninskim $\hat{X}$ i $\hat{Y}$ koordinatama [km] u odnosu na ishodište referentnoga koordinatnog sustava (u mjerilu karte 1: 1, tj. pri M=1) i od ukupno 80 linija koje predstavljaju relativne vrijednosti kojima je moguće izmjeriti duljinu [km] (također pri M=1) te azimut [°] u odnosu na smjer geografskog ili magnetskog sjevera.

Zbog potreba izrade poglavlja 5.3 i poglavlja 6.4, u kojima se analitika temelji na razlikama u točnosti s obzirom na područje po kojem se određene linije iz mreže i rute iz portulana protežu, i referentne i identične točke i linije iz detaljnije mreže dodatno su regionalno-funkcionalno podijeljene na sljedeći način (Slika 4—1.):

a) točke (40) podijeljene su na:
   točke *sjevernog* (13), *srednjeg* (14) i *južnog* (13) dijela Jadranskog mora,
   obalne točke (30) i *otočne* točke (10);
b) linije (80) su podijeljene na:
   linije *sjevernog* (23), *srednjeg* (31) i *južnog* (26) dijela Jadranskog mora,
   obalne linije (33), *prekomorske* linije (30) i *otočne* linije (17).



Slika 4—1. Izgled i regionalno-funkcionalna podjela (referentne) mreže točaka i linija (kategorija *otočne linije* primijenjena je samo za srednji dio Jadranskog mora).

METODA NAJMANJIH KVADRATA I TRANSFORMACIJA PORTULANSKIH KARATA

Odabrani skup točaka i linija ucrtan na karte u referentnim kartografskim projekcijama identificiran je i ucrtan na svakoj od 12 odabranih portulanskih karata. Te vrijednosti su u kontekstu istraživanja nazvane *identičnim vrijednostima*, tj. na svaku portulansku kartu ucrtano je ukupno 40 *identičnih točaka* i 80 *identičnih linija* – grafički prikaz identičnih mreža na portulanskim kartama vidljiv je u sekciji priloga (Slika 10—1., ... , Slika 10—9.).

Apsolutne vrijednosti (X i Y koordinate) identičnih točaka u mrežama ucrtanima na portulanske karte (kao digitalnim reprodukcijama) primjereno je, s obzirom na fizičke dimenzije tih karata, izraziti u milimetrima. Međutim, na portulanskim kartama nije ucrtana

stupanjska mreža već mreža rumba, a osim toga karte se međusobno razlikuju po obuhvatu prikazanog prostora. Iz tih razloga portulanskim kartama kao samostalnim fizičkim kartografskim prikazima nije moguće utvrditi ishodišta njihovih koordinatnih sustava, niti ih međusobno standardizirati. Jedina metoda utvrđivanja koordinata identičnih točaka na portulanskim kartama je stoga indirektna, tj. računska, tako da se portulansku kartu uz pomoć odabrane ravninske transformacije „preklopi" s referentnom kartom kao plohom s definiranom geometrijom i ishodištem koordinatnog sustava.

Temelj „preklapanja" prikaza bazena Jadranskog mora na portulanskim kartama i njegovog prikaza na suvremenoj karti u referentnoj kartografskoj projekciji predstavlja pridruživanje identičnih točaka odgovarajućim referentnim točkama. Drugim riječima, budući da je karta (kao ravnina) iz aspekta ulaznih podataka svedena na uzorak točaka, svakoj referentnoj točki pridružena je pripadajuća identična točka (koja se odnosi na istu lokaciju u prostoru), čime nastaju tzv. *referentno-identični parovi točaka*. Skup referentnih točaka pritom tvori model (očekivane vrijednosti) (engl. *expected values*) za koji je arbitrarno određeno da ima maksimalnu točnost, tj. da geometrija njegovog skupa točaka ne sadrži pogrešku položaja.

S druge strane, identične točke odnose se na izmjerene vrijednosti (engl. *observed values*) čija geometrija sadrži pogreške položaja koje je potrebno minimizirati u odnosu na model. Minimiziranje pogrešaka izmjerenih vrijednosti u odnosu na model izvedeno je *metodom* (*izračuna*, *procjene*) *najmanjih kvadrata* (*LSE*) (Ghilani i Wolf, 2006.: 173-188, 444-447; Jenny i Hurni, 2011.: 403-405; Nicolai, 2014.: 209-210). Cilj metode je izračun najmanjih mogućih iznosa pogrešaka identičnih točaka uzduž X-osi i Y-osi u odnosu na referentni skup točaka uz korištenje pripadajuće transformacije identičnog sustava u referentni sustav.

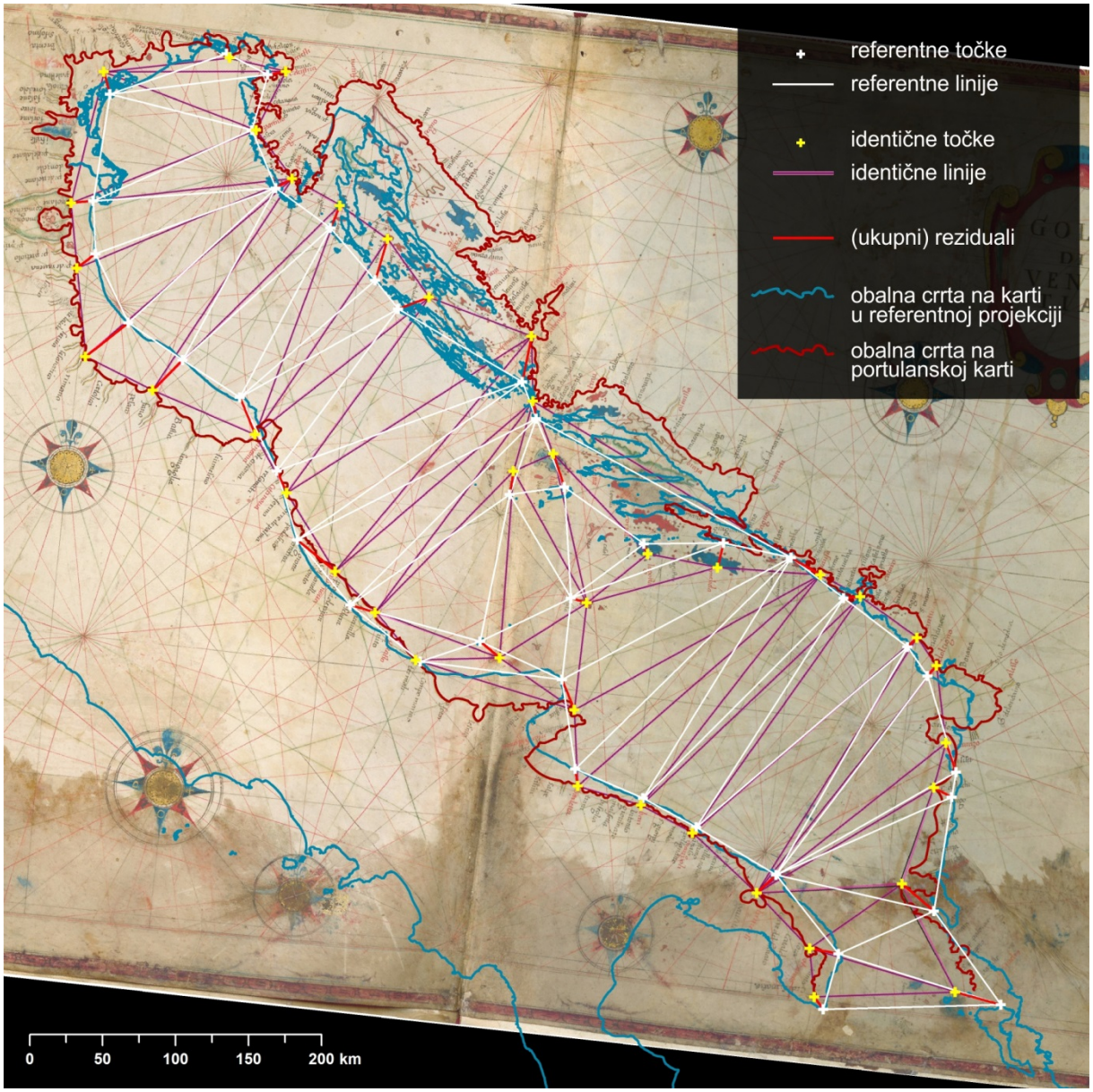
U svrhu ovog istraživanja upotrijebljena je *4-parametarska ravninska konformna transformacija* (tzv. Helmertova ravninska transformacija). Kod te vrste ravninske transformacije, s objektom kojeg se transformira u ravnini moguće je izvršiti translaciju po X-osi i po Y-osi ravnine, ukupnu rotaciju objekta u ravnini te ukupnu promjenu mjerila (ukupno skaliranje) objekta. Korištenjem 4-parametarske konformne transformacije transformiranom objektu se ne mijenjaju izvorni kutovi, tj. izvorna forma ostaje ista. Primjerice, kvadrat transformiran na taj način može se povećati ili smanjiti, zarotirati oko bilo kojeg centra rotacije u ravnini te pomaknuti uzduž bilo koje ili uzduž obiju osi u ravnini, no postupak ne može rezultirati time da kvadrat u konačnici postane romb ili paralelogram, kao što je to slučaj kod afine ravninske 6-parametarske transformacije (Modenov i Parkhomenko, 1965.: 77-93, 97-144). Konformna 4-parametarska transformacija korištena je u istraživanju u svrhu očuvanja izvorne geometrije portulanskih karata, prvenstveno s ciljem izračuna točnosti kartiranja azimuta na tim kartama. Nakon što je, u skladu s odabranom ravninskom transformacijom, izvršen postupak *LSE* i na taj način postignuta najmanja moguća pogreška izmjerenih vrijednosti u odnosu na model, identičnim točkama na portulanskim kartama moguće je očitati ravninske (*X*, *Y*) koordinate, no one se (nakon transformacije i *LSE*)

izražavaju u odnosu na referentni koordinatni sustav (tj. u odnosu na sustav u koji su transformirane) s pripadajućim ishodištem i dimenzijama u skladu s parametrima odabrane referentne kartografske projekcije. Postupak transformacije i *LSE* je u istraživanju pojednostavljeno nazvan *georeferenciranjem*, a karta za koju je izvršen *LSE* nazvana je *georeferencirana karta* (Slika 4—2.).

Slika 4—2. Karta VDVb 1593. georeferencirana na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°) kao referentnu plohu metodom *LSE* i korištenjem konformne 4-parametarske transformacije.

U poglavlju 5.1, svaka od 12 odabranih portulanskih karata „preklopljena" je sa suvremenom kartom projiciranom u ukupno 6 odabranih referentnih projekcija na temelju 40 referentno-identičnih parova točaka (Slika 4—3.) – krajnji produkt čine 72 samostalna postupka georeferenciranja.

U svim kasnijim poglavljima (5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3 i 6.4), točnost portulanskih karata te točnost podataka o kursovima i udaljenostima iz portulana u odnosu na geometriju portulanskih karata (poglavlje 6.4), izračunana je također na uzorku od istih 40 identično-referentnih parova točaka (Slika 4—3.), a kao referentna ploha korištena je karta u kartografskoj projekciji za koju je u poglavlju 5.1 izračunana najveća sličnost geometrije u odnosu na geometrije portulanskih karata iz uzorka.



Slika 4—3. Prostorna raspodjela identičnih točaka (40) i linija (80) na portulanskoj karti VDVb 1593. s pripadajućim ukupnim rezidualima kartiranja položaja (*Re*) u odnosu na referentne točke.

FORMULACIJE ZA IZRAČUNE POGREŠAKA KARTIRANJA

Pogreške geometrije identičnih točaka u odnosu na geometriju referentnih točaka, međutim, ni nakon georeferenciranja karte nije moguće u potpunosti ukloniti. Kada pogrešaka između dviju karata ne bi bilo, to bi značilo da je riječ o dvije geometrijski identične karte, ne samo po pitanju kartografske projekcije, već i po pitanju točnosti prethodno provedene izmjere prostora te po pitanju točnosti izrade karte, uključujući mjerilo i pripadajući stupanj generalizacije prikaza. Drugim riječima, nakon što je izvršen postupak *LSE* uz pripadajuću transformaciju (tj. nakon što je karta georeferencirana), određene pogreške položaja identičnih točaka u odnosu na pripadajuće im referentne točke i dalje postoje. Takve „zaostale" pogreške nazivaju se *reziduali* [km], a odnose se na odmak (engl. *displacement*) identične točke u odnosu na pripadajuću referentnu točku uzduž X-osi (*dX*) [km] (*rezidual po X-osi*) i uzduž Y-osi (*dY*) [km] (*rezidual po Y-osi*). Na grafičkom, tj. kartografskom prikazu, te odmake je najjednostavnije prikazati kao najkraću poveznicu između referentne i identične točke (Slika 4—3., Slika 5—4.) koja je za potrebe istraživanja nazvana *ukupni rezidual* (*Re*). Međutim, u postupku *LSE* i s obzirom na odabranu transformaciju on se izračunava isključivo kao vrijednosti na osima koordinatnog sustava. Pojednostavljeno govoreći, ukupni rezidual *Re* [km] čini hipotenuzu pravokutnog trokuta kojemu su reziduali *dX* [km] i *dY* [km] katete.

Na temelju izračunanih iznosa *dX* i *dY*, kao produkata postupka georeferenciranja, moguće je izračunati prosječan iznos pogrešaka koordinata odabranih identičnih točaka u odnosu na koordinate referentnih točaka. Praksa je da se iznos prosječne pogreške u tom slučaju izražava kao *korijen srednje kvadratne pogreške* (*RMSE*) [km], tj. kao korijen iz srednje kvadratne pogreške (*MSE*) [km^2] (varijance pogrešaka), pri čemu je potrebno uvažiti tzv. „stupnjeve slobode" (engl. *degrees of freedom*) sadržane u postupku transformacije. Helmertova 4-parametarska ravninska konformna transformacija omogućuje 4 stupnja intervencije u geometriju transformiranog objekta (translacija po X-osi, translacija po Y-osi, ukupno skaliranje i ukupna rotacija). Srednja kvadratna pogreška (*MSE*) za *n* točaka i uz upotrebu Helmertove transformacije izračunava se i razlaže na komponente *MSE dX* i *MSE dY* ($MSE\ Re = MSE\ dX + MSE\ dY$) na sljedeći način (Loomer, 1987.: 113; Bevington i Robinson, 2003.: 98-114; Jenny i Hurni, 2011.: 403-405; Nicolai, 2014.: 209-210):

$$MSE\ Re = \frac{\sum_{i=1}^{n}(dX_i^2 + dY_i^2)}{2n-4} = \frac{\sum_{i=1}^{n} dX_i^2 + \sum_{i=1}^{n} dY_i^2}{2n-4} = \left\{\frac{\sum_{i=1}^{n} dX_i^2}{2n-4}\right\} + \left\{\frac{\sum_{i=1}^{n} dY_i^2}{2n-4}\right\}$$

Nazivnik razlomka $(2n-4)$ odnosi se na broj *stupnjeva slobode*, tj. prikazuje koliko je vrijednosti unutar ukupnog uzorka koordinata (koordinate na X-osi i na Y-osi) statistički značajno za izračun pogreške. To moguće je demonstrirati na pojednostavljenom primjeru izračuna razlika u geometriji dvaju trokuta čiji se izgled razlikuje – trokuta $\Delta\ ABC$ kao „referentnog" i trokuta $\Delta\ A'B'C'$ kao „identičnog". Mogući rezultat „preklapanja" trokuta Δ

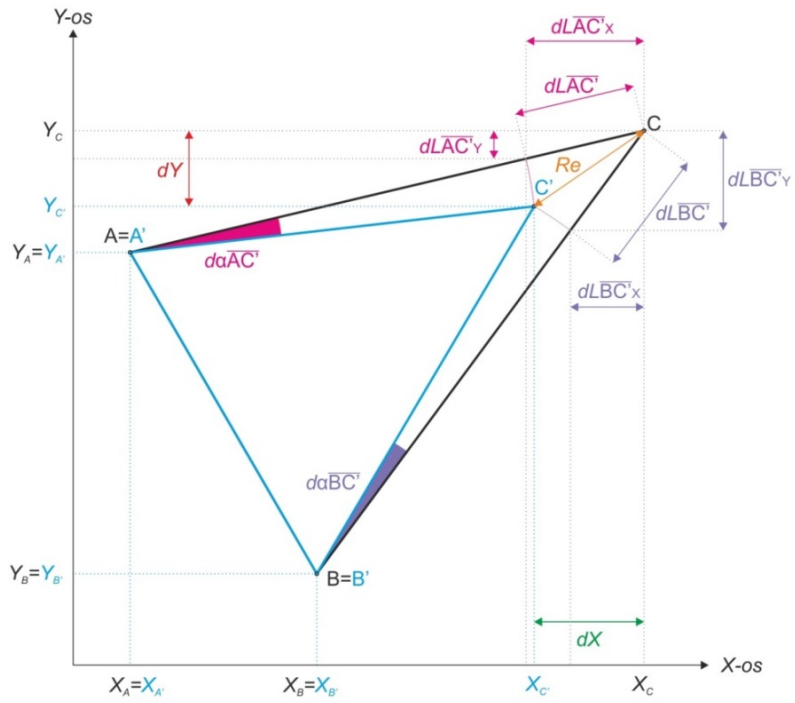
$A'B'C'$ na trokut $\Delta\ ABC$ (metodom najmanjih kvadrata uz primjenu Helmertove transformacije) može biti potpuno preklapanje dvije od ukupno tri točke (vrha trokuta, od kojih je svaki definiran koordinatama X i Y). Kada se taj rezultat promatra iz aspekta razlika u geometrijama tih dvaju trokuta, tj. „pogrešaka geometrije" trokuta $\Delta\ A'B'C'$ u odnosu na trokut $\Delta\ ABC$, vidljivo je da (samo) 1 od 3 točke trokuta $\Delta\ A'B'C'$, tj. (samo) 2 od ukupno 6 njegovih koordinata, sadrže statistički značajne informacije za izračun pogreške (Slika 4—4.). Također, pri preklapanju dužine $\overline{A'B'}$ (definirane pomoću koordinata $X_{A'}$, $X_{B'}$, $Y_{A'}$, $Y_{B'}$) kao „identične" na dužinu $\overline{AB}$ (definirane pomoću koordinata X_A, X_B, Y_A, Y_B) kao „referentnu" uz korištenje Helmertove transformacije, ukupna pogreška je nula, što je još jednostavniji primjer. U slučaju izračuna primijenjenih u ovom istraživanju, u kojem ukupni broj koordinata (od 40 točaka) iznosi 80, broj statistički značajnih koordinata za izračun pogreške je 76 ($2 \times 40 - 4$). Formulacijom *RMSE Re* (korijen *MSE Re* – varijance statistički značajnih pogrešaka koordinata) prikazuje se prosječna pogreška položaja točaka projicirana na (obje) osi. Međutim, iz tog podatka nije moguće utvrditi prosječne iznose pogrešaka na X-osi i na Y-osi zbog čega je potrebno izvesti korijene pogrešaka uzduž X-osi (*RMSE dX*) uzduž Y-osi (*RMSE dY*) (X i Y predstavljaju identične, a $\hat{X}\ i\ \hat{Y}$ referentne koordinate točaka u skupu):

$$RMSE\ Re = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[(X_i-\hat{X}_i)^2+(Y_i-\hat{Y}_i)^2]}{2n-4}},\ RMSE\ dX = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\hat{X}_i)^2}{2n-4}},\ RMSE\ dY = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\hat{Y}_i)^2}{2n-4}}$$

Uz pomoć izraza *RMSE Re* izračunava se „ukupni" prosječni iznos pogreška koordinata X_i i Y_i na osima, tj. rezultat se „istodobno" odnosi i na vrijednosti na X-osi i na vrijednosti na Y-osi. Međutim, kao parametar za izražavanje pogreške kartiranja (položaja), tj. točnosti georeferencirane karte valja upotrijebiti veću od dvije izračunane pogreške položaja po osima (Nicolai, 2014.: 209-210), zbog čega je nužno izvesti samostalne izračune *RMSE dX* i *RMSE dY*.

Kao parametri točnosti kartiranja bazena Jadranskog mora na portulanskim kartama uvedene su i relativne (zavisne) geometrijske vrijednosti, tj. uzorci od 80 linija kojima su točke u skupu međusobno povezane, koje je također moguće postaviti u kontekst referentno-identičnih parova u svrhu izračunavanja prosječnih iznosa pogrešaka. Helmertova transformacija u ravnini, kako je prethodno navedeno, omogućuje 4 stupnja intervencije u geometriju transformiranog objekta prilikom transformacije identičnog skupa točaka na referentni skup točaka u referentnom koordinatnom sustavu. Međutim, kada se taj postupak promatra isključivo iz perspektive linija (dužina) kojima su točke povezane, proizlazi da je broj stupnjeva intervencija u njihovu geometriju zapravo 2 umjesto 4. Naime, s obzirom na to da je Helmertova transformacija konformna, međusobni odnos identičnih točaka (koordinata) u ravnini je, u relativnim omjerima, tijekom čitavog postupka transformacije nepromjenjiv, tj. identične točke su u relativnim omjerima „fiksirane" jedna u odnosu na drugu – pri translaciji po X-osi ili po Y-osi ali i pri ukupnom skaliranju ili rotaciji skupa. Međusobni odnos duljina i azimuta linija između točaka također ostaje nepromijenjen u relativnim omjerima.

Kada se linije kojima su točke međusobno povezane promatraju izdvojeno i u apsolutnim vrijednostima, vidljivo je da Helmertova transformacija uvjetuje promjenu njihove duljine i azimuta. Promjena duljine linija uvjetovana je jednim od četiri stupnja intervencije u geometriju – ukupnim skaliranjem, tj. ukupnom promjenom mjerila (skupa točaka, tj. karte). Promjena azimuta je također uvjetovana jednim od četiri stupnja intervencije u geometriju, tj. ukupnom rotacijom skupa točaka. Drugim riječima, kada se transformacija skupa točaka promatra isključivo iz aspekta linija kojima su povezane i u kontekstu stupnjeva slobode prilikom njihove transformacije, proizlazi da broj statistički značajnih linija za izračun pogreške kartiranja po pitanju točnosti kartiranja udaljenosti (broj stupnjeva slobode) iznosi $n-1$[28], a po pitanju točnosti kartiranja azimuta također $n-1$. Primjerice, prilikom prethodno spomenutog „preklapanja" trokuta $\Delta\ A'B'C'$ na trokut $\Delta\ ABC$, postoji mogućnost da 1 od 3 stranice „identičnog trokuta" (po pitanju duljine i po pitanju azimuta) bude u potpunosti preklopljena s 1 od 3 stranice „referentnog trokuta" (Slika 4—4.).



Slika 4—4. Shematski prikaz statistički značajnih pogrešaka apsolutnih vrijednosti (koordinata točaka) i relativnih vrijednosti (duljina i azimuta linija) za izračunavanje pogrešaka u postupku *LSE* uz primjenu Helmertove ravninske transformacije (Δ ABC – „referentni trokut", Δ A'B'C' – „identični trokut").

[28] Kada bi se izračunavala točnost kartiranja udaljenosti tako da se izračunava prosječni iznos projekcije pogreške na osi, broj stupnjeva slobode iznosio bi $2n-2$.

Srednji iznosi pogrešaka kartiranja udaljenosti (dL) i pogrešaka kartiranja azimuta ($d\alpha$) su, u ovisnosti o tematici pojedinih poglavlja, izračunavane na više načina. U poglavlju 5.1, su izračunavane su kao *korijeni srednje kvadratne pogreške*, tj. kao *RMSE dL* i *RMSE dα.* Razlog je taj što je izračun *RMSE* (s obzirom na to da se u postupku izračunava varijanca pogreške) „osjetljiv" na lokalne pogreške većeg iznosa. Na taj način jednostavnije je ustanoviti razlike u geometriji portulanskih karata u odnosu na pojedine odabrane referentne projekcije, čije se geometrije, zbog relativno malih dimenzija bazena Jadranskog mora, međusobno razmjerno malo razlikuju. Formulacije za izračun *RMSE dL* [km] i *RMSE dα* [°] su sljedeće:

$$RMSE\ dL = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(L_i - \hat{L}_i\right)^2}{n-1}}, \qquad RMSE\ d\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\alpha_i - \hat{\alpha}_i)^2}{n-1}}$$

U poglavljima 5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3 i 6.4 srednje pogreške kartiranja udaljenosti i srednje pogreške kartiranja azimuta izračunavane su kao *srednje apsolutne pogreške*, tj. kao *MAE dL* i *MAE dα*, pri čemu formulacija *MAE* pokazuje srednje vrijednosti pogrešaka bez prethodno izračunane njihove varijance. Korištenjem tog izračuna, dobivene vrijednosti je jednostavnije percipirati, no metoda je, u odnosu na *RMSE*, manje „osjetljiva" na lokalne pogreške većeg iznosa. U poglavlju 5.3, pogreške kartiranja udaljenosti dodatno su izračunane i putem izraza *ME dL*, koji predstavlja, uvjetno rečeno, srednju „stvarnu" pogrešku (engl. *mean biased error*) kartiranja udaljenosti. Uz pomoć te formulacije moguće je izračunati jesu li identične udaljenosti u prosjeku kartirane duljima ili kraćima u odnosu na njihove referentne ekvivalente. Formulacije za izračun *MAE dL* [km], *ME dL* [km] i *MAE dα* [°] su sljedeće:

$$MAE\ dL = \frac{\sum_{i=1}^{n}|L_i - \hat{L}_i|}{n-1}, \qquad ME\ dL = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(L_i - \hat{L}_i\right)}{n-1}, \qquad MAE\ d\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n}|\alpha_i - \hat{\alpha}_i|}{n-1}$$

U poglavlju 6.4, u dijelu u kojem je izračunavan iznos prosječne pogreške podataka o udaljenostima (*MAE dL*) i prosječne pogreške podataka o kursovima (*MAE dα*) iz portulana u odnosu na njihove ekvivalente na referentnim kartama te u odnosu na ekvivalente na portulanskim kartama, nazivnik u izračunu je n. Naime, pri izračunu tih vrijednosti nije riječ o sustavu plovidbenih ruta koji je transformiran kao cjelina, već je svaka ruta „transformirana" samostalno. Također, identificirani broj ruta čini (gotovo) ukupnu količinu podataka u portulanima za bazen Jadranskog mora, tj. u okvirima prostora proučavanja tvori „populaciju" a ne „uzorak" podataka. Navedene formulacije imaju sljedeći oblik:

$$MAE\ dL = \frac{\sum_{i=1}^{n}|L_i - \hat{L}_i|}{n}, \qquad MAE\ d\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n}|\alpha_i - \hat{\alpha}_i|}{n}$$

4.3 HIJERARHIJSKI ODNOS PODATAKA I METODOLOŠKA OGRANIČENJA

Prije prikaza analitičke obrade i rezultata potrebno je istaknuti primijenjeni hijerarhijski odnos podataka te određena metodološka ograničenja, koja su uvjetovana prije svega kartografikom portulanskih karata te brojem i lokacijom odabranih točaka i linija od kojih je sačinjena referentna mreža.

Ravninske mreže ucrtane na karte, sačinjene od 40 točaka i 80 linija, temelj su čitave daljnje kartometrijske analitike u radu. Točke i linije odabrane za njihove konstrukcije smatraju se *točkama i linijama prvog reda točnosti*.

Položaj svih ostalih točaka i linija na portulanskim kartama u odnosu na njihove ekvivalente na referentnim kartografskim projekcijama, uključujući i one korištene prilikom analitičke obrade zapisa iz portulana, smatraju se *točkama i linijama drugog reda točnosti*. Njihov položaj, kao i svi izmjereni ulazni podaci, na temelju njih izračunane vrijednosti te kasnija interpretacija i zaključci koji su iz toga proizašli, refleksija su odabira i metode lociranja točaka prvog reda točnosti. Pojednostavljeno govoreći, sve vrijednosti izmjerene ili izračunane izvan točaka i linija prvog reda točnosti njihova su (grafička, tj. kartografska) ekstrapolacija.

Zbog lokalnih povećanja mjerila prostornih elemenata specifičnih za kartografiku portulanskih karata točno svođenje tih elemenata na referentne točke prvog reda točnosti nije moguće izvesti. To znači da početnu pogrešku prikupljanja ulaznih podataka nije moguće u potpunosti otkloniti te da takvi ulazni podaci neposredno utječu na iznose izlaznih rezultata i njihovu kasniju interpretaciju. Međutim, pogrešku je moguće standardizirati tako da se lociranje tih točaka obavi prema unaprijed postavljenim kriterijima i njihovom primjenom na svim odabranim portulanskim kartama. Primjerice, lokacije točaka koje predstavljaju odabrane lučke bazene za potrebe ovog istraživanja određene su tako da su postavljene na sredinama linija koje povezuju granice lučkih bazena s obzirom na način na koji su oni ucrtani na portulanskim kartama. Utjecaj lokalnih povećanja mjerila portulanskih karata na određivanje njihove točnosti analitički je obrađen i prikazan u poglavljima 6.1.3. i 6.4.4.

Rezultati dobiveni u ovom istraživanju u izrazitoj su ovisnosti ne samo o primijenjenoj analitičkoj metodologiji, već i o odabiru i lokaciji ulaznih podataka. Postoji objektivna mogućnost da se pri pokušaju repliciranja ovog istraživanja, korištenjem istih karata i analitičkog pristupa, ali odabirom različitih lokacija ili korištenjem drugog broja točaka i linija koje ih povezuju, izmjerene te iz njih potom izračunane vrijednosti donekle razlikuju u svojim iznosima od rezultata dobivenih u ovom radu.

Rezultati dobiveni u ovom istraživanju i njihova interpretacija odnose se isključivo na prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama.

5 KARTOMETRIJSKA ANALIZA ODABRANIH PORTULANSKIH KARATA

S obzirom na geometrijska obilježja portulanskih karata spomenuta u prethodnim poglavljima te s obzirom na rezultate prethodnih istraživanja, razvidno je da „u pozadini“ tih karata postoji visoko sofisticiran i standardiziran pristup prikazivanja prostora. Egzaktan, kvantitativni analitički pristup njihovoj geometriji, poglavito uz primjenu računala i suvremene tehnologije, postavlja se kao nezaobilazan i prijeko potreban aspekt znanstveno-istraživačkog napora proučavanju tih karata. Primjerice, T. Campbell u poglavlju iz 1987. g. kazuje da su metode za kvantitativnu usporedbu obalnih crta na portulanskim kartama uz pomoć kamera, mnogostrukih mjerenja i uporabu računala u razvoju te da ih svakako treba primjenjivati u budućnosti (Campbell, 1987.: 403). Pritom navodi citat R. A. Skeltona u kojem stoji da se korištenjem isključivo deskriptivnog pristupa proučavanju tih karata znanstvenici dovode u opasnost *stvaranja masivnih teorija ... (isključivo) na temelju vizualnih impresija* (Skelton, 1965., prema Campbell, 1987.: 403).

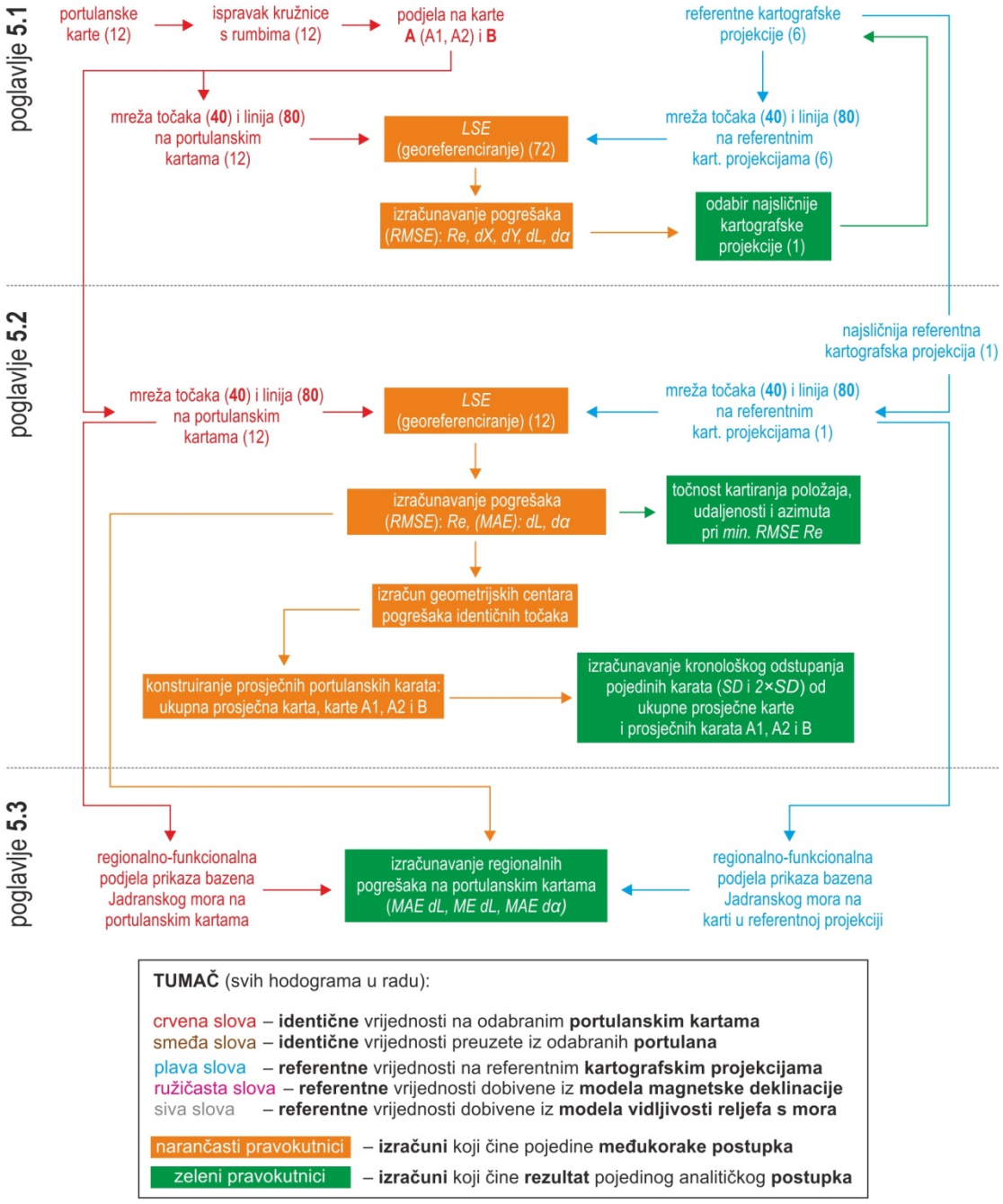
Ciljevi istraživanja ove tematske cjeline spomenuti su u poglavlju vezanom uz obuhvat istraživanja. Također, u poglavlju o metodologiji su prikazani temeljni parametri kartometrijskog pristupa primijenjenog u ovom istraživanju, vezani uz pripremu karata ispravljanjem njihove geometrije, koncept i svrha korištenja referentnih i identičnih mreža točaka i linija te metodologiju korištenu prilikom georeferenciranja odabranih portulanskih karata. Slijed postupaka primijenjenih u ovoj tematskoj cjelini prikazan je uz pomoć hodograma (Slika 5—1.).

Jedna od premisa na kojoj se temelji ovo istraživanje jest da su portulanske karte nastale na temelju projiciranja Zemljine površine u ravninu. Prvi korak koji je stoga potrebno uraditi čini analitičko određivanje kartografske projekcije u odnosu na koju portulanske karte pokazuju najmanje pogreške kartiranja, tj. najveću točnost na temelju parametara navedenih u poglavlju o metodologiji. Takva kartografska projekcija u ovom istraživanju nazvana je *najsličnija kartografska projekcija*. Najsličnija kartografska projekcija potom je odabrana kao referentna vrijednost u odnosu na koju se ispituju sve ostale vrijednosti izmjerene na portulanskim kartama.

U ovoj tematskoj cjelini daljnji postupci kartometrijske obrade portulanskih karata uključuju ispitivanje kronološkog tijeka (povećanja, pada ili stagnacije) točnosti kartiranja te ispitivanje međusobne sličnosti portulanskih karata, naročito između karata različitih mjerila izrađenih od strane istih autora. Međusobna sličnost karata određena je na temelju njihovih odstupanja od geometrije mreže točaka i linija „prosječnih portulanskih karata“, koje su u svrhu ovog istraživanja računski konstruirane na temelju iznosa prosječnih pogrešaka odabranog uzorka karata.

Na temelju pregleda prikupljenih prethodnih kartometrijskih istraživanja ustanovljeno je da najmanje prostorne jedinice analitičke obrade portulanskih karata čine pojedini morski bazeni Sredozemnog mora. Drugim riječima, u tim istraživanjima morski bazeni nisu bili

dodatno segmentirani na pojedine regionalne cjeline. Stoga se u ovom istraživanju nastojala kvantificirati točnost kartiranja obalne crte pojedinih dijelova Jadranskog mora tako da je točnost kartiranja pojedinih dijelova Jadranskog mora uspoređena s točnošću kartiranja Jadranskog mora kao cjeline.



Slika 5—1. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih u pojedinim podpoglavljima o kartometrijskoj analizi odabranih portulanskih karata.

.

5.1 ODREĐIVANJE NAJSLIČNIJE KARTOGRAFSKE PROJEKCIJE

Zaključci proizašli iz dosadašnjih metodološki najsofisticiranijih kartometrijskih istraživanja, Loomerovog iz 1987. i Nicolaijevog iz 2014. g., usklađeni su po pitanju kartografskih projekcija u odnosu na koje portulanske karte pokazuju najveću točnost kartiranja. Riječ je o uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji i uspravnoj konformnoj cilindričnoj (Mercatorovoj) projekciji kao dvjema projekcijama s najvećim korelacijama geometrije u odnosu na geometriju portulanskih karata. Potrebno je naglasiti da je najveća točnost tih karata izračunana tako da su bile tretirane kao kompoziti sastavljeni od karata pojedinih morskih bazena (Loomer, 1987.: 159-165; Nicolai, 2014.: 203-210). Unatoč pretpostavkama određenog broja svojih prethodnika da su one najsličnije kartama u konusnim i azimutnim projekcijama, Loomer je analitički dokazao da je točnost kartiranja manja u usporedbi s tim kartografskim projekcijama, odnosno projekcijama na kojima je prikazana konvergencija meridijana (Loomer, 1987.: 144-146).

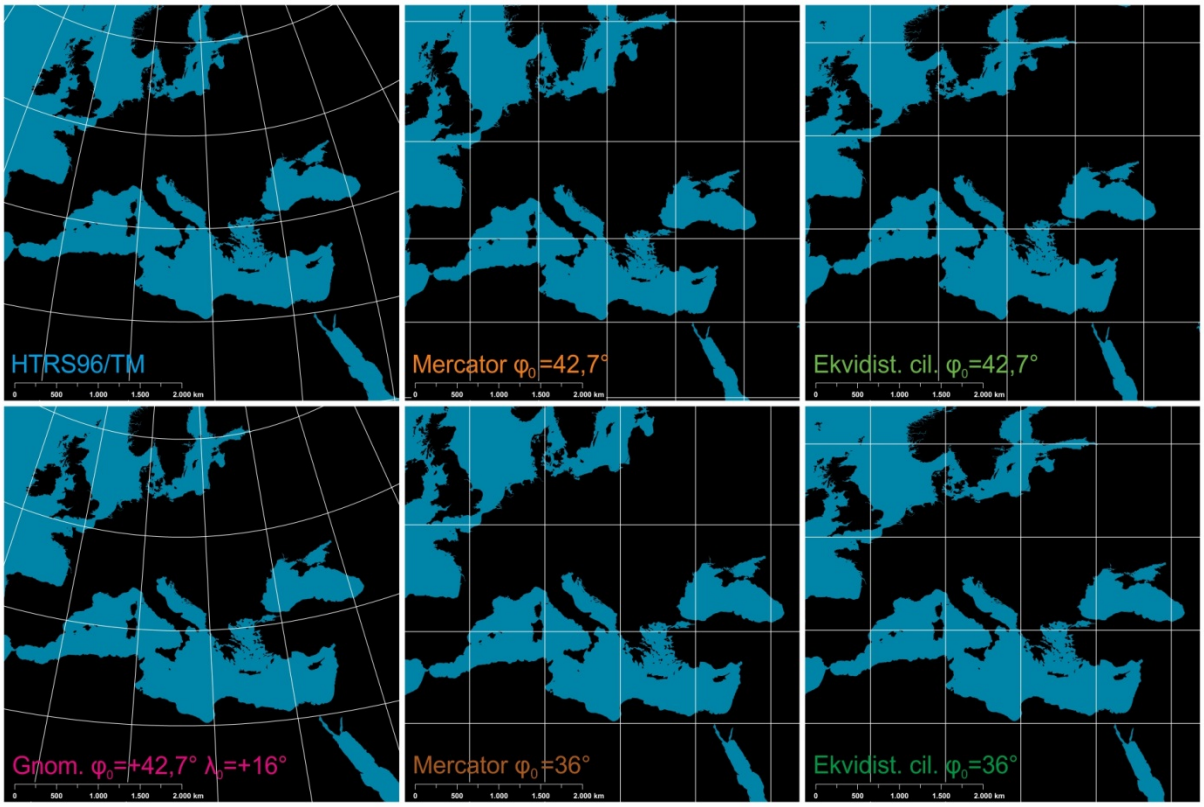
REFERENTNE KARTOGRAFSKE PROJEKCIJE

Temeljem spomenutih istraživanja, ali i drugih istraživanja i hipoteza spomenutih u poglavlju 2.1, pristupilo se odabiru referentnih kartografskih projekcija da bi se, temeljem njih, odredila ona najsličnija geometriji portulanskih karata. U tu svrhu odabrane su sljedeće kartografske projekcije (Slika 5—2.).

HTRS96/TM, odnosno poprečna (transverzalna) Mercatorova (Gauß-Krügerova) projekcija konstruirana na geodetskom datumu ETRS89 (temeljen na referentnom elipsoidu GRS80) sa središnjim meridijanom λ_0=16,5° E. Ova projekcija odabrana je primarno u svrhu izračuna površine vidljivog reljefa u poglavlju 6.3, no budući da prikazuje konvergenciju meridijana, odabrana je i kao jedna od referentnih projekcija u ovom poglavlju (DGU, 2013.: 4-9 – detaljni tehnički parametri kartografske projekcije HTRS96/TM).

KOSA GNOMONSKA PROJEKCIJA konstruirana na referentnom elipsoidu WGS84 sa središtem φ_0=+42,7°, λ_0=+16°, koje se nalazi otprilike u središtu bazena Jadranskog mora. Gnomonska projekcija spada u perspektivne projekcije, a izvorna konstrukcija te projekcije pripisuje se Talesu iz Mileta (6. st. pr. Kr.). Razlog odabira ove projekcije kao referentne je taj što su na toj projekciji sve velike kružnice prikazane kao ravne crte, a pol je prikazan kao točka, tj. prikazana je konvergencija meridijana. Također, na toj projekciji su geodetske linije, tj. lukovi ortodroma (velikih kružnica na Zemljinoj sferi) prikazane kao ravne crte, što ovu projekciju čini donekle jednostavnijom za konceptualno poimanje. Na prikazu Zemlje u gnomonskoj projekciji, vjernost prikaza duljina i oblika izuzetno opada s udaljavanjem od centra projekcije i tom projekcijom nije moguće istodobno prikazati niti jednu Zemljinu hemisferu (Snyder i Voxland, 1989.: 116-119, 226; Snyder, 1993.: 18-20). S obzirom na

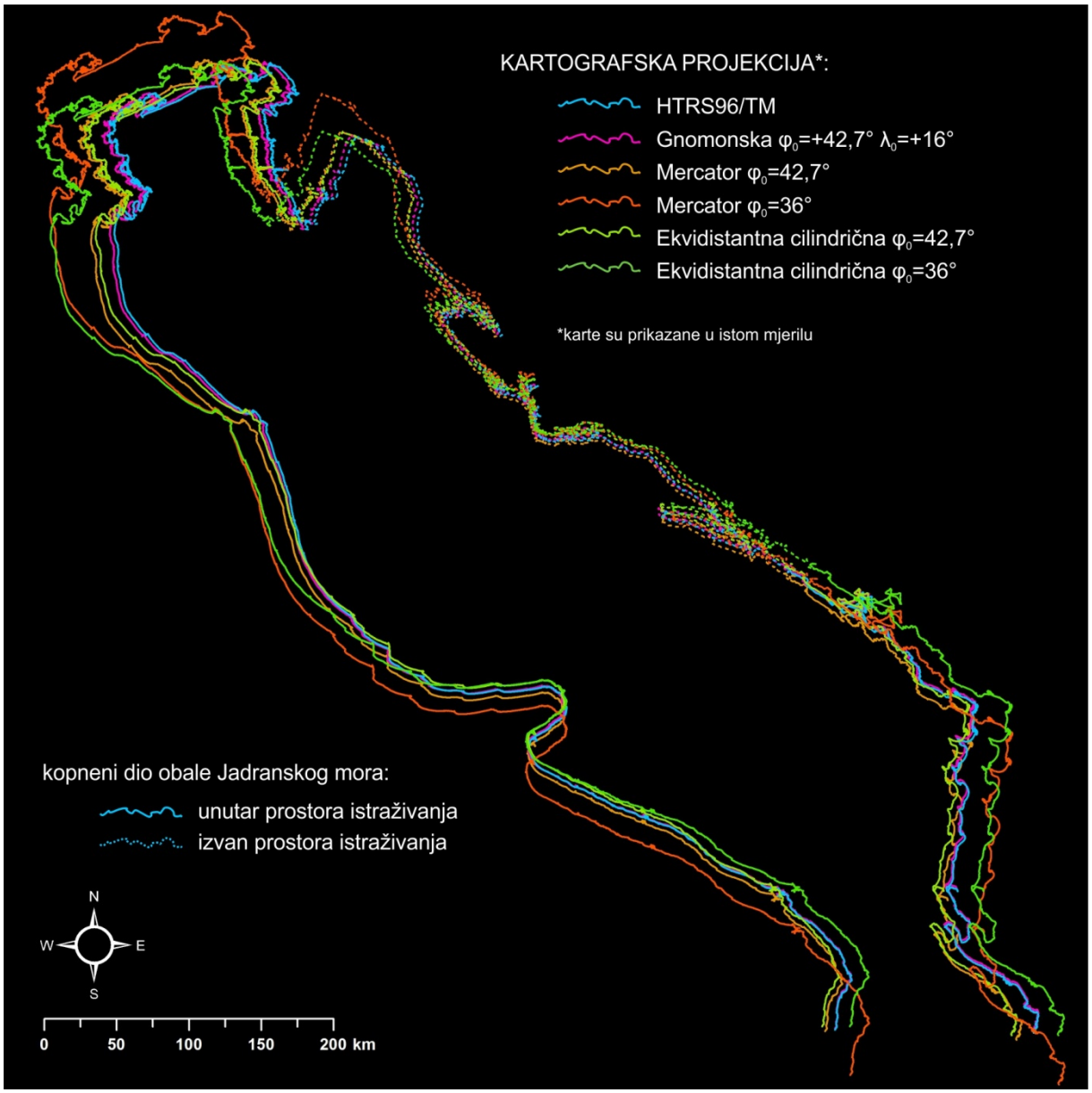
razmjerno male dimenzije prostora istraživanja, prilikom odabira koordinata njegova središta za središte projekcije, rubne deformacije nastale korištenjem ove projekcije nisu pretjerane (Slika 5—3.).



Slika 5—2. Bazen Sredozemlja s okolnim morima prikazan u 6 odabranih kartografskih projekcija i s pripadajućim im stupanjskim mrežama (interval od 10°).

USPRAVNA EKVIDISTANTNA CILINDRIČNA PROJEKCIJA konstruirana na referentnom elipsoidu WGS84 u dvije izvedbe; sa standardnim paralelama φ_0=42,7° i φ_0=36°. Standardne paralele odnose se na geografsku širinu (istog iznosa u stupnjevima, ali na nasuprotnim hemisferama) na kojoj je mjerilo projekcije valjano (engl. *latitude of true scale*). Kada je standardna paralela projekcije ekvator (φ_0=0°), elementi stupanjske mreže obuhvaćeni jednakim stupanjskim intervalima (primjerice interval od 10°) imaju oblik kvadrata. Ako su parametri projekcije zadani pod uvjetom φ_0>0°, s povećanjem geografske širine standardnih paralela stupanjska mreža postaje mreža pravokutnika izduljenih po pravcu N–S. Pojednostavljeno govoreći, što je iznos parametra φ_0 veći, pravokutnici stupanjske mreže izduljeniji su po pravcu N–S. Meridijani i paralele prikazani su kao ravne i međusobno paralelne crte, a mjerilo vrijedi uzduž standardnih paralela i uzduž svih meridijana. Polovi i sve paralele prikazani su kao crte po duljini jednake duljini standardnih paralela, zbog čega udaljavanjem od njih rastu deformacije prikaza po pravcu W–E (Snyder i Voxland, 1989.: 22-25, 219; Snyder, 1993.: 5). Otkriće uspravne ekvidistantne projekcije pripisuje se Marinu iz Tira (1. st.), pri čemu je, sudeći prema Ptolemejevim zapisima, kao standardnu paralelu

koristio onu koja prolazi kroz Gibraltar i Rodos (φ_0=36° N) (Snyder, 1993.: 6; Breggren i Jones, 2000.: 33-34). A. E. Nordenskiöld smatra da su upravo karte Marina iz Tira imale važnu ulogu u sastavljanju „normalne portulanske karte“ (Nordenskiöld, 1897.: 10). Geografska širina φ_0=36° N odabrana je zbog utvrđivanja povezanosti geometrije uspravne ekvidistantne cilindrične projekcije konstruirane na toj geografskoj širini i geometrije portulanskih karata. Geografska širina φ_0=42,7° N odabrana je zbog toga što su s tako zadanim parametrom φ_0 deformacije prikaza Jadranskog mora najmanje.



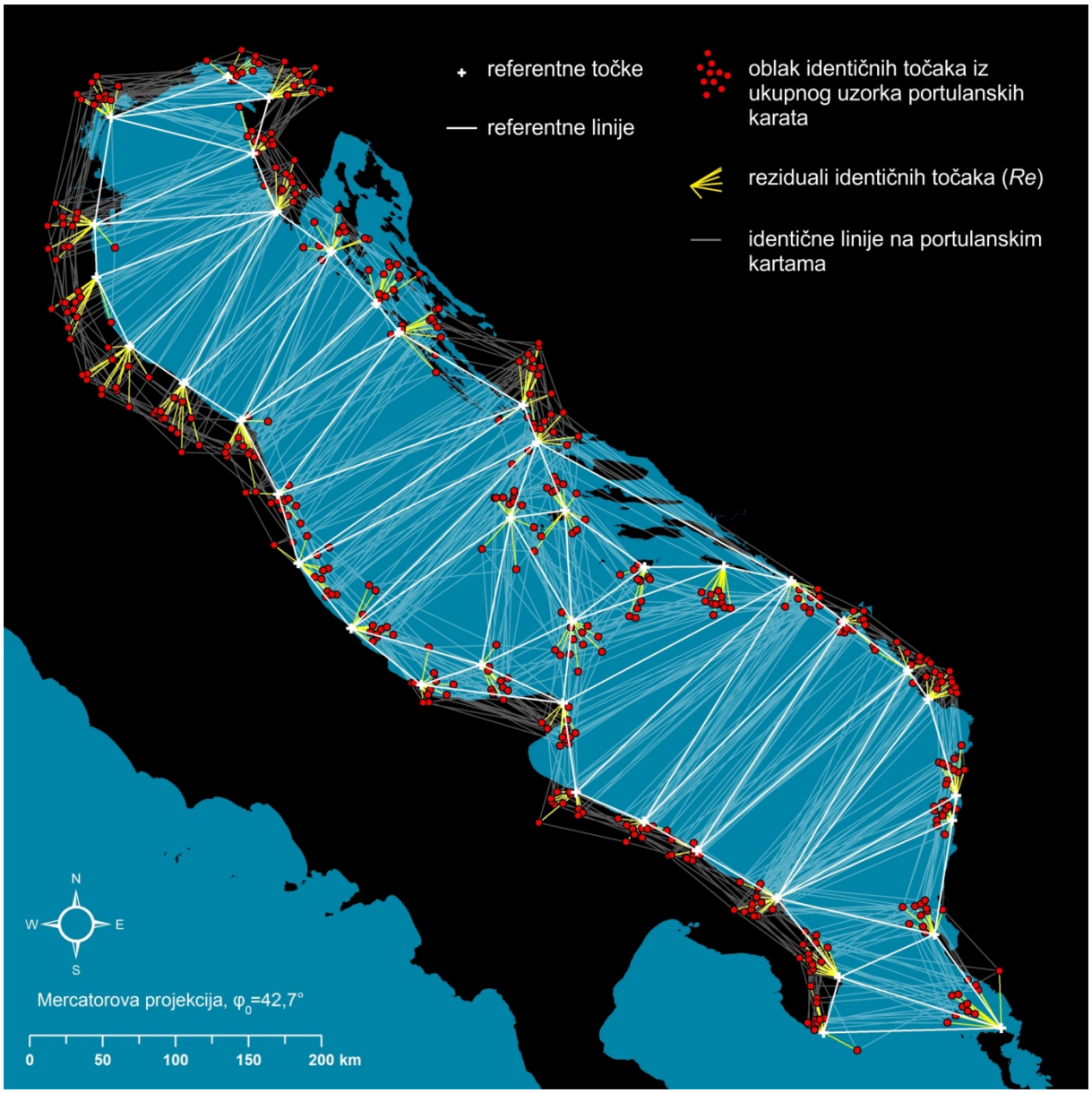
Slika 5—3. Razlike u izgledu obale kopna Jadranskog mora s obzirom na korištenu odabranu referentnu kartografsku projekciju.

USPRAVNA MERCATOROVA PROJEKCIJA konstruirana na referentnom elipsoidu WGS84 u dvije izvedbe; s paralelama φ_0=42,7° i φ_0=36° uzduž kojih vrijedi mjerilo karte. Uspravna Mercatorova projekcija je konformna i loksodrome (krivulje koje na Zemljinoj sferi sijeku sve meridijane pod istim kutom, tj. putanje pri konstantnom azimutu u odnosu na geografski sjever) su prikazane kao ravne crte (loksodroma na Zemlji kao kugli, izuzev kada je riječ o kretanju uzduž meridijana, ima oblik spirale), zbog čega je njezina važnost najveća u pomorstvu za utvrđivanje kursa plovidbe. Meridijani su na uspravnoj Mercatorovoj projekciji prikazani kao paralelne ravne crte i međusobno jednako udaljene za iste stupanjske intervale, tj. i na ovoj projekciji konvergencija meridijana nije prikazana. Paralele su prikazane kao međusobno paralelne ravne crte, no njihova međusobna udaljenost za isti stupanjski interval povećava se od ekvatora prema polovima. Pritom prikaz polova teži u beskonačnost, odnosno korištenjem ove projekcije polove nije moguće prikazati. Na Mercatorovoj projekciji vjernost prikaza duljina izrazito opada udaljavanjem od standardne geografske širine uzduž koje (jedino) vrijedi mjerilo karte. Ako mjerilo vrijedi uzduž ekvatora, φ_0=0°, deformacije prikaza duljina pozitivne su prema polovima, a ako vrijedi uzduž neke druge geografske širine, primjerice φ_0=36°, deformacije prikaza duljina pozitivne su u smjeru polova, a negativne u smjeru ekvatora (Snyder i Voxland, 1989.: 10, 218). Otkriće i kasnije matematičko definiranje Mercatorove projekcije, spomenuto u poglavlju 1.3, odvilo se stoljećima nakon pojave portulanskih karata. U svrhu ovog istraživanja korištene su paralele na kojima vrijedi mjerilo karte iste kao i za uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju, odnosno φ_0=42,7° i φ_0=36°. Temeljna razlika između tih dviju projekcija po pitanju parametra φ_0 je ta što se na Mercatorovoj projekciji promjenom tog parametra forma stupanjske mreže i prikaza prostora ne mijenja. U svojim kartometrijskim analizama S. A. Loomer i R. Nicolai koristili su različite parametre za definiranje ovih projekcija (φ_0=40° Loomer i φ_0=39°57′ Nicolai) (Loomer, 1987.; Nicolai, 2014.), zbog čega njihovi rezultati nisu izravno usporedivi s rezultatima ovog istraživanja, već je u tu svrhu potrebno izvršiti preračunavanja.

Odabrane kartografske projekcije su, u skladu s odnosom konstrukcijskih parametara i pripadajućih im deformacija prikaza prostora istraživanja, podijeljene i na „lokalne“ i „regionalne“ projekcije. „Lokalne“ su one koje su prema stupnju deformacija prilagođene samostalnom prikazu bazena Jadranskog mora, tj. HTRS96/TM, kosa gnomonska φ_0=+42,7°, λ_0=+16° te uspravna ekvidistantna cilindrična i Mercatorova s φ_0=42,7°. „Regionalnim“ projekcijama smatraju se one koje su po stupnju deformacija prilagođene prikazu čitavog bazena Sredozemlja, tj. uspravna ekvidistantna cilindrična i Mercatorova projekcija s φ_0=36°. Pritom je prikaz bazena Jadranskog mora na njima više deformiran nego pri korištenju „lokalnih“ projekcija.

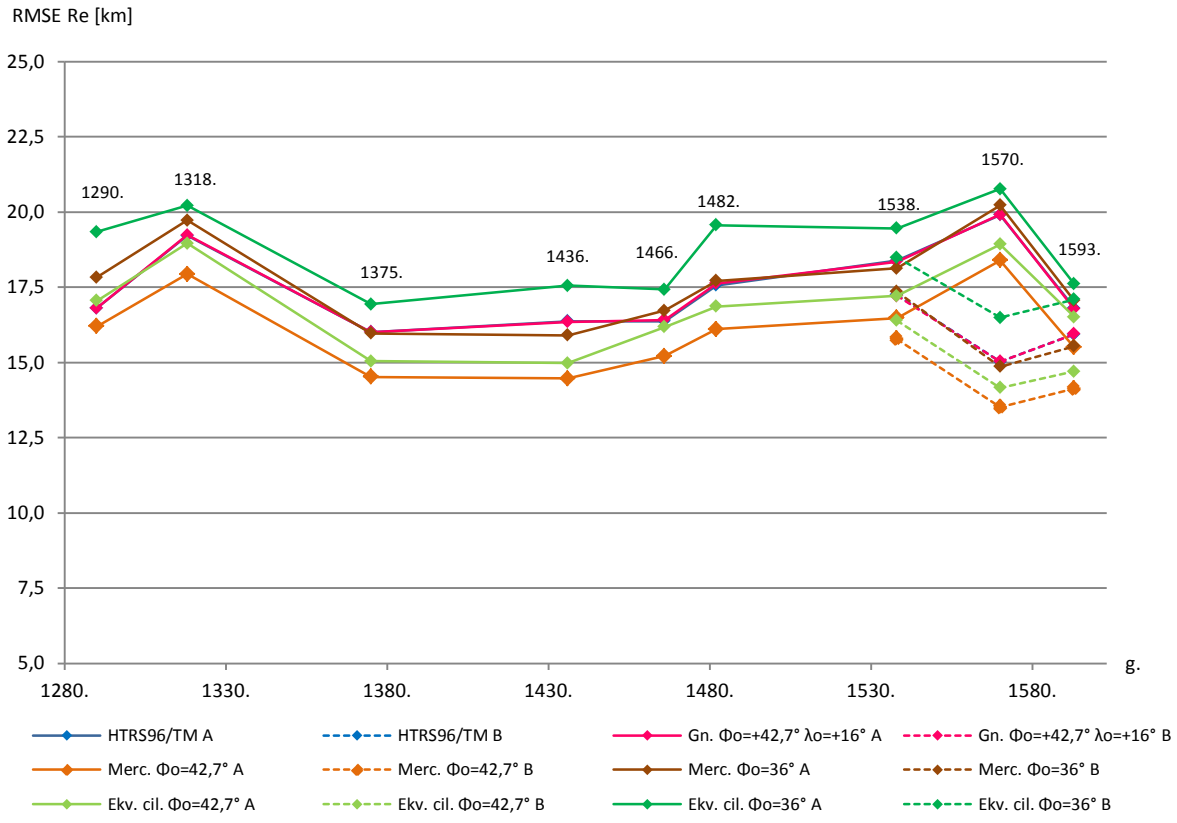
5.1.1 TOČNOST KARTIRANJA POLOŽAJA

Georeferenciranjem portulanskih karata na karte u referentnim projekcijama metodom opisanom u poglavlju 4, identične točke i linije na svakoj od portulanskih karata pokazuju određena odstupanja, tj. pogreške po pitanju točnosti kartiranja položaja, udaljenosti i azimuta. Kumulativni prikaz mreža točaka (40) i linija (80) svih portulanskih karata na jednoj od referentnih kartografskih projekcija prikazan je na karti (Slika 5—4.). Bojom su naglašeni *reziduali identičnih točaka* (*Re*) koji se odnose na maksimalnu točnost kartiranja položaja, tj. *min*. *RMSE Re* u odnosu na referentnu projekciju. Na temelju tih pogrešaka položaja izračunane su preostale pogreške kartiranja, tj. pogreške kartiranja udaljenosti i azimuta.



Slika 5—4. Prostorna raspodjela identičnih točaka (40) i linija (80) na svim odabranim portulanskim kartama s rezidualima kartiranja položaja u odnosu na pripadajuće im referentne točke.

Točnost kartiranja položaja, *(min.) RMSE Re*, izračunana je za svaku od 12 odabranih portulanskih karta u odnosu na svaku od 6 odabranih kartografskih projekcija (Slika 5—5.). Iz tih rezultata vidljivo je da je točnost svih portulanskih karata najveća u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Točnost svih portulanskih karata najmanja je u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36°, a točnost odnosu na Mercatorovu φ_0=36°, „regionalnu projekciju", slična je točnosti u odnosu na HTRS96/TM i kosu gnomonsku projekciju koje su „lokalne projekcije" (Slika 5—3.). Također, točnost kartiranja položaja po ovom kriteriju međusobno je (u odnosu na istu projekciju) slična za većinu karata iz uzorka, ne samo iz kronološkog aspekta, već i po pitanju njihovog mjerila. Naime, karte BAb 1538. i VDVb 1593. iz skupine B imaju neznatno veću točnost kartiranja od karata istih autora iz skupine A2, premda su krupnijeg mjerila. Razlika u točnosti primjetna je jedino između karata DHa 1570. i DHb 1570.



Slika 5—5. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja položaja na portulanskim kartama u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije.

Iznos rotacije portulanskih karata (θ), koji je produkt postupka georeferenciranja, je za istu portulansku kartu različit u ovisnosti o referentnoj projekciji na koju je georeferencirana. Razlog tomu je, osim razlika u geometriji referentnih projekcija, i korištenje 4-parametarske konformne transformacije pri georeferenciranju. Drugim riječima, ukupna rotacija karte je jednim dijelom uvjetovana i prostornom distribucijom iznosa reziduala po polju karte kada je postignuta *min*. *RMSE Re* u odnosu na referentnu kartografsku projekciju, budući da se obje

osi karte rotiraju za isti iznos. Kada bi bila korištena afina 6-parametarska transformacija, nastalo bi *smicanje* (engl. *shearing* ili *skewing*) ($\theta_X - \theta_Y$) (Nicolai, 2014.: 233). Iz ukupnog postupka georeferenciranja (Tablica 5—1.) vidljivo je da su iznosi rotacije svih karata u odnosu na Mercatorovu i kosu gnomonsku projekciju razmjerno slični. Najveći su u odnosu na HTRS96/TM (prvenstveno zbog razlike od $d\lambda_0$=0,5° u odnosu na gnomonsku projekciju), dok se smanjenjem iznosa parametra φ_0 referentne ekvidistantne cilindrične projekcije iznos rotacije smanjuje. S druge strane, iznos rotacije isti je u odnosu na Mercatorovu projekciju u njezine obje izvedbe (neovisno o parametru φ_0), a razlog tomu je razlika u matematičkim postavkama tih dviju projekcija. Naime, na karti u uspravnoj Mercatorovoj projekciji forma prikaza ne mijenja se s promjenom parametra φ_0, a zbog korištene 4-parametarske transformacije ne mijenja se ni izvorna forma portulanskih karata. Razlike naspram tih dviju izvedbi uspravne Mercatorove projekcije stoga postoje po pitanju iznosa reziduala i kartiranja udaljenosti [km], no ne i po pitanju forme [°]. S druge strane, na kartama u uspravnim ekvidistantnim cilindričnim projekcijama, prilikom promjene parametra φ_0 dolazi do promjene forme prikaza. Zbog toga su portulanske karte (kojima se forma nije promijenila), u svrhu postizanja *min*. *RMSE Re*, zarotirane za različit iznos u ovisnosti o parametru φ_0 referentne uspravne ekvidistantne cilindrične projekcije.

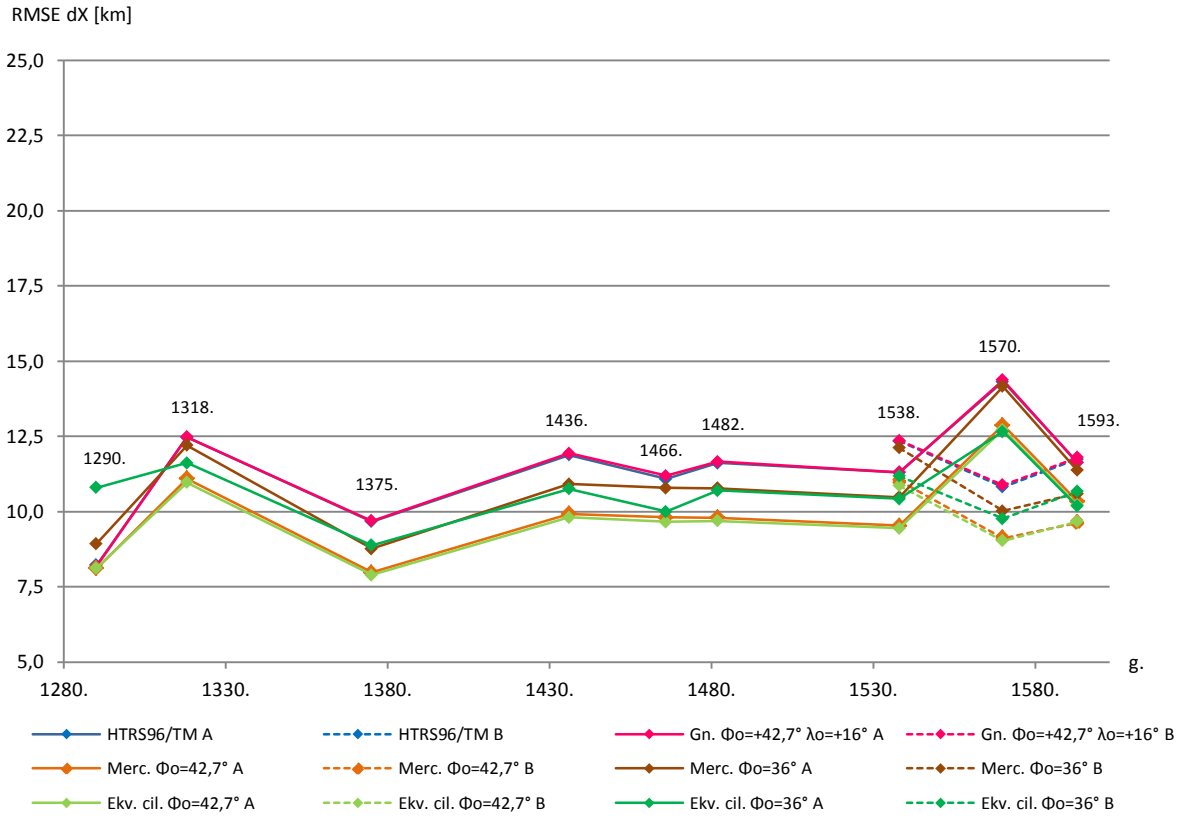
Tablica 5—1. Iznosi rotacije portulanskih karata (θ) [°] kao posljedica georeferenciranja uz primjenu 4–parametarske planarne konformne transformacije na kartu u odabranim referentnim projekcijama.

REFERENTNA KARTOGRAFSKA PROJEKCIJA	PK 1290.	PV 1318.	KA 1375.	AB 1436.	GB 1466.	AN 1482.	AVG A1	BAa 1538.	DHa 1570.	VDVa 1593.	AVG A2	BAb 1538.	DHb 1570.	VDVb 1593.	AVG B	AVG
HTRS96/TM	0,69	7,43	7,94	5,99	8,13	8,32	**6,42**	6,81	7,66	7,61	**7,36**	7,29	7,20	6,65	**7,05**	**6,81**
gnom. ϕ_0=+42,7°, λ_0=+16°	0,38	7,14	7,69	5,74	7,91	8,01	**6,15**	6,56	7,41	7,32	**7,10**	7,03	6,96	6,39	**6,79**	**6,54**
Mercator ϕ_0=42,7°	0,29	7,01	7,58	5,64	7,75	7,91	**6,03**	6,48	7,23	7,21	**6,97**	6,92	6,83	6,25	**6,66**	**6,42**
Mercator ϕ_0=36°	0,29	7,01	7,58	5,64	7,75	7,91	**6,03**	6,48	7,23	7,21	**6,97**	6,92	6,83	6,25	**6,66**	**6,42**
ekv. cil. ϕ_0=42,7°	0,07	6,74	7,35	5,40	7,54	7,69	**5,80**	6,23	7,04	7,00	**6,76**	6,70	6,58	6,04	**6,44**	**6,20**
ekv. cil. ϕ_0=36°	1,97	4,81	5,39	3,43	5,54	5,74	**4,48**	4,28	5,10	5,03	**4,80**	4,76	4,62	4,09	**4,49**	**4,56**

Ukupnu točnost kartiranja položaja moguće je razložiti na dvije komponente: točnost kartiranja po X-osi (*RMSE dX*) i točnost kartiranja po Y-osi (*RMSE dY*). Razlaganjem točnosti kartiranja položaja na te dvije komponente moguće je ustanoviti bi li stupanjska mreža na portulanskim kartama, kada bi postojala, prikazivala konvergenciju meridijana ili ne. Drugim riječima, točnost kartiranja po X-osi za čitavu portulansku kartu veća je u odnosu na kartografsku projekciju sa sličnijim prikazom meridijana. Na temelju zaključaka prethodnih kartometrijskih istraživanja o nepostojanju konvergencije meridijana na tim kartama, očekuje se da bi točnost po X-osi trebala bi biti veća u odnosu na kartografske projekcije na kojima konvergencija meridijana nije prikazana.

TOČNOST KARTIRANJA POLOŽAJA PO X-OSI

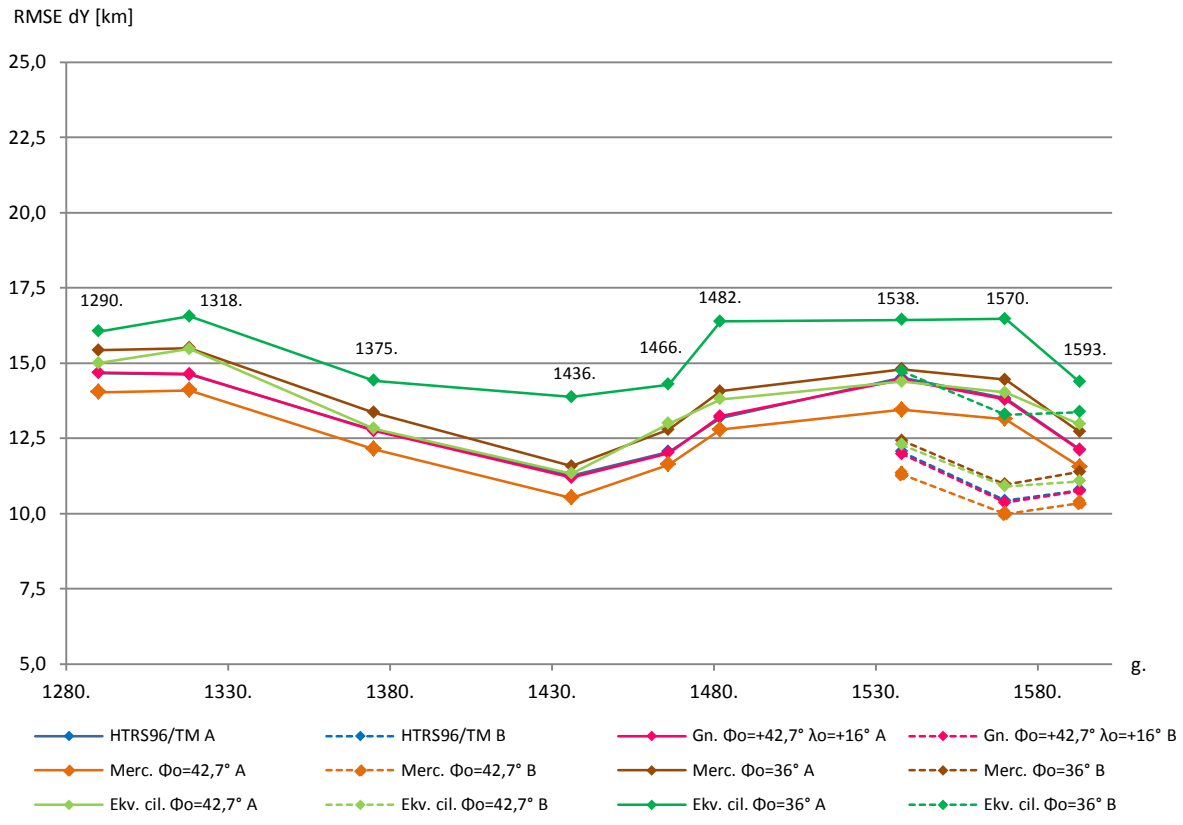
Točnost kartiranja položaja po X-osi na svim odabranim portulanskim kartama, izuzev karte PK 1290., najmanja je u odnosu na referentne projekcije HTRS96/TM i kosu gnomonsku projekciju (Slika 5—6.). Ti rezultati potvrđuju rezultate prethodnih istraživanja o tome da je geometrija portulanskih karata (kada ih se tretira kao kompozite) najsličnija geometriji projekcija na kojima konvergencija meridijana nije prikazana. Naime, točnost kartiranja položaja po X-osi veća je u odnosu na „regionalne" cilindrične projekcije (uspravnu ekvidistantnu cilindričnu i Mercatorovu, zadane s φ_0=36°) na kojima konvergencija meridijana nije prikazana i na kojima je prikaz duljina za područje Jadranskog mora izrazitije deformiran nego u odnosu na „lokalne projekcije" s prikazom konvergencije meridijana i s vjernijim prikazom udaljenosti za prostor Jadranskog mora. Točnost kartiranja položaja po X-osi je, kao i u slučaju ukupne točnosti kartiranja položaja na tim kartama, najveća u odnosu na Mercatorovu i ekvidistantnu cilindričnu projekciju s parametrom φ_0=42,7°. Prosječne vrijednosti *RMSE dX* razmjerno su niske, zbog čega je moguće pretpostaviti da je točnost kartiranja po Y-osi na portulanskim kartama manja od točnosti kartiranja po X-osi.



Slika 5—6. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja položaja na portulanskim kartama po X-osi u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije.

TOČNOST KARTIRANJA POLOŽAJA PO Y-OSI

Točnost kartiranja položaja po Y-osi je za sve odabrane portulanske karte redovito manja od točnosti kartiranja položaja po X-osi. Prosječne vrijednosti *RMSE dY* iznose 12,2 km u odnosu na uspravnu Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°, za koju su vrijednosti pogrešaka najniže (Slika 5—7.) (*RMSE dX* za istu projekciju iznosi 10,0 km), a najmanja točnost po kriteriju *RMSE dY* izračunana je u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36°. Točnost kartiranja po Y-osi od 12,2 km u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° veća je nego u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=42,7°, s iznosom od 13,2 km. S obzirom na geometrijsku sličnost prikaza Jadranskog mora na te dvije projekcije i sličnost *RMSE dX* (Slika 5—6.) u odnosu na njih, mogući razlog veće točnosti u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° može biti taj da bi stupanjska mreža, kada bi postojala na portulanskim kartama, bila konstruirana na način da se razmak među paralelama (kao i u slučaju Mercatorove projekcije) povećava od ekvatora prema polovima. Potvrda toga može biti i niža točnost u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36°, s *RMSE dY* od 15,1 km, naspram one u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36° gdje *RMSE dY* iznosi 13,4 km. Kod tih dviju projekcija standardna paralela nalazi se južnije od prikazanoga prostora, pa je povećanje razmaka među paralelama prema sjeveru na tako zadanoj Mercatorovoj projekciji još izrazitije.



Slika 5—7. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja položaja na portulanskim kartama po Y-osi u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije.

Uzroci veće točnosti kartiranja po Y-osi za projekcije HTRS96/TM i kosu gnomonsku projekciju naspram točnosti u odnosu na uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=42,7° ne mogu biti sa sigurnošću utvrđeni temeljem ove analize, budući da su na njoj paralele prikazane kao paralelne ravne crte, a na prethodno spomenutim dvjema projekcijama kao lukovi. Može se pretpostaviti da na portulanskim kartama paralele (kada bi postojale) ne bi bile prikazane kao jednako razmaknute za isti stupanjski interval, no ovi rezultati mogu biti i nusprodukt izbora i broja referentno-identičnih parova točaka. Jasnije zaključke moguće je donijeti tek po izvršenju analize točnosti na regionalnoj razini.

USPOREDBA RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA POLOŽAJA PO OSIMA

Prikazani rezultati važni su i zbog toga što je točnost kartiranja položaja na portulanskim kartama veća po X-osi nego po Y-osi. Naime, pogreške po X-osi u praksi odnose se na projicirane pogreške određivanja i kartiranja geografske dužine, dok se one po Y-osi odnose na projicirane pogreške određivanja i kartiranja geografske širine, što je znakovito i metodološki i u kontekstu konvencionalne povijesti razvoja kartografije.

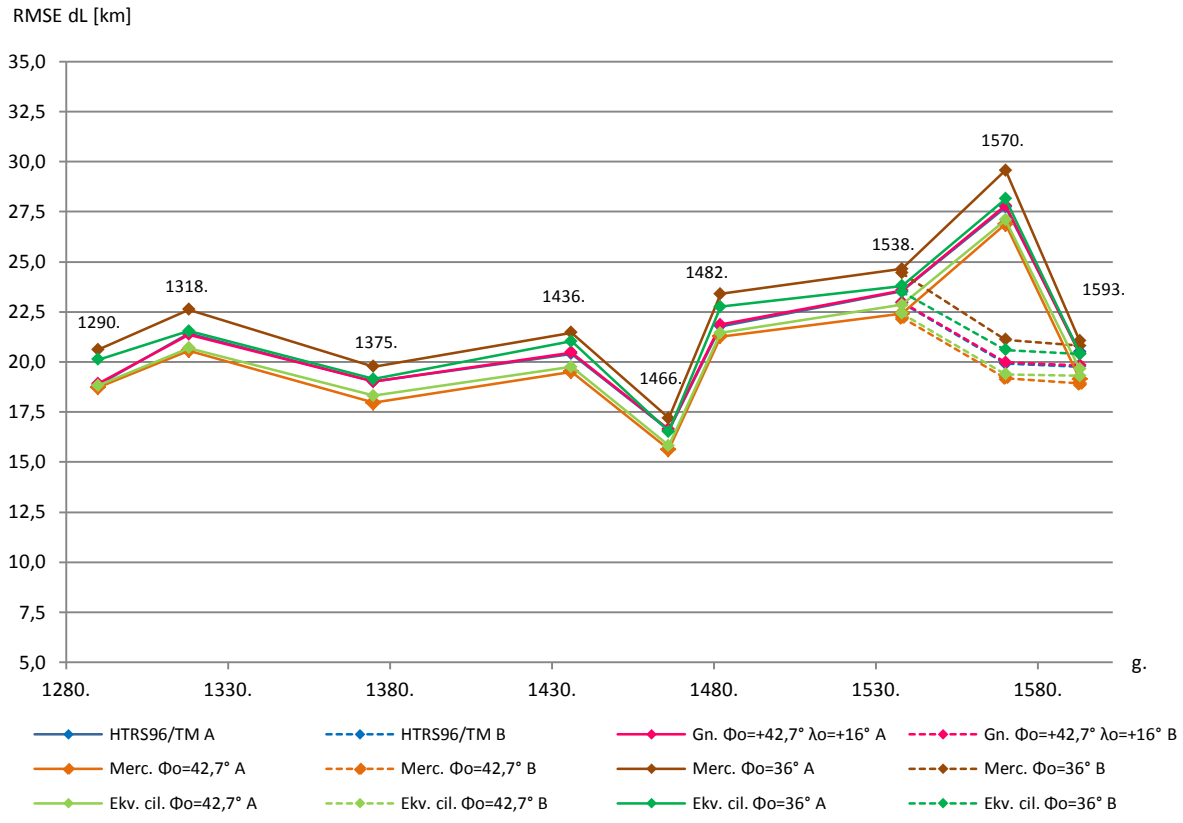
Geografsku širinu relativno je jednostavno odrediti mjerenjem visine određenih nebeskih tijela, primjerice Sunca ili zvijezde polarnice (Sjevernjače) na sjevernoj hemisferi, što je bilo poznato još u starom vijeku. Geografsku dužinu, pak, nije moguće odrediti bez preciznog instrumentarija. Prvi uređaj s pomoću kojeg je bilo moguće razmjerno jednostavno odrediti geografsku dužinu je kronometar izumljen u 18. st. (Taylor, 1948.: 191, 196). Logična premisa bila bi, stoga, da su pogreške kartiranja položaja na starim kartama manje po pitanju geografske širine naspram pogrešaka geografske dužine, što na prikazanom izračunu točnosti kartiranja položaja odabranih portulanskih karata nije slučaj.

Ovi rezultati dobivaju na važnosti još više kada se usporedbe s prikazom Sredozemlja na ptolemejskim kartama, spomenutim u poglavlju 1.2, na kojima se već na temelju opažanja može uočiti da je pogreška geografske dužine izrazito veća od pogreške geografske širine. Također, longitudinalna os pružanja Jadranskog mora na tim kartama bliža je pravcu W–E nego (stvarnom) pravcu NW–SE. Nadalje, R. Nicolai je na primjeru karte Francuske iz 1747. g. prikazao da je geometrijski točan prikaz prostora na karti iznimno zahtjevan postupak. Na toj karti, koja je izravan produkt triangulacijske geodetske izmjere, pogreška kartiranja (veća pogreška kartiranja položaja uzduž jedne od osi) iznosi 25-30 km – iznos koji je veći i od pogrešaka portulanskih karata (Nicolai, 2014.: 265-268). Kada se kronološki slijed pojave tih tipova karata usporedi s njihovom točnosti, vidljivo je da na portulanskim kartama iz kasnoga srednjeg vijeka postoji iznimna točnost prikaza, koja potom, (ponovnim) otkrićem ptolomejskih karata naglo opada, i koja se tek tijekom posljednja dva i pol stoljeća, primjenom geodetskih izmjera i izračuna, ponovno dovodi na razinu one kakva je na portulanskim kartama postojala više od pola tisućljeća ranije.

5.1.2 TOČNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI

Na temelju izračuna razlika između referentnih i pripadajućih im identičnih duljina, vidljivo je da je točnost u najvećem broju portulanskih karata najveća u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° s prosječnim iznosom *RMSE dL* od 20,4 km. U odnosu na ostale lokalne projekcije, prosječna točnost kartiranja iznosi od 20,6 km do 21,2 km. Točnost prikaza u donosu na dvije „regionalne“ referentne projekcije je manja i iznosi 21,6 km tj. 22,4 km (Slika 5—8.). Razlike između „lokalnih“ i „regionalnih“ projekcija u točnosti kartiranja su očekivane, budući da je na „regionalnim“ projekcijama mjerilo valjano uzduž paralele φ=36° (N).

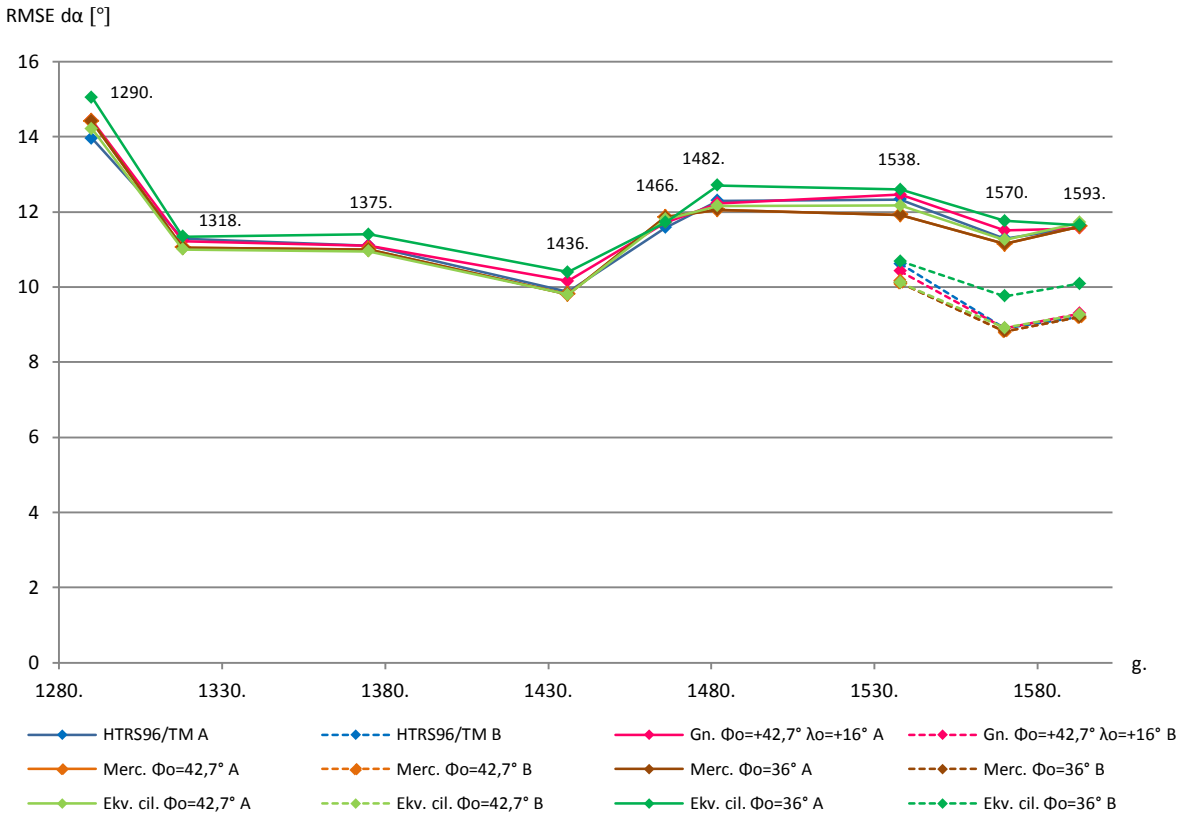
U rezultatima ove analize najviše se ističe veća točnost geometrije portulanskih karata u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° naspram projekcija na kojima je prikazana konvergencija meridijana, budući da su na tim projekcijama deformacije prikaza duljina, poglavito po pravcu W–E, manje. Takve rezultate je, na ovoj razini obrade podataka, moguće objasniti jedino tako da postoji mogućnost da je deformacija prikaza duljina na portulanskim kartama distribuirana po polju karte na sličan način kao i na prikazu na karti u uspravnoj Mercatorovoj projekciji. Ipak, u svrhu stvaranja čvršćih zaključaka temeljenih na ovoj hipotezi, potrebno je izvršiti detaljan uvid u prostorni raspored deformacija duljina temeljem regionalne podjele prostora istraživanja.



Slika 5—8. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije.

5.1.3 TOČNOST KARTIRANJA AZIMUTA

Rezultati analitičke obrade točnosti kartiranja azimuta na portulanskim kartama pokazuju najveću točnost u odnosu na uspravnu Mercatorovu projekciju općenito i uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=42,7° – prosječna vrijednost *RMSE dα* iznosi 11,2° (Slika 5—9.). Budući da je prikaz Jadranskog mora na tim dvama projekcijama pri φ_o=42,7° izrazito sličan (Slika 5—3.), gotovo identični rezultati za te dvije projekcije su očekivani. Točnost kartiranja azimuta u odnosu na Mercatorovu projekciju je pritom (zbog očuvanja forme te projekcije neovisno o parametru φ_0) ista za njezine obje upotrijebljene izvedbe (φ_0=42,7° i φ_0=36°). Na temelju manje prosječne točnosti kartiranja azimuta u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36° od 11,7°, moguće je zaključiti da je manje vjerojatno da je takva metoda projiciranja upotrijebljena za njihovu izradu, ne samo s parametrom φ_0=36°, već uspravna ekvidistantna cilindrična projekcija općenito. Naime, točnost kartiranja azimuta u odnosu na tu projekciju opadala bi smanjivanjem parametra φ_0, tj. bila bi najmanja u slučaju φ_0=0°. Također, ponešto manja točnost kartiranja azimuta u odnosu na karte u projekcijama na kojima je prikazana konvergencija meridijana, uz prethodno prikazane razlike u kartiranju udaljenosti između tih karata, ide u prilog hipotezi o sličnosti geometrije portulanskih karata s geometrijom uspravne Mercatorove projekcije.



Slika 5—9. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja azimuta na portulanskim kartama u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije.

5.1.4 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata prethodnih izračuna potvrđeni su rezultati S. A. Loomera i R. Nicolaija. S. A. Loomer je u svojem istraživanju dokazao da je geometrija portulanskih karata najsličnija geometriji Mercatorove projekcije, pri čemu su pogreške u odnosu na uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju tek neznatno veće (Loomer, 1987, 144, 146, 150). Međutim, Loomer je obje referentne projekcije zadao s parametrom φ_0=40° i rezultate točnosti izrazio u centimetrima na karti. Premda rezultati nisu izravno usporedivi, Loomerov poredak referentnih projekcija po pitanju sličnosti geometrije s portulanskim kartama isti je kao i poredak dobiven u ovom istraživanju. R. Nicolai je ispitivao različitosti tih dviju projekcija naspram geometrije portulanskih karata, zadavši ih s parametrom φ_0=39°57′ (u tom slučaju su međusobno najsličnije za prikaz zapadnog Sredozemlja) s tim da je pri georeferenciranju koristio afinu 6-parametarsku transformaciju. Temeljem svojih izračuna zaključio je da nije moguće strogo definirati koja od tih dviju projekcija ima veću sličnost s geometrijom portulanskih karata (Nicolai, 2014.: 248-254, 403).

Prema rezultatima ovog dijela istraživanja vidljivo je da je točnost kartiranja na portulanskim kartama najveća u odnosu na uspravnu Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°, a uvjetno i u odnosu na uspravnu Mercatorovu projekciju općenito. Sličnost geometrije u odnosu na uspravnu cilindričnu projekciju φ_0=42,7° bliska je sličnosti u odnosu na Mercatorovu projekciju zadanu s istim parametrom valjanosti mjerila po kriterijima *RMSE dX*, *RMSE dL* i *RMSE dα*, no ne i prema kriteriju *RMSE dY*. Vidljivo je da, kada se te projekcije zadaju s parametrom φ_0=36°, između njih nastaju izrazitije razlike u točnosti kartiranja na štetu sličnosti u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36°. Manja sličnost s geometrijom ekvidistantne cilindrične projekcije φ_0=36° naspram Mercatorove projekcije φ_0=36° vidljiva je po kriterijima *RMSE Re* (sastavnica *RMSE dY*) i *RMSE dα*. Upravo je točnost kartiranja azimuta (*RMSE dα*) u razlikovanju tih dviju projekcija čimbenik koji čini veću prevagu u korist Mercatorove projekcije, više nego kriterij *RMSE dL* (ekvidistantnu cilindrična projekcija zadržava vjernost prikaza duljina uzduž meridijana dok Mercatorova ne), a koji su velikim dijelom uvjetovani mjerilom karte. U svrhu lakšeg razumijevanja problematike, prikazan je primjer usporedbe sličnosti forme jednostavnih geometrijskih likova za koje je moguće zamisliti da predstavljaju pojednostavljene prikaze karata u različitim projekcijama. Kvadrat sa stranicama duljine 100 mm × 100 mm („karta A u nepoznatoj projekciji“) je po svojoj formi mnogo sličniji (tj. identičan je) kvadratu sa stranicama duljine 500 mm × 500 mm („karti B u poznatoj projekciji“) nego pravokutniku sa stranicama duljine 95 mm × 105 mm („karti C u poznatoj projekciji“). Drugim riječima, kada bi se pokušala utvrditi „nepoznata projekcija karte A“, proizašlo bi da ona geometrijski ne odgovara „poznatoj projekciji karte C“ izrađenoj u približno istom mjerilu, već „poznatoj projekciji karte B“, izrađenoj u 5 puta krupnijem mjerilu. Terminološku nejasnoću po pitanju forme (kutova) može stvarati to što se i kvadrat i pravokutnik (iako izgledom različiti) sastoje od stranica međusobno postavljenih

pod pravim kutom (90°). Međutim, kada se u njih ucrtaju dijagonale, kutovi između dijagonala međusobno su različiti. Upravo u tu svrhu konstruirane su mreže linija, na temelju kojih se, mjerenjem odstupanja kutova na portulanskim kartama u odnosu na kutove referentne projekcije, točnije može odrediti iznos sličnosti forme, tj. oblika.

Rezultati analize pokazali su da prikaz stupanjske mreže meridijana na portulanskim kartama, kada bi postojao, ne bi prikazivao konvergenciju meridijana. To je vidljivo u pogreškama kartiranja po kriteriju *RMSE dX*, gdje su vrijednosti vidljivo veće u odnosu na projekcije HTRS96/TM i kosu gnomonsku projekciju φ_0=+42,7°, λ_0=+16°, koje su „lokalnog" tipa po pitanju mjerila, nego u odnosu na uspravnu Mercatorovu i uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36° koje prema mjerilu prikaza spadaju u „regionalni" tip. Također, zbog veće točnosti *RMSE dY* u odnosu na Mercatorovu projekciju nego odnosu na uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju (neovisno o tome jesu li zadane s φ_0=42,7° ili s φ_0=36°) proizlazi da postoji mogućnost da bi se razmak među paralelama za isti stupanjski interval (kada bi stupanjska mreža postojala na portulanskim kartama) povećavao od ekvatora prema polovima, kao što je to slučaj na kartama u Mercatorovoj projekciji (na kartama u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji razmak među paralelama za isti stupanjski interval jednak je po čitavom polju karte). Rezultati demantiraju i Gasparovu hipotezu o konstrukciji portulanskih karata pri zanemarivanju zakrivljenosti Zemlje, tj. o nepostojanju kartografske projekcije kao matematičke osnove tih karata (Gaspar, 2007.: 77-78; Gaspar, 2008.: 202; Gaspar, 2010.: 183-198). Kada bi se, teoretski, zakrivljenost Zemlje ignorirala prilikom kartiranja, na karti koja je produkt takvog postupka bi, zbog nastojanja da se udaljenosti po čitavom polju karte ucrtaju što vjernije, konvergencija meridijana svakako bila prikazana.

ZAKLJUČCI

1) *Kada bi na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama bila ucrtana stupanjska mreža, meridijani bi bili prikazani kao ravne, međusobno paralelne crte, tj. konvergencija meridijana ne bi bila prikazana, a razmak među paralelama povećavao bi se u smjeru od ekvatora prema polovima.*

2) *Geometrija prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama pokazuje razmjerno visoke pogreške kartiranja u odnosu na „projekciju Marina iz Tira", tj. uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36°.*

3) *Geometrija prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama najsličnija je geometriji karata u uspravnoj Mercatorovoj projekciji, zbog čega je karta u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° odabrana kao referentna ploha za daljnje analitičke postupke.*

5.2 TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA S OBZIROM NA VRIJEME IZRADE I MJERILO

U poglavlju o određivanju najsličnije kartografske projekcije u odnosu na geometriju portulanskih karata prikazana je točnost kartiranja položaja, udaljenosti i azimuta. Na temelju tih rezultata, uspravna Mercatorova projekcija φ_0=42,7° odabrana je kao referentna projekcija za daljnje analitičke postupke, budući da je u odnosu na tu projekciju točnost portulanskih karata najveća.

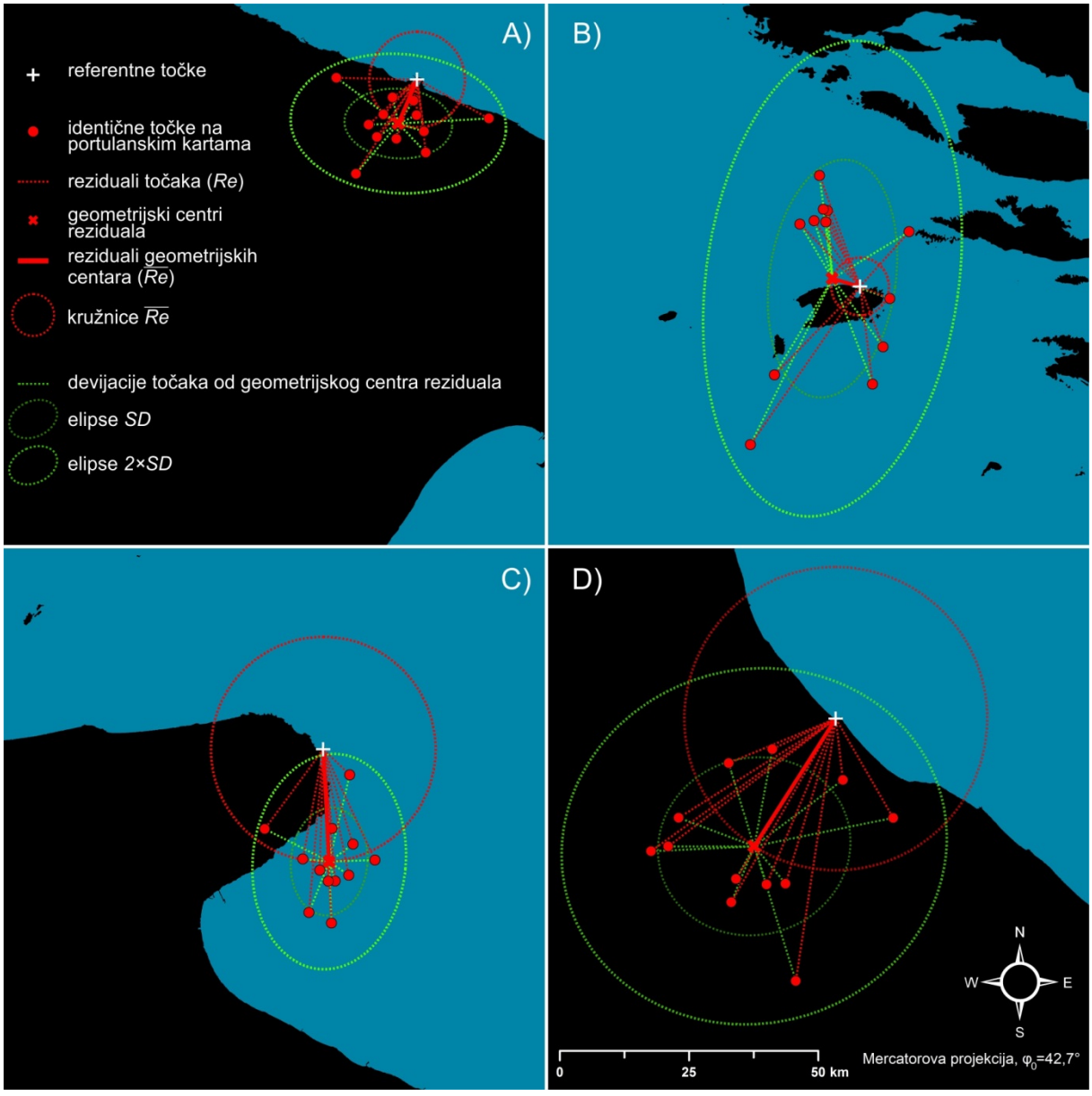
Iz rezultata prethodne analize moguće je, osim iznosa točnosti portulanskih karata u odnosu na pojedine kartografske projekcije, ustanoviti i trendove kronološkog povećanja, stagnacije ili smanjenja točnosti portulanskih karata prema svakom od prethodno prikazanih kriterija izračunavanja njihove točnosti. U svrhu sofisticiranije konceptualne razrade te istodobnog pojednostavnjivanja istraživanja kao cjeline, pregled i interpretacija kronoloških trendova točnosti ciljano je izostavljena iz prethodnog poglavlja.

Temeljni razlog izostavljanja interpretacije kronoloških trendova točnosti kartiranja je izrazita sličnost kretanja tih trendova u odnosu na pojedine odabrane referentne projekcije Drugim riječima, u rezultatima izračuna iz prethodnog poglavlja nije ustanovljeno postojanje izrazitijih kronoloških preokreta točnosti među referentnim kartografskim projekcijama za isti kriterij točnosti. To je na prikazanim *RMSE* grafikonima (Slika 5—5., Slika 5—6., Slika 5—7., Slika 5—8. i Slika 5—9.) vidljivo po tome što su linije kojima su povezane pogreške u odnosu na pojedine referentne projekcije međusobno približno usporedne za čitavo razdoblje izrade karata.

GEOMETRIJSKI CENTRI REZIDUALA I DEVIJACIJE OD GEOMETRIJSKIH CENTARA

Nastojanje da se odabrane portulanske karte kronološki detaljno međusobno usporedi na temelju prosječnih vrijednosti pogrešaka kartiranja, tj. prosječne točnosti karata u izravno mjerljivim dimenzijama glavni je razlog izostavljanja pregleda i interpretacije kronoloških trendova točnosti po pojedinim kriterijima među pojedinim kartama. Na temelju te vrijednosti moguće je izračunati devijacije pojedinih karata od tog prosjeka. Devijacije u odnosu na prosječni iznos kartiranja su u kontekstu ovog istraživanja nazvane *preciznost kartiranja*. Cilj postupka je utvrditi je li način prikazivanja obalne crte na portulanskim kartama standardiziran, i ako jest, koliki je iznos te standardizacije prikaza. Jedini prethodni pokušaj izračuna geometrije prosječne portulanske karte izveo je S. A. Loomer, nazvavši taj aritmetički produkt „kompozitnom kartom“, pri čemu je tabelarno (u centimetrima na karti s obzirom na prosječno mjerilo izračunano za uzorak karata) prikazao odstupanja ukupnih reziduala (*Re*) pojedinih karata iz uzorka od te karte (Loomer, 1987, 126-131, 152).

Na temelju prostorne raspodijele identičnih točaka i pripadajućih im reziduala (Slika 4—3.), vidljivo je da su oni različiti za svaku od 40 odabranih referentnih točaka. Oko svake referentne točke nalazi se skup od 12 pripadajućih identičnih točaka. Svaki od tih referentno-identičnih skupova točaka, moguće je promatrati kao samostalan „oblak točaka" kojemu je moguće izračunati *geometrijski centar reziduala* u odnosu na referentnu vrijednost te iznos devijacije identičnih točaka u odnosu na taj geometrijski centar (Slika 5—10.).



Slika 5—10. Primjer metode određivanja i razlikovanja relativne točnosti i preciznosti *referentno-identičnih oblaka točaka* gereferenciranih portulanskih karata: A) relativno visoka točnost i relativno visoka preciznost, B) relativno visoka točnost i relativno niska preciznost, C) relativno niska točnost i relativno visoka preciznost, D) relativno niska točnost i relativno niska preciznost.

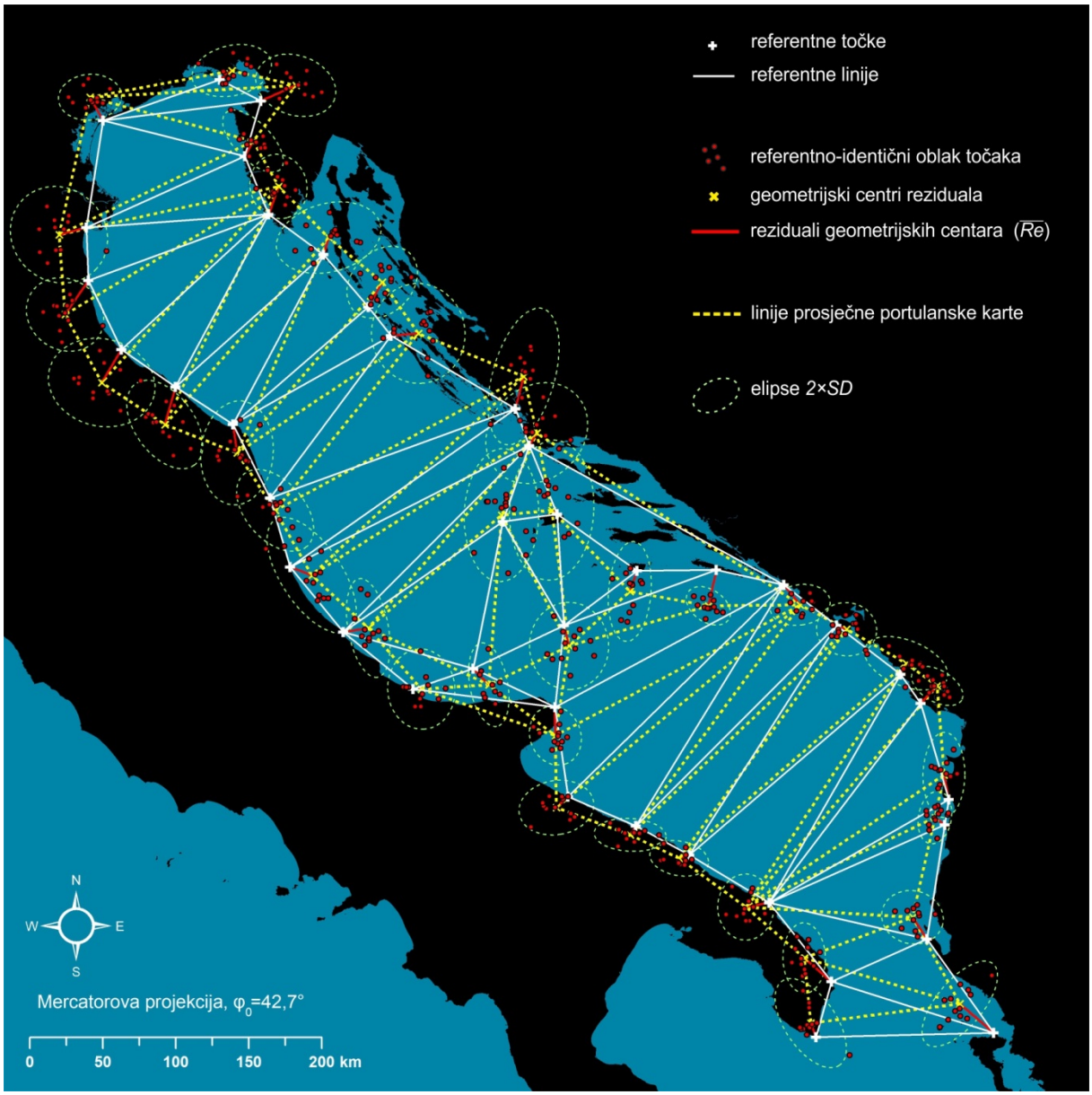
Unutar referentno-identičnog oblaka točaka geometrijski centar reziduala predstavlja prosječni iznos reziduala svih odabranih karata za tu točku u odnosu na referentnu vrijednost. Disperzija je izražena kao standardna devijacija identičnih točaka na odabranim kartama naspram geometrijskog centra reziduala za određenu referentnu točku.

Geometrijski centar reziduala izračunan je kao presjek aritmetičke sredine položaja identičnih točaka s obzirom na X-os i aritmetičke sredine položaja točaka s obzirom na Y-os [km]. Udaljenost između geometrijskog centra reziduala i referentne točke predstavlja *rezidual geometrijskog centra* ($\overline{Re}$) [km] svih odabranih portulanskih karata za tu točku. U svrhu preglednije kartografske vizualizacije, rezidual geometrijskog centra moguće je prikazati i kao kružnicu kojoj je iznos reziduala radijus. Time je vrijednost reziduala geometrijskog centra ovisna o svojem iznosu, no ne i o smjeru u odnosu na referentnu točku, pa je iznose pojedinih prosječnih reziduala (čiji se smjerovi međusobno razlikuju) lakše međusobno usporediti na karti (Slika 5—10.). Budući da su te kružnice produkt položaja točaka projiciranih u referentnoj projekciji, njihove dimenzije na karti u ovisnosti su i o vrsti projekcije, tj. dijelu polja karte na kojem se nalaze. Na prikazu $\overline{Re}$ kružnica na karti u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, radijus kružnice je, za isti aritmetički iznos $\overline{Re}$, ponešto veći sjevernije od paralele φ=42,7° N, a manji južnije od nje.

Devijacije od geometrijskog centra za svaki pojedini referentno-identični oblak točaka u ravnini su kartografski (ovisno o njihovim iznosima) prikazane na dva načina: kao *elipse standardne devijacije* (*SD*) i kao *elipse dvostruke standardne devijacije* (*2×SD*) po X-osi i po Y-osi. Elipse standardne devijacije konstruiraju se tako da se odvojeno izračunava *SD* po X-osi [km], *SD* po Y-osi [km] te iznos rotacije [°] (Welty Lefever, 1926.: 88-92; Ghilani i Wolf, 2006.: 369-387; Nicolai, 2014.: 209-210, 367-368). Zbog razmjeno sitnog mjerila karata na kojima je prikazan čitavi bazen Jadranskog mora, u svrhu preglednijeg prikaza disperzije oblaka identičnih točaka uz *SD* elipse upotrijebljene su i *2×SD* elipse.

5.2.1 TOČNOST I PRECIZNOST *PROSJEČNIH PORTULANSKIH KARATA*

Geometrijski centri reziduala, izračunani iz referentno-identičnih oblaka točaka, međusobno su povezani linijama. Produkt tog postupka je nova, računski dobivena mreža točaka i linija, koja je u svrhu ovog istraživanja nazvana *prosječna portulanska karta* (Slika 5—11.). Mreži točaka i linija izračunane *prosječne portulanske karte* potom su izmjerene ravninske koordinate točaka te udaljenosti i azimuti projicirani na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, u odnosu na koje su, potom, izračunana odstupanja svake pojedine portulanske karte iz uzorka. Odstupanja položaja, udaljenosti i azimuta pojedinih portulanskih karata od prosječne portulanske karte iskazana su kao *SD* (tj. kao *2×SD*) [km, °] i u svrhu istraživanja su terminološki kategorizirana kao *preciznost kartiranja*.



Slika 5—11. Linije *(ukupne) prosječne portulanske karte* dobivene spajanjem geometrijskih centara reziduala identičnih točaka te parametri za određivanje točnosti i preciznosti oblaka identičnih točaka.

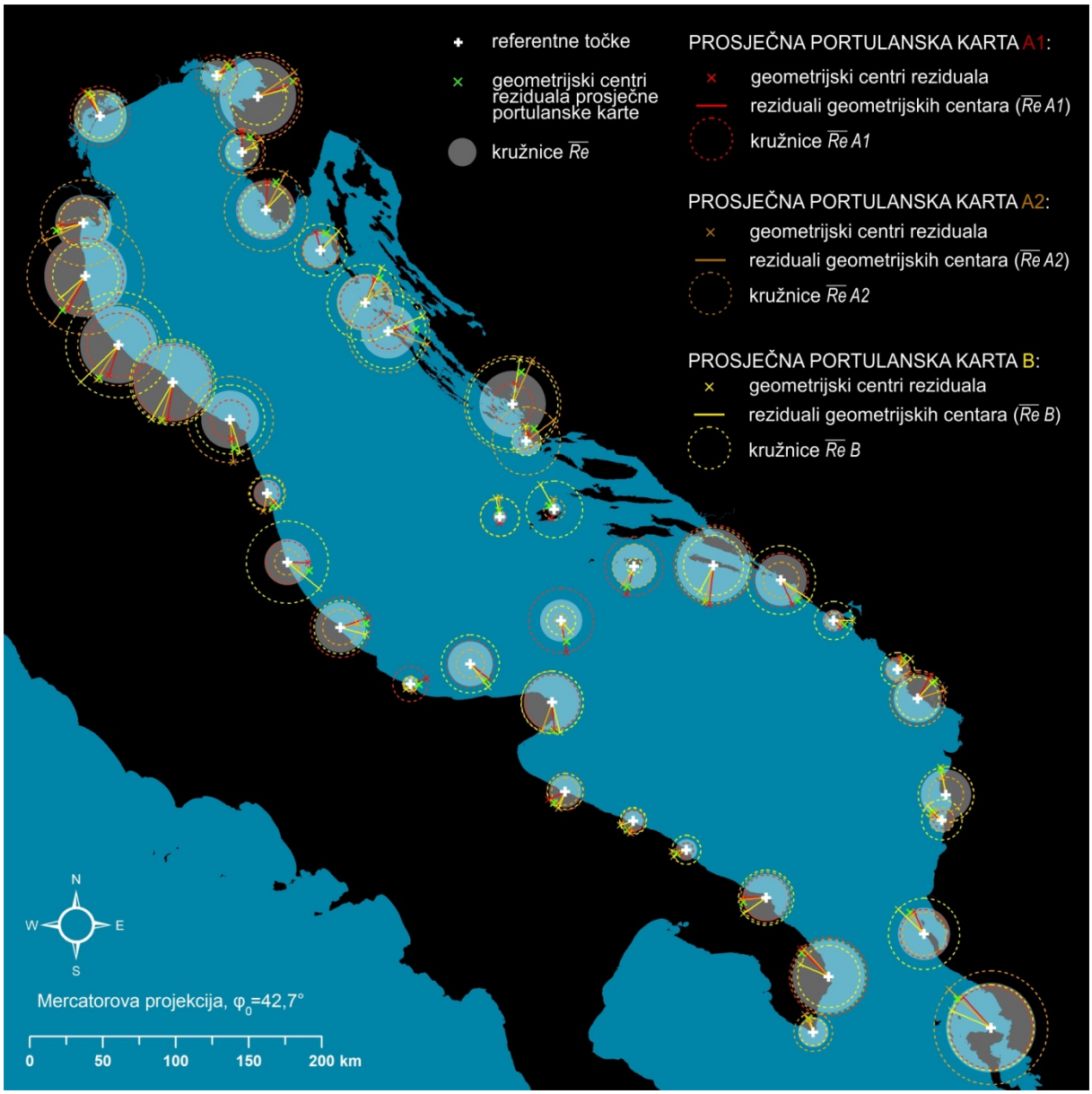
Jedan od ciljeva ovog poglavlja jest ustanoviti točnost i preciznost odabranih portulanskih karata ne samo kronološki, već i s obzirom na njihova mjerila. Stoga su karte u skladu s njihovim mjerilima podijeljene na karte A1, A2 i B, a kriteriji te podjele opisani su u poglavlju 3.1. Korištenjem prethodno opisane metode (koja se odnosi na ukupan uzorak karata), geometrijski centri reziduala izračunani su i za pojedine grupe karata. Rezultat tog postupka su izračunane *prosječne portulanske karte A1, A2 i B* (Slika 5—12.). Vidljivo je da je izgled mreže točaka i linija prosječnih portulanskih karata A2 i B međusobno vrlo sličan. Karte iz tih dviju grupa izrađene su od istih autora i uvezane u iste zbirke karata (zbirke karata B. Agnesea, 1538., D. Homema, 1570. i V. D. Volčića, 1593.), no njihova mjerila se međusobno znatno razlikuju.

Slika 5—12. Linije *prosječnih portulanskih karata A1, A2 i B*.

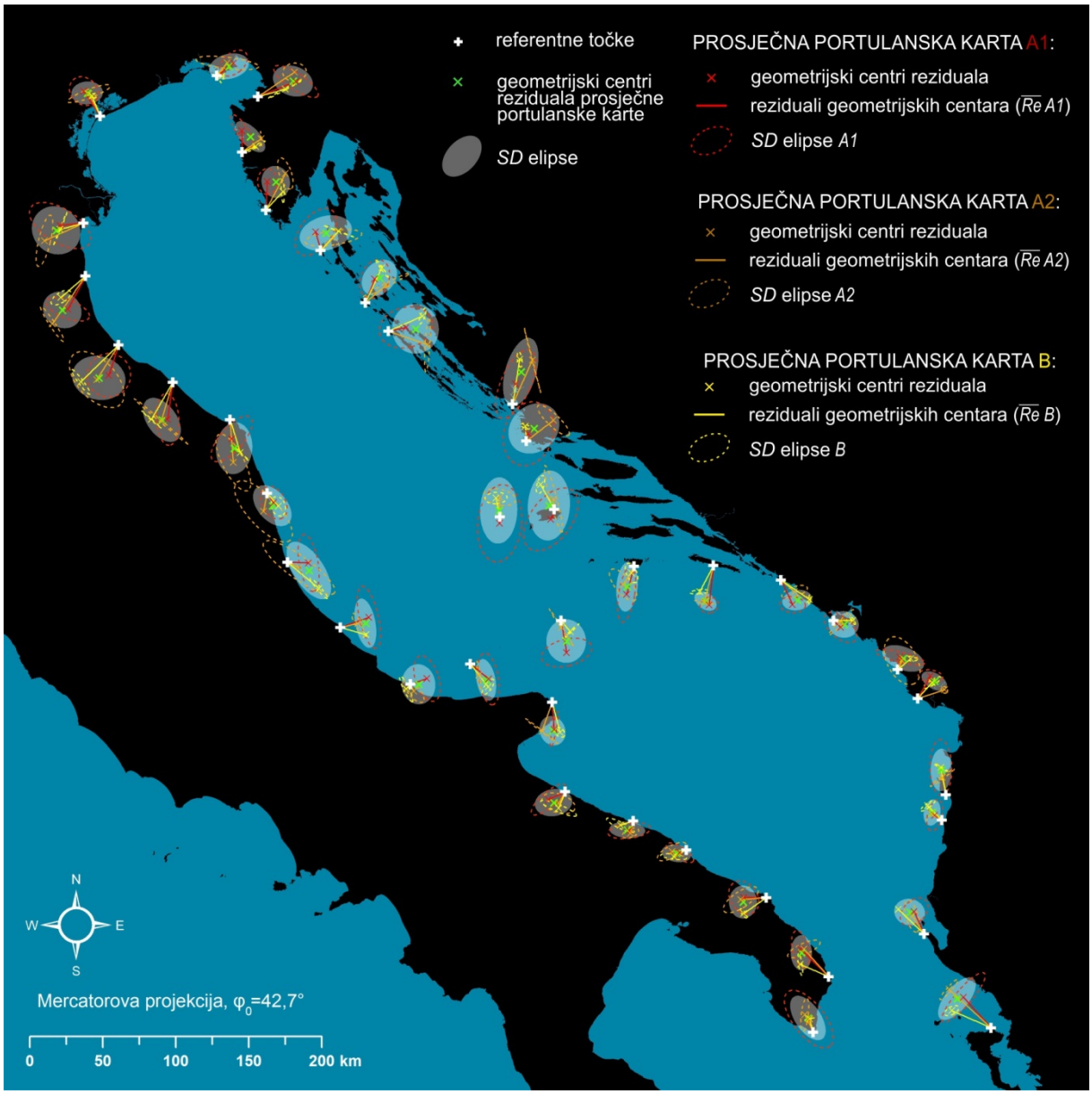
Usporedbom iznosa reziduala geometrijskih centara ($\overline{Re}$) [km] pojedinih grupa karata međusobno i svake grupe s prosječnom portulanskom kartom (Slika 5—13.) vidljivo je da ne postoji pravilnost po pitanju za koje je referentno-identične oblake točaka točnost prosječne karte A1, a za koje ona od prosječnih karata A2 i B veća ili manja od točnosti (ukupne) prosječne portulanske karte. Točnost prosječnih karata A2 i B (izrađenih od istih autora) međusobno je izrazito slična, no karte B su izrađene u znatno krupnijem mjerilu.

Izračun točnosti $\overline{Re}$ [km] je izravno uvjetovan položajem geometrijskog centra reziduala u odnosu na referentnu točku, no ne i iznosom pojedinih devijacija identičnih točaka od tog centra, budući da se devijacije točaka koje se nalaze „nasuprotno“ u odnosu na geometrijski centar reziduala po X-osi ili po Y-osi međusobno poništavaju. Primjerice, isključivo na temelju tog izračuna može se zaključiti da su točke Sv. Andrija i Rt Prevlaka kartirane s približno

jednakim pogreškama položaja na svim portulanskim kartama. U svrhu detaljnijeg utvrđivanja standardizacije prikaza za pojedine prosječne portulanske karte, kartama iz grupa A1, A2 i B, izračunane su i pripadajuće im devijacije, kartografski prikazane uz pomoć *SD* elipsi (Slika 5—14.). Preciznost oblaka točaka na kartama A1 u pravilu je manja (veća disperzija), a preciznost novijih karata (A2 i B) veća (manja disperzija) od preciznosti prosječne portulanske karte. Na temelju međusobne usporedbe karata A2 i karata B, vidljivo je da je na kartama krupnijeg mjerila, tj. kartama B, preciznost kartiranja mnogo veća od preciznosti prikaza istog prostora od strane istih autora na kartama sitnijih mjerila, tj. na kartama A2.



Slika 5—13. Točnost oblaka identičnih točaka karata A1 ($\overline{Re}$ A1), A2 ($\overline{Re}$ A2) i B ($\overline{Re}$ B) u odnosu na točnost oblaka identičnih točaka ukupnog uzorka portulanskih karata ($\overline{Re}$).



Slika 5—14. Preciznost oblaka identičnih točaka karata A1 (*SD A1*), A2 (*SD A2*) i B (*SD B*) u odnosu na preciznost oblaka identičnih točaka ukupnog uzorka portulanskih karata (*SD*).

Temeljem kartografskog prikaza točnosti pojedinih grupa prosječnih portulanskih karata moguće je pretpostaviti da on iz kronološkog aspekta nije u skladu s logičnom premisom da bi karte izrađene dva stoljeća kasnije, a naročito kasnije karte izrađene u krupnijem mjerilu, u prosjeku trebale imati veću točnost kartiranja. Međutim, na temelju izračuna preciznosti kartiranja za pojedine referentno-identične oblake točaka, vidljivo je da su novije karte, premda (naizgled) s nižom točnošću, iz geometrijskog aspekta međusobno sličnije od starijih karata. Ti podaci, uzevši u obzir i prethodno utvrđenu stagnaciju točnosti kartiranja na odabranim kartama neovisno o referentnoj projekciji u odnosu na koju se točnost izračunava, vode ka pretpostavci da je izrada portulanskih karata s vremenom postala sve više standardizirana bez obzira na pritom prisutne pogreške kartiranja, tj. da su metode kopiranja prethodnih karata postajale sve više optimizirane.

5.2.2 KRONOLOŠKI PREGLED TOČNOSTI I PRECIZNOSTI KARTIRANJA

Izračun točnosti i preciznosti kartiranja temeljen je na metodi najmanjih kvadrata (*LSE*) na uzorku od 40 referentno-identičnih parova točaka međusobno povezanih s 80 linija (Slika 4—3.) i izvršen je samostalno za svaku portulansku kartu[29] georeferenciranu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (odabrana u poglavlju 5.1 kao geometrijski najsličnija portulanskim kartama). Preciznost kartiranja, iskazana kao *SD* i prikazana na dijagramima, izračunana je kao iznos korijena iz sume varijanci pogrešaka za svaku pojedinu portulansku kartu u odnosu na ekvivalentne vrijednosti na prosječnoj portulanskoj karti, pritom uvažavajući stupnjeve slobode 4-parametarske transformacije portulanskih karata u izračunu najmanjih kvadrata ($\bar{X}_i, \bar{L}_i, \bar{\alpha}_i$ – ekvivalentne vrijednosti na prosječnoj portulanskoj karti):

$$SD\ Re = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[(X_i-\bar{X}_i)^2+(Y_i-\bar{Y}_i)^2]}{2n-4}}, \quad SD\ dL = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(L_i-\bar{L}_i)^2}{n-1}}, \quad SD\ d\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\alpha_i-\bar{\alpha}_i)^2}{n-1}}$$

Vrijednosti na portulanskim kartama i njihove ekvivalente vrijednosti na prosječnim portulanskim kartama odnose se na kartiranje položaja, udaljenosti i azimuta. Budući da su u prethodnom poglavlju izračunane i konstruirane ukupno četiri prosječne portulanske karte (Slika 5—11. i Slika 5—12.), isti broj prosječnih karata korišten je i u ovoj analizi s pripadajućim vrijednostima $\overline{x}_i$, $\overline{x}_{i\,A1}$, $\overline{x}_{i\,A2}$ i $\overline{x}_{i\,B}$. Analiza preciznosti kartiranja svake pojedine portulanske karte određena je na dva načina: kao karta iz grupe A ili grupe B u odnosu na prosječnu portulansku kartu te kao karta iz grupe A1, A2 ili B u odnosu na prosječnu kartu iz pripadajuće joj grupe (A1, A2 ili B). Tako, primjerice, oznaka *SD A* predstavlja odstupanje karte iz grupe A u odnosu na (ukupnu) prosječnu portulansku kartu, dok oznaka *SD A1–A1* predstavlja odstupanje karte iz grupe A1 u odnosu na prosječnu portulansku kartu A1.

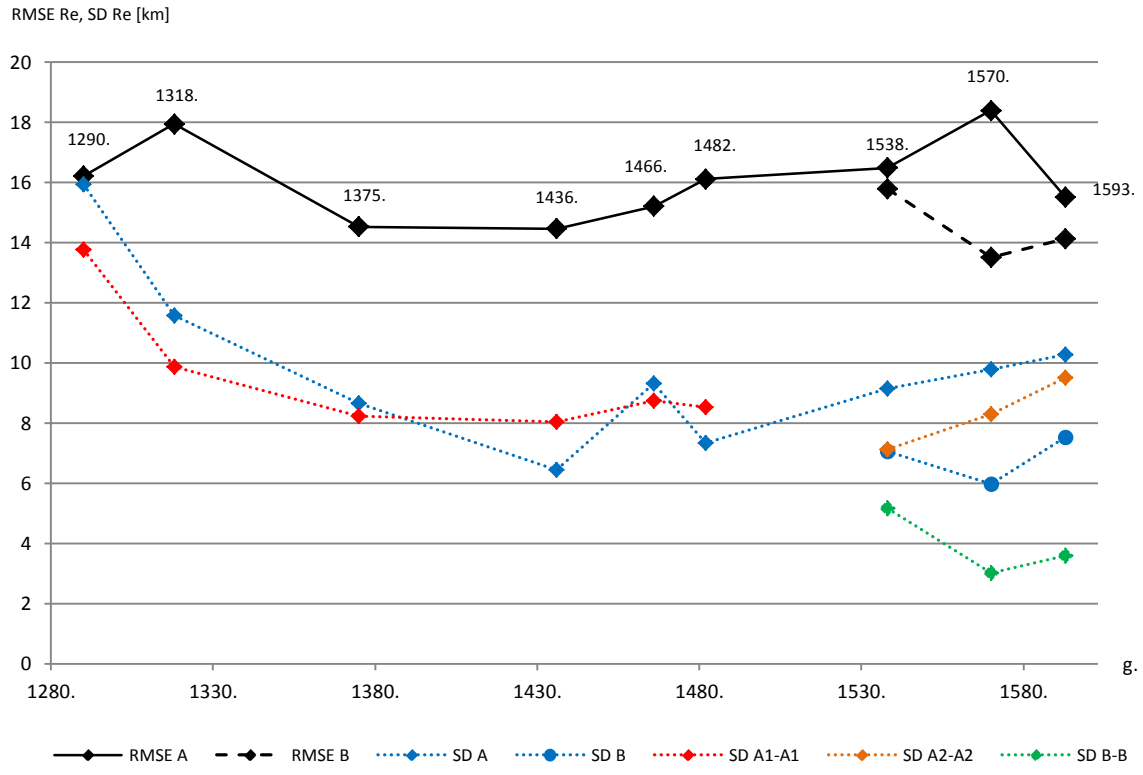
Svrha analize je utvrditi kretanja iznosa točnosti unutar istraživanog razdoblja izrade karata po kriterijima *RMSE Re* [km] , *MAE dL* [km] i *MAE dα* [°] u odnosu na uspravnu Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° kao referentnu vrijednost te međusobni stupanj sličnosti tih karata, tj. preciznost kartiranja po kriterijima *SD Re* [km], *SD dL* [km] i *SD dα* [°]. Na temelju tih rezultata moguće je steći kvantitativan uvid u međusobnu sličnost portulanskih karata koju je temeljito opisao Nordenskiöld formuliravši pritom hipotezu o „normalnoj portulanskoj karti“ kao predlošku kojeg su sve ostale portulanske karte kopije (Nordenskiöld, 1897.: 3, 10).

[29] Ovo je naglašeno u svrhu razlikovanja točnosti kartiranja prikazane u narednim dijagramima od točnosti prosječnih portulanskih karata prikazane na karti (Slika 5—13.), gdje je izračun točnosti za ukupan uzorak portulanskih karata izveden na temelju pojedinih referentno-identičnih oblaka točaka.

TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA POLOŽAJA

Točnost kartiranja položaja na odabranim portulanskim kartama, izražena kao *RMSE Re*, ima prosječne iznose 15,7 km za karte A1, 16,8 km za karte A2 i 14,5 km za karte B. Točnost od 16,2 km postojala je već na karti PK 1290., najstarijoj u odabranom uzorku, dok je točnost kasnijih karata različita (DHa 1570. manja, a VDVa 1593. veća). Također, točnost karte BAb 1538. (krupnijeg mjerila, na kojoj je Jadransko more prikazano na samostalnom listu pergamene) tek je neznatno manja od točnosti karte PK 1290. (Slika 5—15.). Iznosi mjerila svih odabranih portulanskih karata izračunani su u poglavlju 6.1.1.

Usporedbom devijacija pojedinih karata od izračunanih prosječnih portulanskih karata po kriteriju *SD Re*, vidljivo je da karte PK 1290. i PV 1318. imaju najveća odstupanja u odnosu na ukupnu prosječnu kartu ali i u odnosu na prosječnu kartu A1. Najmanje odstupanje karata iz grupe A izračunano je za kartu AB 1436. Novije karte iz grupe A (karte A2) u pravilu imaju veća odstupanja od prosjeka, dok su ona novijih karata krupnijeg mjerila manja. Gotovo dvostruko manji iznosi devijacija karata B u usporedbi s devijacijama karata A2 su, moguće, uzrokovani manje intenzivnim predimenzioniranjima pojedinih dijelova obale i manjih otoka na portulanskim kartama krupnijeg mjerila, o čemu je pisano u uvodu, poglavlje 1.1.

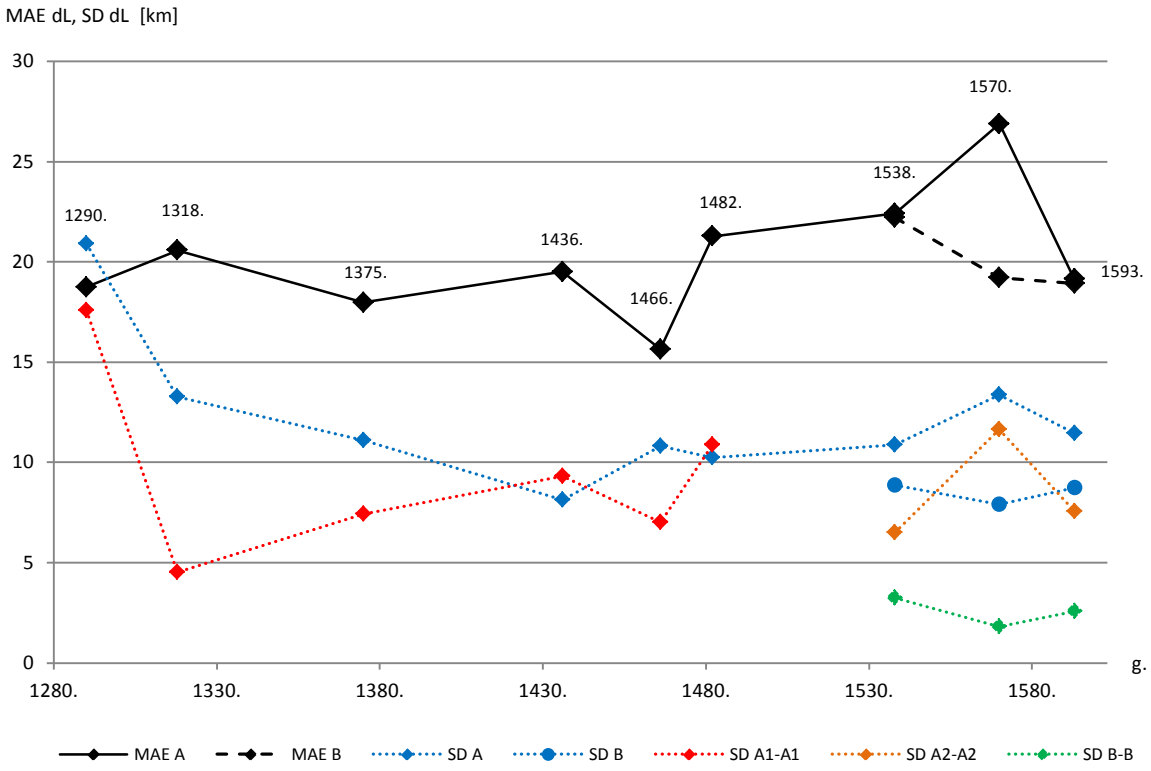


Slika 5—15. Razlike u preciznosti kartiranja položaja (*SD Re*) između prosječnih karata A1, A2 i B i ukupne prosječne portulanske karte (s prikazom pogreške *RMSE Re* portulanskih karata).

TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI

Točnost kartiranja udaljenosti prema kriteriju *MAE dL* je, slično kao i po kriteriju točnosti kartiranja položaja, otprilike jednaka kroz tri stoljeća izrade tih karata. *MAE dL* za karte A1 iznosi 14,7 km, za karte A2 17,5 km, a za karte B 16,2 km. Usporedbom točnosti karata A1 i A2, vidljivo je da je kroz razdoblje od dva stoljeća točnost kartiranja udaljenosti u pravilu opadala, dok se usporedbom karata A2 i B može uočiti da s izrazitim ukrupnjivanjem mjerila na 2 od 3 para karata iz uzorka nije postignuta veća točnost kartiranja (Slika 5—16.).

Karta PK 1290. je i po ovom kriteriju karta s najvećim odstupanjima od prosječne portulanske karte, ali i od prosječne portulanske karte A1. Kao i prema prethodnom kriteriju, karta AB 1436. je po kriteriju *SD dL* najbliža ukupnoj prosječnoj portulanskoj karti. Vidljivo je i da novije karte, tj. karte A2 i B ne pokazuju smanjenje odstupanja u odnosu na ukupnu prosječnu portulansku kartu, no njihova su odstupanja istodobno razmjerno manja kada se izračunavaju u odnosu na pripadajuće im prosječne portulanske karte (prosječne karte A2 i B). To je naročito vidljivo na izrazito malom iznosu devijacija karata B u odnosu na prosječnu kartu B (*SD Re B–B* i *SD dL B–B)*, što znači da su te tri karte geometrijski međusobno izrazito slične po pitanju kartiranja položaja i udaljenosti.

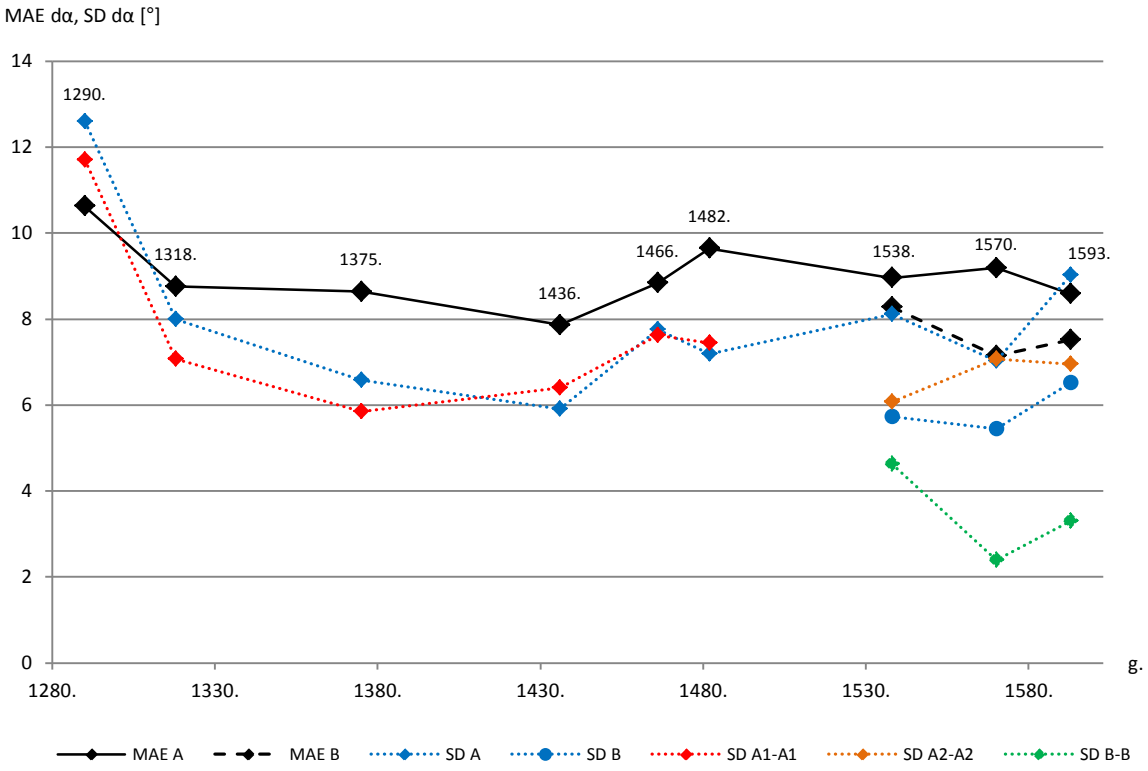


Slika 5—16. Razlike u preciznosti kartiranja udaljenosti (*SD dL*) između prosječnih karata A1, A2 i B i ukupne prosječne portulanske karte (s prikazom pogreške *MAE dL* portulanskih karata).

TOČNOST I PRECIZNOST KARTIRANJA AZIMUTA

Točnost kartiranja azimuta prema kriteriju *MAE dα* u odnosu na azimute na uspravnoj Mercatorovoj projekciji iznosi 9,1° za karte A1 (8,7° ne računajući kartu PK 1290.), 8,9° za karte A2 i 7,6° za karte B. Na temelju tih podataka i na temelju rezultata dobivenih prema prethodna dva kriterija, vidljivo je da točnost kartiranja na portulanskim kartama, ne samo po pitanju točnosti kartiranja azimuta, već općenito, nije porasla tijekom razdoblja od tri stoljeća.

Usporedbom devijacija pojedinih karata od prosječnih portulanskih karata (*SD dα*), vidljivo je da su odstupanja karte PK 1290. najveća, karte AB 1436. najmanja, dok je za karte iz grupe A izrađene nakon nje izračunan porast odstupanja. Posebna znakovitost rezultata ove analize je približna ujednačenost odstupanja od prosječne portulanske karte za gotovo sve kasnije karte. Primjerice, karta PV 1318. i karta BAa 1538., iako je između njihovih izrada proteklo gotovo dva i pol stoljeća, pokazuju slična odstupanja u odnosu na ukupnu prosječnu portulansku kartu. Razmjerno ujednačeniji iznosi odstupanja od prosječne portulanske karte za kartiranje azimuta, kao i u slučaju kartiranja položaja i udaljenosti, potvrđuju izrazitu geometrijsku sličnost karata koja se nije značajnije promijenila od karte PV 1318. prema novijim kartama.



Slika 5—17. Razlike u preciznosti kartiranja azimuta (*SD dα*) između prosječnih karata A1, A2 i B i ukupne prosječne portulanske karte (s prikazom pogreške *MAE dα* portulanskih karata).

5.2.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Analiza točnosti portulanskih karata s obzirom na vrijeme izrade i njihovo mjerilo pokazala je da točnost kartiranja na tim kartama nije vidljivo napredovala od samih početaka njihove izrade. Prosječna točnost kartiranja položaja za sve karte (*RMSE Re*) iznosi 10,3 km, prosječna točnost kartiranja udaljenosti (*MAE dL*) 15,8 km, a prosječna točnost kartiranja azimuta (*MAE dα*) 8,7°. Prosječna preciznost kartiranja položaja svih odabranih portulanskih karata u odnosu na ukupnu prosječnu portulansku kartu (*SD Re*) iznosi 9,1 km, preciznost kartiranja udaljenosti (*SD dL*) iznosi 11,3 km, a preciznost kartiranja azimuta (*SD dα*) 7,5°.

Prikaz obalne crte na portulanskim kartama je u kronološkom aspektu izrazito standardiziran, naročito pri praćenju slijeda njihove izrade od karte PV 1318. prema kasnije izrađenim kartama. Izračunana odstupanja karte PK 1290. (*Pisanska karta*), ujedno i najstarije unutar uzorka, najveća su prema sva tri kriterija preciznosti. Odstupanje prikaza obalne crte na *Pisanskoj karti* u odnosu na kasnije portulanske karte uočeno je još u 19. st. Primjerice, H. Wagner je na temelju različite rotacije prikaza Jadranskog mora na toj karti uočio da on nije povezan s rotacijom ostalih bazena Sredozemlja, na temelju čega je zaključio da se za izradu prvih portulanskih karata nije koristio kompas (Wagner 1896. (1969.): 482). Rotacija prikaza Jadranskog mora na toj karti, nastala kao produkt metode najmanjih kvadrata, iznosi 0,29° (Tablica 5—1.). U radu R. Nicolaija kartometrijski rezultati analize te karte pokazali su izrazitije razlike u odnosu na ostale karte koje je analizirao. Zaključio je da je *Pisanska karta* jedan od ranijih srednjovjekovnih pokušaja sastavljanja karata pojedinih bazena Sredozemlja u portulansku kartu kao kompozit, pri čemu je način na koji je ona sastavljena nazvao „nezrelim“ s obzirom na kasniji „dogovoreni kartografski produkt“, tj. portulanske karte koje su izrađene kasnije (Nicolai, 2014.: 260). Premda je u ovom istraživanju kao prostor istraživanja korišten samo jedan morski bazen Sredozemlja, vidljivo je da *Pisanska karta* izrazitije odstupa od kasnijih karata ne samo u pogledu rotacije prikaza, već i u pogledu svih primijenjenih kriterija za izračunavanje točnosti prikaza. S druge strane, karta PV 1318., koju je tek nekoliko desetljeća kasnije izradio Pietro Vesconte, ima geometrijska obilježja kakva se nisu mijenjala stoljećima kasnije, tj., uvjetno rečeno, obilježja Nordenskiöldove katalonske „normalne portulanske karte“ (Nordenskiöld, 1897.: 3, 10). Budući da u istraživanju portulanske karte analitički nisu grupirane prema regiji u kojoj su izrađene, pretpostavku o katalonskom porijeklu „normalne portulanske karte“ nije moguće čvrsto potvrditi ni opovrgnuti. Naime, po prikazanim kriterijima točnosti i preciznosti, karta KA 1375., tj. karta iz *Katalonskog atlasa* na kojoj je prikazano Jadransko more, uistinu jest vrlo bliska prosječnoj portulanskoj karti izračunanoj u ovom istraživanju, no bliske su joj i karte PV 1318. (izuzev kriterija *SD Re*) izrađena pola stoljeća ranije te AB 1436., izrađena pola stoljeća kasnije. U svrhu jasnijeg utvrđivanja je li „normalna portulanska karta“, ako je takva karta uopće postojala, produkt katalonske ili talijanske kartografske škole potrebno je ovom metodom analizirati veći broj ranih portulanskih karata iz obiju škola i to za prostor čitavog

Sredozemlja. Nepostojanje poboljšanja točnosti prikaza izračunao je i S. A. Loomer, koji smatra da je postupna degradacija točnosti prikaza (kao očekivana posljedica kontinuiranog kopiranja karata) izbjegnuta uslijed pažljivog ucrtavanja mreže rumba koje je prethodilo kasnijem kopiranju ostatka sadržaja (Loomer, 1987.: 156-157, 167-169). Postoje sačuvani povijesni zapisi o tehnikama kopiranja karata. Jedna od metoda kopiranja karata bila je korištenje ugljene prašine u svrhu ostavljanja otiska, metoda koju je u djelu *Arte de navegar* (*Umjetnost plovidbe*) iz 1551. g. zapisao španjolski kozmograf Martín Cortés de Albacar (Campbell, 1987.: 391). P. T. Pelham u svojem magistarskom radu navodi zapis iz knjige *Nautica Mediterranea* (*Plovidba Sredozemljem*) iz 1607. g. autora Bartolomea Crescentia u kojoj stoji da su postojale dvije metode kopiranja karata. Jedna metoda uključivala je bušenje pergamene velikim brojem iglica uzduž (budućeg) prikaza obalne crte, dok je druga metoda bila precrtavanje (nove) karte preko postojeće (starije) karte postavljene na podlogu ispod koje se nalazi izvor svjetla (Pelham, 1980.: 27-28).

Izrazita međusobna sličnost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, izražena kao *SD*, s istodobnom gotovo nepromijenjenom točnošću prikaza svakako vodi ka zaključku da su novije portulanske karte kopije starijih portulanskih karata. Kada bi svaka od tih karata (ili barem veći dio njih) bile izvorni rad temeljen na autentičnim izmjerama u prostoru, logično bi bilo pretpostaviti da će novije karte biti točnije od starijih karata, a naročito da će karte krupnijeg mjerila biti točnije od karata sitnog mjerila, što na temelju odabranih karata nije izračunano. Na kartama u prilogu (Slika 10—11., Slika 10—12. i Slika 10—13.) prikazane su obalne crte kopna na portulanskim kartama iz pojedinih grupa na kojima je jasno vidljivo da je prikaz obalne crte na portulanskim kartama s vremenom postao standardiziran te da je na novijim kartama krupnijeg mjerila iz grupe B on gotovo identičan, što svakako potvrđuje hipotezu o neizvornosti i sukcesivnom kopiranju tih karata. Pritom je moguće pretpostaviti da su se metode kopiranja karata s vremenom poboljšavale.

ZAKLJUČCI

4) *Točnost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, naročito onih izrađenih u približno jednakim mjerilima, nije se poboljšala kroz razdoblje od tri stoljeća.*

5) *Portulanske karte, naročito one novije izrađene u krupnijem mjerilu, su vjerojatno izrađivane kopiranjem neke (ili nekih) od prethodnih karata. Međutim, u ovom istraživanju nije moguće točno odrediti njihove kartografske izvornike.*

5.3 REGIONALNO–FUNKCIONALNE RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA

Na kartografskim prikazima koji su produkt analize točnosti i preciznosti kartiranja provedene u prethodnom poglavlju, vidljivo je da je prostorna raspodjela tih parametara neujednačena po prostoru istraživanja. Primjerice, točnost kartiranja položaja prosječnih portulanskih karata ($\overline{Re}$) manja je za pojedine točke sjevernog dijela Jadranskog mora, a veća za točke južnog dijela, dok je za točke Rt Ploča te otoke Sv. Andrija i Vis na srednjem dijelu Jadranskog mora ona (prividno) iznimno visoka (Slika 5—13.). S druge strane, na kartografskom prikazu preciznosti (devijacije oblaka točaka) prosječnih portulanskih karata (Slika 5—14.) vidljivo je da su odstupanja od prosječne portulanske karte iznimno visoka upravo za otoke srednjeg dijela Jadranskog mora, poglavito za otoke Sv. Andrija i Vis.

Neujednačenost prostorne raspodijele točnosti kartiranja jasno je vidljiva na kartografskim prikazima iz poglavlja 5.2, no uz pomoć tih prikaza nije moguće steći uvid u kronološki tijek kartiranja točnosti pojedinih dijelova Jadranskog mora, već je u tu svrhu potrebno upotrijebiti dijagrame. Da bi se prostorne razlike u točnosti kartiranja mogle kvantificirati tako da ih je moguće prikazati kronološki za pojedine portulanske karte uz pomoć dijagrama, prostor Jadranskog mora potrebno je regionalno diferencirati klasificiranjem po određenim kriterijima. U istraživanju, klasifikacija prostora izvršena je regionalno-funkcionalnom podjelom mreže točaka i linija (Slika 4—1.), opisanom u poglavlju 4. Ono što pritom nije bilo eksplicitno navedeno, a ima potencijalnu statističku važnost, je niska „vremenska stabilnost“ referentno-identičnih parova točaka na većim zamočvarenim obalnim zonama, primjerice na delti rijeke Po. Vidljivo je da na svim portulanskim kartama suvremeni izgled ušća rijeke Po s progresijom kopna prema moru nije prikazan, no takav prikaz, čini se, nije posljedica namjernog pojednostavnjivanja izgleda prostora, budući da je tijekom razdoblja izrade i uporabe tih karata ušće rijeke Po bilo na prijelazu iz estuarija u deltu. Izrazitije formiranje ušća rijeke Po u oblik delte nastupilo je od 17. st., a intenziviralo se od 19. st. naovamo (Marabini, 1997.: 48). Međutim, pri uvjetnoj grafičkoj ekstrapolaciji točnosti (temeljene na 40 referentno-identičnih parova točaka) provedenoj vektoriziranjem obalne crte kopna na portulanskim kartama (Slika 10—11., Slika 10—12. i Slika 10—13.) vidljivo je da je čitav obalni pojas sjevernog dijela Jadranskog mora kartiran s nižim vrijednostima točnosti.

Tretiranje prikaza Sredozemlja i Crnog mora na portulanskim kartama kao kompozit sastavljen od karata pojedinih morskih bazena primijenjen je u pojedinim prethodnim kartometrijskim istraživanjima, primjerice onom Loomerovom (Loomer, 1987.) ili Nicolaijevom (Nicolai, 2014.). Međutim, podjela pojedinih bazena na manje (sub)regionalne cjeline u svrhu kartometrijske analize u navedenim radovima nije bila izvršena, tako da rezultate analitičkog postupka provedenog u ovom poglavlju nije moguće izravno usporediti s rezultatima tih istraživanja. Temeljni cilj ovog poglavlja jest utvrđivanje razlika u točnosti prikaza pojedinih dijelova bazena Jadranskog mora na portulanskim kartama naspram

točnosti njegova prikaza kao cjeline. S obzirom da je u poglavlju 5.1 utvrđena razmjeno visoka sličnost između geometrija identičnih mreža točaka i linija na portulanskim kartama (kao cjelina) i referente mreže na karti u Mercatorovoj projekciji, pretpostavlja se da je geometrija portulanskih karata temeljno konformna, tj. da je temeljni cilj izrade tih karata bio prikaz kursnih linija kao ravnih crta na karti. Jedina kartografska projekcija koja omogućuje takvo preslikavanje kursnih linija je uspravna Mercatorova projekcija. Međutim, zbog vjernosti prikaza kursnih linija kao ravnih crta na karti u toj projekciji, prikaz udaljenosti i površina je deformiran tako da su deformacije u smjeru od standardnih paralela prema polovima pozitivnih, a prema ekvatoru negativnih iznosa (kada je standardna paralela ekvator, te deformacije su isključivo pozitivnih iznosa) (Snyder i Voxland, 1989.: 10, 218). Pojednostavljeno govoreći, prikaz prostora se udaljavanjem od standardnih paralela u smjeru polova istodobno „produljuje“ (po pravcu W–E) i „proširuje“ (po pravcu N–S), a u smjeru ekvatora uzduž istih pravaca se „skraćuje“ i „sužava“. Očekivani ishod analize je „povećanje“ i „proširenje“ prikaza udaljenosti na portulanskim kartama u smjeru polova, uz istodobnu ujednačenost točnosti prikaza azimuta po čitavom polju karte, u čiju svrhu je ispitana lokalna distribucija pogrešaka kartiranja udaljenosti (*MAE dL, ME dL*) i azimuta (*MAE dα*).

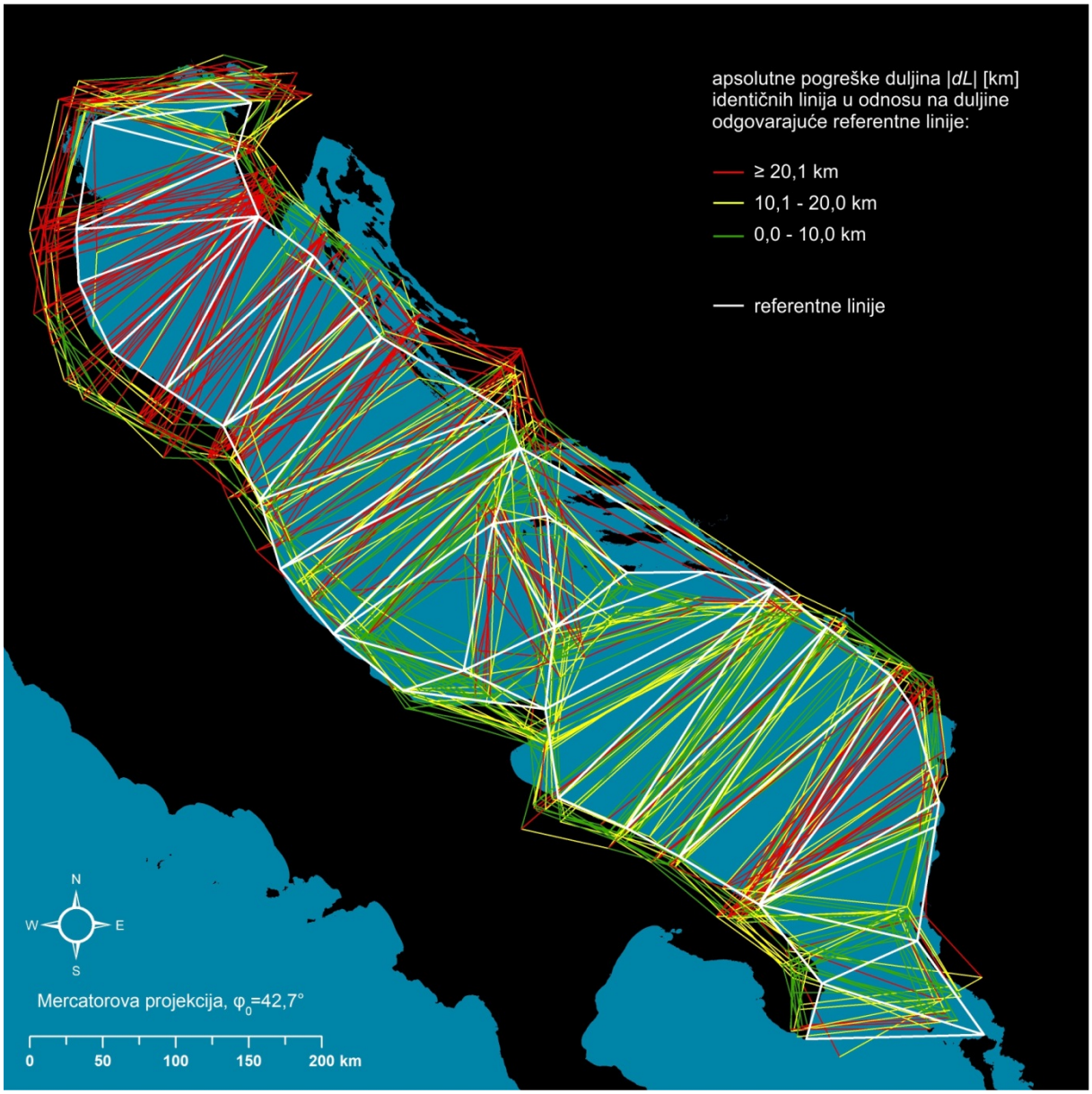
5.3.1 REGIONALNO–FUNKCIONALNE RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA UDALJENOSTI

Analiza regionalno–funkcionalnih razlika u točnosti kartiranja udaljenosti izvršena je tako da su duljine identičnih linija u mrežama linija na portulanskim kartama [km] uspoređene s duljinama ekvivalentnih referentnih linija na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Za razliku od podjele točaka na obalne i otočne, linije su podijeljene na *obalne*, *prekomorske* i *otočne*. Obalnim linijama međusobno su povezane točke na istoj obali, dok su prekomorskim linijama povezane točke na nasuprotnim obalama. Obje vrste linija postoje na sjevernom, srednjem i južnom dijelu Jadranskog mora. Otočne linije određene su samo za područje srednjeg dijela Jadranskog mora i odnose se na linije kojima su pučinski otoci srednjeg Jadrana povezani međusobno i s točkama na susjednom kopnu.

Analiza točnosti kartiranja udaljenosti izvršena je na dva načina: kao izračun srednjih apsolutnih pogrešaka kartiranja udaljenosti (*MAE dL*) te kao izračun srednjih „stvarnih“ pogrešaka kartiranja (*ME dL*). Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti prikazuju apsolutni iznos pogreške, tj. odstupanja identičnih udaljenosti naspram referentne vrijednosti [km], dok se uz pomoć izračuna „stvarne“ pogreške kartiranja može utvrditi je li identična udaljenost ucrtana duljom ili kraćom od referentne vrijednosti [km].

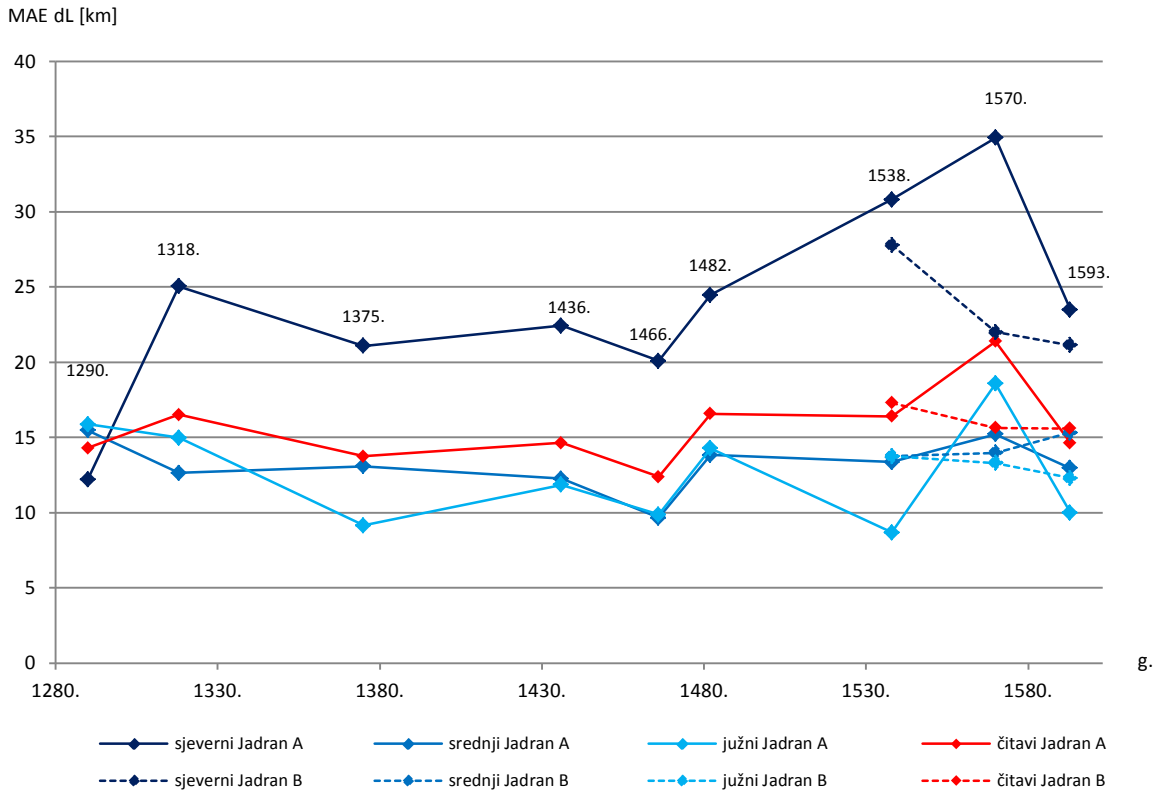
APSOLUTNA TOČNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI

Na kartografskom prikazu apsolutnih pogrešaka kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama naspram udaljenosti na referentnoj projekciji vidljivo je da su južni i srednji dio Jadrana u pravilu kartirani s iznosima $|dL|$ od <10,0 km i 10,1–20,0 km. Najveći iznosi $|dL|$ (≥20 km) koncentrirani su na sjevernom dijelu Jadranskog mora, a manji dio na otočnim linijama te za obalnu liniju Veli Rat – Šibenik, kojom nije moguće izravno ploviti (Slika 5—18.). Pojednostavljeno govoreći, južni i srednji dio Jadranskog mora su po kriteriju $|dL|$ prosječno točnije kartirani od njegovog sjevernog dijela.



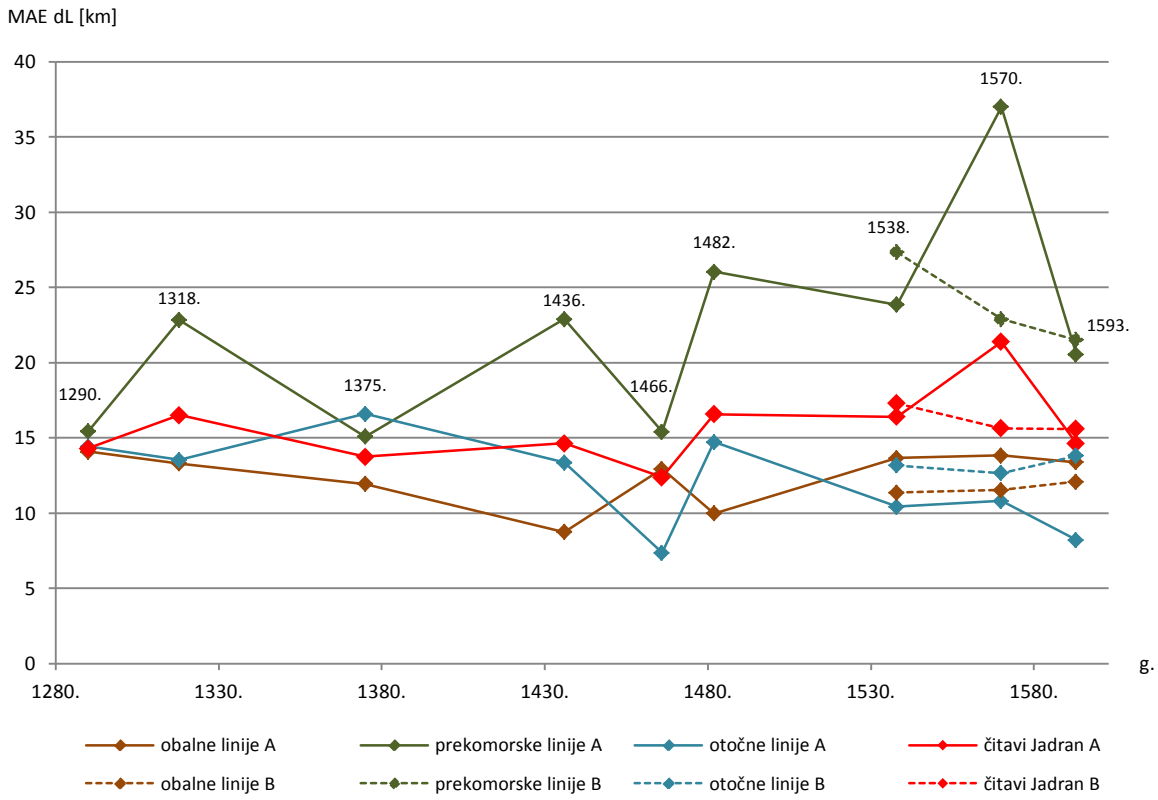
Slika 5—18. Prostorna raspodjela apsolutnih pogrešaka kartiranja udaljenosti identičnih linija ($|dL|$) u odnosu na duljine referentnih linija.

Promotre li se ti međuodnosi kronološki (Slika 5—19.), vidljivo je da je apsolutna točnost kartiranja udaljenosti za sjeverni Jadran izrazito manja od prosjeka na svim kartama izuzev (najstarije) karte PK 1290. Na kartama A1, *MAE dL* za sjeverni Jadran iznosi 20,9 km, a na kartama A2 ta pogreška iznosi 29,7 km. Na kartama B *MAE dL* ima iznos od 23,8 km, čak ponešto veći od starijih karata sitnijeg mjerila (grupa A1). S druge strane, točnost kartiranja udaljenosti za srednji i južni dio Jadranskog mora veća je od prosječne točnosti karata, pri čemu je na najvećem broju portulanskih karata ona najveća upravo za južni Jadran.



Slika 5—19. Srednje apsolutne pogreške kartiranja udaljenosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora.

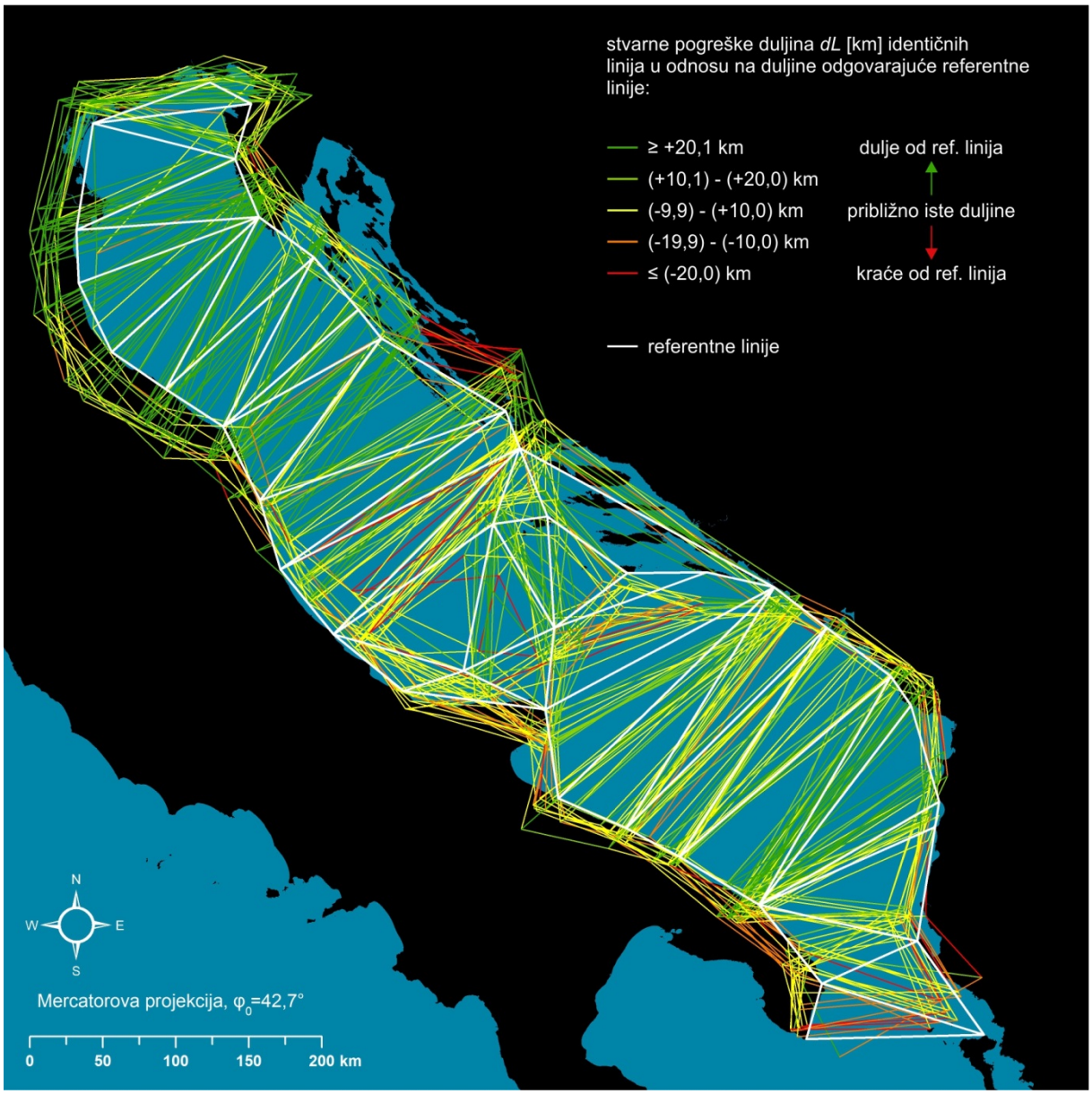
Apsolutna točnost kartiranja udaljenosti pri podjeli mreže linija na obalne, prekomorske i otočne linije ne pokazuje izrazitije kronološke trendove povećane ili smanjene točnosti kartiranja za pojedinu vrstu linija. Na najvećem broju karata (izuzev PK 1290. i KA 1375.) prekomorske linije imaju nižu, a otočne i obalne linije višu (Slika 5—20.) točnost kartiranja od prosjeka. Jedan od razloga veće apsolutne točnosti kartiranja udaljenosti tih linija je, moguće, njihova manja duljina naspram duljina prekomorskih linija. Također, budući da je prethodno ustanovljena izrazito niska preciznost kartiranja položaja otoka (visoke devijacije identičnih točaka otoka srednjeg Jadrana) (Slika 5—14.), a ovdje prikazana apsolutna točnost kartiranja udaljenosti je relativno visoka, moguće je da se taj nesklad točnosti i preciznosti očituje u izrazitijim pogreškama kartiranja azimuta za otočne linije.



Slika 5—20. Srednje apsolutne pogreške kartiranja udaljenosti za obalne, prekomorske i otočne linije.

STVARNA TOČNOST KARTIRANJA UDALJENOSTI

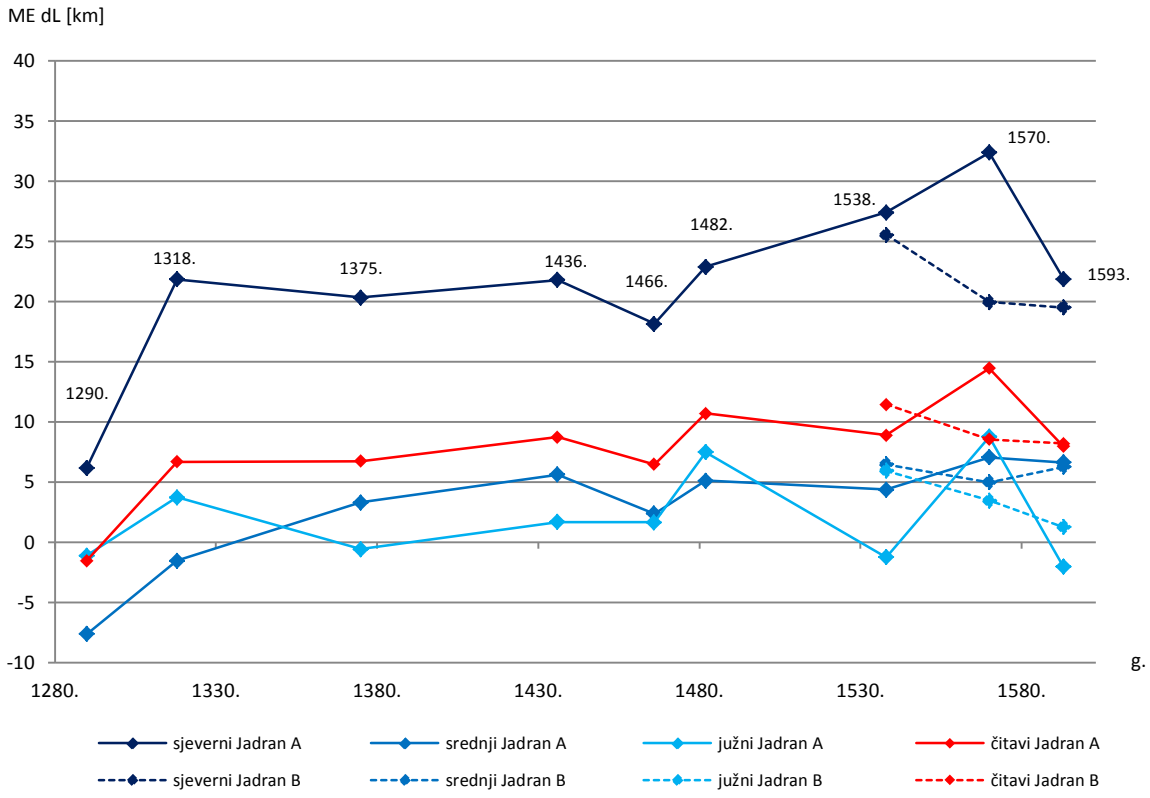
Na kartografskom prikazu stvarne točnosti kartiranja udaljenosti (Slika 5—21.) vidljivo je da je najveći dio prekomorskih linija prikazan duljim u odnosu na referentne vrijednosti, s time da su prekomorske linije sjevernog dijela kartirane s istaknuto većim stvarnim pogreškama, s iznosima većim od +20,1 km. Prekomorske linije južnog dijela Jadrana bliže su referentnim vrijednostima, pri čemu se iznosi *dL* za to područje kreću od -9,9 km do +10,0 km. Prostor srednjeg Jadrana je, prema kriteriju *dL*, najtočnije kartiran, poglavito linije između točaka Rt Gargano, Termoli, Ortona i Rt Ploča. Znakovitu specifičnost u stvarnoj točnosti kartiranja udaljenosti čini prijelaz iz južnog prema sjevernom dijelu Jadrana, gdje se, idući tim smjerom, može uočiti prijelaz iz svojevrsnog „skraćivanja“ u „produljivanje“ prikaza obalnih linija. Obalne linije južnog Jadrana su u pravilu kartirane kraće, s točnošću od -19,9 do -10,0 km, obalne linije srednjeg Jadrana često imaju točnost od -9,9 do +10,0 km, dok one sjevernog Jadrana imaju točnost koja nerijetko prelazi +20,1 km.



Slika 5—21. Prostorna raspodjela stvarnih pogrešaka kartiranja udaljenosti identičnih linija u odnosu na duljine referentnih linija (*dL*).

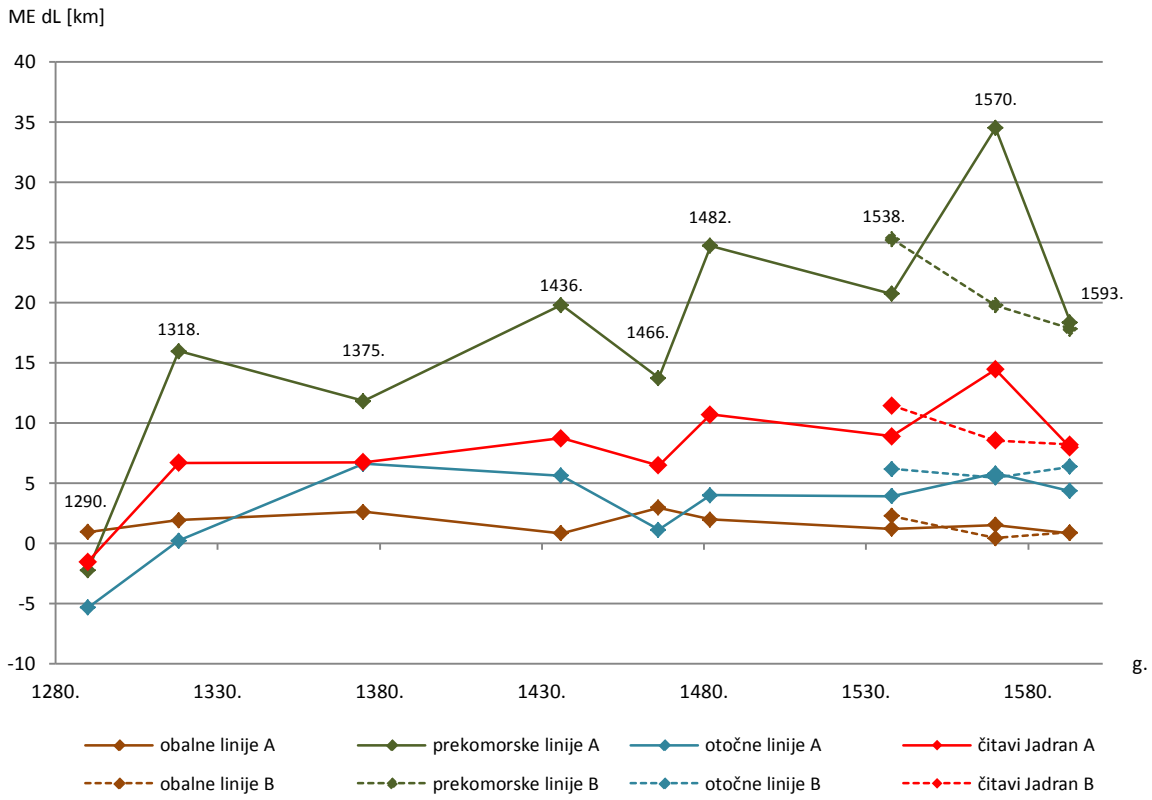
Na kronološkom prikazu stvarne točnosti kartiranja udaljenosti pri podjeli Jadranskog mora na sjeverni, srednji i južni dio (Slika 5—22.), vidljivo je da ukupne pogreške prikaza, izuzev karte PK 1290., imaju pozitivne iznose. Pojednostavljeno govoreći, Jadransko more je na gotovo svim portulanskim kartama prikazano s većom ukupnom duljinom obalne crte naspram duljine u referentnoj projekciji. Pritom se najviše ističu izrazite pozitivne pogreške prikaza duljina sjevernog dijela Jadranskog mora. Drugim riječima, stvarna točnost kartiranja udaljenosti za sjeverni Jadran je izrazito manja od stvarne ukupne točnosti i to tako da su udaljenosti prikazane duljima od onih na referentnoj projekciji. „Produljivanje i proširivanje“ sjevernog Jadrana izračunano je na svim kartama. Na karti PV 1318. i kasnijim iznos *ME dL* za sjeverni Jadran je približno jednak u iznosu od oko +23,0 km, dok na kartama A2 ta pogreška iznosi +27,2 km. S druge strane, udaljenosti koje se odnose na srednji dio Jadranskog mora

prikazane su također duljima od referentnih, no s iznadprosječnim iznosima točnosti prema *ME dL* (poglavito na kartama PV 1318. i KA 1375.), dok se točnost linija južnog dijela kreće unutar iznosa od +2,4 km, pri čemu je na pojedinim kartama vidljivo i skraćivanje prikaza udaljenosti za taj dio Jadrana.



Slika 5—22. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora.

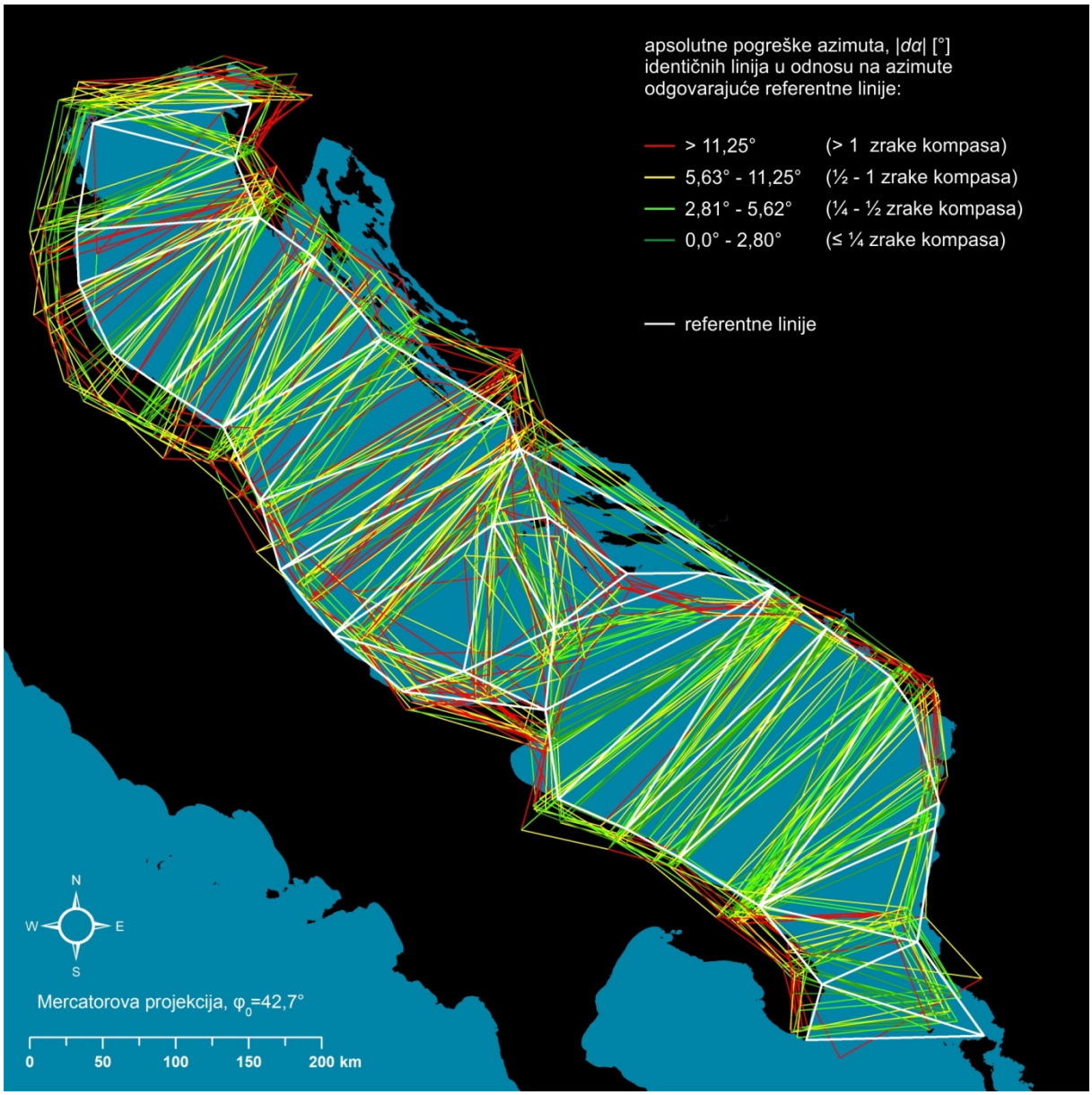
Na kronološkom prikazu stvarnih pogrešaka kartiranja udaljenosti, pri podjeli linija u mreži na obalne, prekomorske i otočne, vidljivo je da je točnost redovito najveća za obalne linije, a najmanja za prekomorske linije pri čemu postoji blagi trend porasta tih pogrešaka (Slika 5—23.). Stvarne pogreške udaljenosti za otočne linije ponešto su veće od pogrešaka za obalne linije. Pritom valja naglasiti da te linije, iako iznosom kraće od prekomorskih, strogo definirano također spadaju u „prekomorske linije“. Kada se taj prikaz usporedi s prethodnim (Slika 5—22.), vidljivo je da se najveći dio pogrešaka u kartiranju prekomorskih udaljenosti odnosi gotovo isključivo na sjeverni dio Jadranskog mora. Naime, mreža linija na svojem sjevernom i južnom dijelu ne sadrži otočne linije, pa je stoga vrlo jednostavno zaključiti da je mala stvarna točnost kartiranja udaljenosti za sjeverni Jadran u čvršćoj korelaciji s malom stvarnom točnošću kartiranja udaljenosti za prekomorske linije nego s većom stvarnom točnošću kartiranja prekomorskih udaljenosti za južni dio Jadranskog mora.



Slika 5—23. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti za obalne, prekomorske i otočne linije.

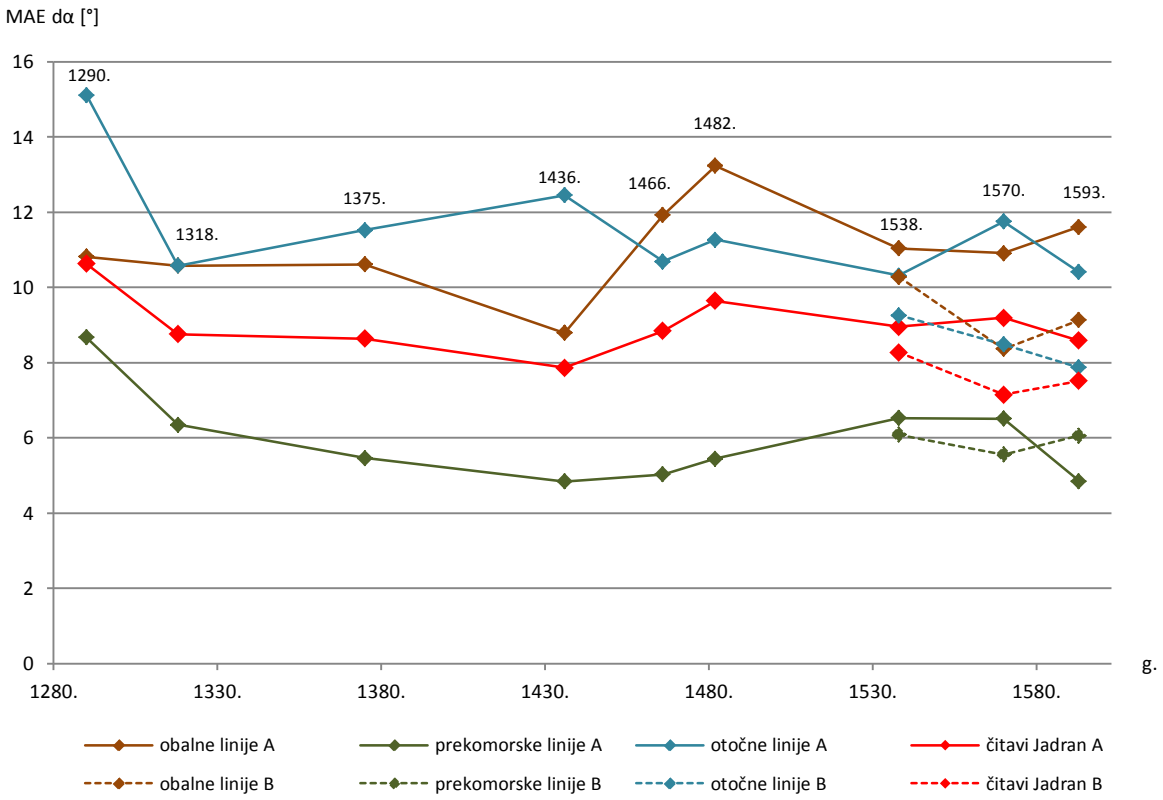
5.3.2 REGIONALNO–FUNKCIONALNE RAZLIKE U TOČNOSTI KARTIRANJA AZIMUTA

Na temelju iznosa azimuta linija referentne mreže i azimuta linija identičnih mreža izračunana je točnost kartiranja azimuta po metodi *MAE dα* [°]. Korištenjem te metode pogreške kartiranja azimuta su apsolutne, što znači da se pritom uzima u obzir iznos pogreške, a zanemaruje njezin smjer. Odnosno, zanemaruje se podatak je li ona u odnosu na azimut referentne linije nastala u smjeru kazaljke na satu ili obrnuto. Na kartografskom prikazu tog izračuna za odabrane portulanske karte u odnosu na referentnu Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° (Slika 5—24.) vidljivo je da je apsolutna točnost kartiranja azimuta razmjerno niska za područje srednjeg Jadrana, ne samo za otočne linije, već i za obalne linije Rt Gargano – Termoli ili Giulianova – Rt Ploča. Točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija razmjerno je visoka. U velikom broju slučajeva pogreška je manja od 5,62° (nerijetko manja od 2,80°), a vrijednosti su razmjerno slične i za sjeverni i za južni dio Jadranskog mora. Taj podatak je znakovit s obzirom na prethodno prikazane izrazite razlike u točnosti kartiranja položaja i kartiranja udaljenosti između ta dva dijela Jadranskog mora.

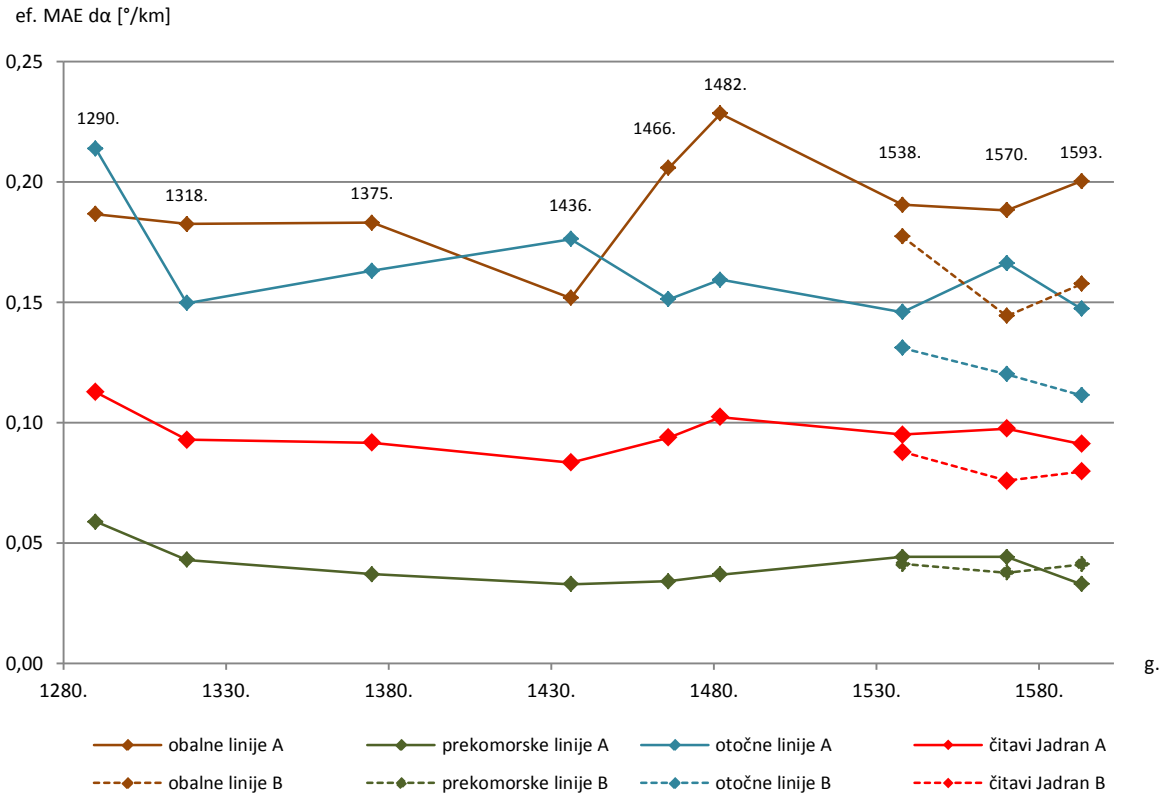


Slika 5—24. Prostorna raspodjela apsolutnih pogrešaka kartiranja azimuta identičnih linija (|dα|) u odnosu na azimute referentnih linija.

Na prikazu točnosti kartiranja azimuta uz pomoć dijagrama (*MAE dα*), pri funkcionalnoj podjeli linija na obalne, otočne i prekomorske, vidljivo je da je točnost gotovo dvostruko veća za prekomorske linije (5,9°), u odnosu na točnost obalnih (10,6°) i otočnih linija (10,8°) (Slika 5—25.). Ako se taj parametar prikaže kao *efektivna točnost kartiranja azimuta* (*ef. MAE dα*) [°/km] (dobiven tako da se *MAE dα* podijeli s prosječnom duljinom pripadajućih linija [km] na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1), proizlazi da je efektivna točnost azimuta prekomorskih linija (s *ef. MAE dα* od 0,04°/km) za 3,7 puta veća od efektivne točnosti azimuta otočnih linija (s *ef. MAE dα* od 0,15°/km) i 4,5 puta veća od efektivne točnosti azimuta obalnih linija (s *ef. MAE dα* od 0,18°/km) (Slika 5—26.).



Slika 5—25. Srednje apsolutne pogreške kartiranja azimuta za obalne, prekomorske i otočne linije.



Slika 5—26. Efektivne srednje apsolutne pogreške kartiranja azimuta za obalne, prekomorske i otočne linije (s obzirom na prosječnu duljinu pripadajućih linija [km] na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1).

5.3.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Točnost prikaza duljina na odabranim portulanskim kartama najmanja je za sjeverni dio Jadranskog mora, pri čemu postoji trend povećanja točnosti prikaza od sjevernog prema južnom dijelu. Ta vrijednost, izračunana kao apsolutna točnost kartiranja udaljenosti (*MAE dL*), za sjeverni dio u prosjeku iznosi 23,8 km, za srednji 13,5 km, a za južni 12,7 km. Prema rezultatima izračuna stvarne točnosti kartiranja udaljenosti (*ME dL*) proizlazi da su linije sjevernog dijela Jadranskog mora kartirane s prosječnom pogreškom od +21,5 km, linije srednjeg dijela s prosječnom pogreškom od +3,6 km, a linije južnog dijela s prosječnom pogreškom od +2,4 km.

S obzirom na to da je u prethodnom poglavlju dokazana izrazita varijabilnost u točnosti kartiranja srednjeg dijela Jadrana, osobito njegova otočnog prostora na pojedinim odabranim portulanskim kartama, statistički je prikladnije međusobno usporediti točnost kartiranja sjevernog i južnog dijela Jadranskog mora, budući da oni (prema metodologiji istraživanja) sadrže samo obalne i prekomorske[30] linije. Prema kriteriju *ME dL*, prekomorske linije sjevernog Jadrana imaju prosječnu pogrešku od +36,0 km, a južnog od +9,8 km (Slika 10—14.). Obalne rute sjevernog Jadrana kartirane su s prosječnom pogreškom od +10,3 km a, a južnog od -4,8 km (Slika 10—15.). Ta razlika uočljiva je na svim kartografskim prikazima pogrešaka kartiranja gdje je vidljivo da se identične linije Rt Gargano – Dubrovnik nalaze južnije, a identične linije trokuta Otranto – Rt Karaburun – Krf sjevernije od pripadajućih im referentnih linija. Na sjevernom dijelu Jadranskog mora vidljivo je zamjetno produljenje prekomorskih linija prosječne portulanske karte u smjeru kopna uzduž čitave obale (Slika 4—3., Slika 5—11.).

Na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° prosječna duljina odabranih referentnih prekomorskih linija u mreži iznosi 124,5 km za sjeverni Jadran i 155,1 km za južni Jadran. Pritom treba naglasiti da je na karti u toj projekciji prikaz duljina sjeverno od φ=42,7° N uvećan, a južno od φ=42,7° N umanjen u odnosu na mjerilo karte, tj. prema prostornoj raspodijeli deformacija prikaza udaljenosti geometrijski je vrlo sličan raspodijeli deformacija prikaza udaljenosti na portulanskim kartama. Kada bi se kao referentna projekcija upotrijebila, primjerice, kosa gnomonska projekcija φ_0=+42,7°, λ_0=+16° (na kojoj su deformacije prikaza duljina u odnosu na duljine na referentnom elipsoidu manje nego na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°), odstupanja u kartiranju sjevernog i južnog dijela Jadranskog mora na portulanskim kartama bila bi ponešto izrazitija. Na karti u kosoj gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16° prosječna duljina odabranih referentnih prekomorskih linija iznosi 120,7 km za sjeverni Jadran (razlika od -3,8 km naspram Merc.

[30] Linija Otranto – Krf je zbog blizine otoka Krfa kopnu tretirana kao prekomorska, a ne otočna linija. Ista kategorizacija primijenjena je i za sve prekomorske linije koje uključuju (otočne) točke Unije, Premuda i Veli Rat.

φ_0=42,7°) i 158,8 km za južni Jadran (razlika od +3,7 km naspram Merc. φ_0=42,7°). Drugim riječima, odabrane prekomorske linije južnog Jadrana su na referentnom elipsoidu (uvjetno rečeno) dulje od prekomorskih linija sjevernog Jadrana za oko 38 km (na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° dulje su za 30,6 km), no one su tijekom tri stoljeća kontinuirane produkcije portulanskih karata (izuzev karte PK 1290.), u odnosu na prekomorske linije sjevernog Jadrana, prikazivane duljima za (samo) 4,4 km. Naime, prosječna duljina odabranih prekomorskih linija na portulanskim kartama georeferenciranim na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° iznosi 160,5 km za sjeverni i 164,9 km za južni dio Jadranskog mora

Pojednostavljeno govoreći, sjeverni dio bazena Jadranskog mora je (s obzirom na odabrani uzorak prekomorskih linija) u referentnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° prikazan 30,6 km (24,6 %) „užim“ od južnog dijela, dok je na portulanskim kartama on prikazan „užim“ za (samo) 2,7 %. Razlog tomu je što je prikaz sjevernog Jadrana na portulanskim kartama u odnosu na kartu u referentnoj projekciji „proširen“ za 28,9 %, a prikaz južnog za 6,3 %. Također, obala sjevernog Jadrana je u prosjeku kartirana 10,3 km duljom, a južna 4,8 km kraćom u odnosu na odabrane ekvivalentne im referentne duljine. Prosječna duljina tih linija na referentnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° iznosi 47,7 km na sjevernom i 53,4 km na južnom dijelu Jadrana, dok na portulanskim kartama te vrijednosti iznose 58,0 km za sjeverni i 48,6 km za južni dio. Drugim riječima, sjeverni dio Jadranskog mora je na portulanskim kartama „produljen“ za 21,5 %, a južni „skraćen“ za 9,9 %.

Apsolutna točnost kartiranja azimuta, s druge strane, pokazuje ujednačeniju raspodjelu pogrešaka kartiranja na čitavom prostoru istraživanja nego što je to slučaj za točnost kartiranja udaljenosti. Točnost kartiranja azimuta (*MAE dα*) iznosi 9,2 ° za sjeverni, 9,7° za srednji i 7,7° za južni dio Jadranskog mora. Vidljivo je da točnost kartiranja azimuta za sjeverni i srednji dio Jadranskog mora ima vrlo sličnu vrijednost.

Točnost kartiranja azimuta na srednjem dijelu Jadrana manja je zbog razmjerno manje točnosti kartiranja azimuta otočnih linija čija prosječna pogreška iznosi 10,8° (0,15°/km). Točnost kartiranja azimuta svih prekomorskih linija na portulanskim kartama iznosi 5,9° (0,04°/km), i veća je od kartiranja obalnih linija s prosječnom točnošću od 10,6° (0,18°/km). Na sjevernom Jadranu obalne linije imaju prosječnu točnost *MAE dα* od 11,7°, a prekomorske od 7,3°, dok na južnom dijelu *MAE dα* obalnih linija iznosi 11,0°, a prekomorskih 5,1°. Pritom je potrebno naglasiti da na uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° prosječna duljina svih obalnih linija u mreži iznosi 58,0 km, a prekomorskih 147,8 km (prekomorske linije prosječno su dulje od obalnih oko 2,5 puta) te da je prilikom prekomorske plovidbe broj točaka koje mogu poslužiti kao orijentiri prilikom navigacije u pravilu mnogo manji do nepostojeći, poglavito pri plovidbi otvorenim morem na većim udaljenostima od obale.

Rezultati o iznimnoj točnosti prekomorskih azimuta potvrđuju hipotezu o konstrukciji portulanskih karata tako da su loksodrome prikazivane kao ravne crte. H. Wagner je ukazao da bi sličnost portulanskih karata s Mercatorovom projekcijom postojala kada bi se utvrdilo

povećanje razmaka među paralelama u smjeru od juga prema sjeveru, pri čemu u svojem istraživanju nije dobio takve rezultate pa je zaključio da portulanske karte ne mogu biti izrađene u konformnoj cilindričnoj projekciji (Wagner, 1896. (1969.): 480). Međutim, njegov rad temeljen je na analognim metodama sa znatno manjom točnošću u odnosu na točnost koju je moguće postići pri uporabi računala. S druge strane, kasniji autori, primjerice S. A. Loomer i R. Nicolai su, koristeći sofisticiran računalni pristup, izračunali izrazitu sličnost između portulanskih karata i prikaza obalne crte na uspravnoj Mercatorovoj projekciji (Loomer, 1987.: 144-146; Nicolai, 2014.: 407).

Premda je ovo istraživanje izvršeno na prostoru relativno malog obuhvata, rezultati dobiveni na temelju njegove regionalno–funkcionalne podjele jasno upućuju na izrazitu sličnost geometrije portulanskih karata i uspravne Mercatorove projekcije iz dva razloga. Jedan razlog je visoka i ujednačena točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija, što svakako upućuje na nastojanje da se loksodrome na karti prikažu kao ravne crte. Drugi razlog je razlika u prikazu duljina tako da su udaljenosti na karti prikazane sve duljima promatrajući prikazani prostor od juga prema sjeveru. Premda istočna obala kopna i otoci unutarnjih morskih voda na potezu Pula – Rt Ploča – Dubrovnik nisu uzeti u obzir prilikom kartometrijske analize, ekstrapolacijom podataka prvog reda točnosti vektoriziranjem obalne crte na portulanskim kartama (Slika 10—11., Slika 10—12. i Slika 10—13.), vidljivo je da i na tom dijelu prostora postoji postupno povećanje prikaza duljina u smjeru od jugoistoka prema sjeverozapadu.

ZAKLJUČCI

6) *Prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama produkt je definiranog postupka projiciranja plohe sfere ili elipsoida u ravninu primjenom cilindrične kartografske projekcije koja je temeljno konformna. Dokaz toga su približno jednaka prostorna raspodjela točnosti prikaza azimuta za prekomorske linije na sjevernom i južnom dijelu prikazanog prostora uz istodobno sustavno povećanje pozitivnih deformacija prikaza udaljenosti u smjeru od juga prema sjeveru.*

7) *Točnost kartiranja azimuta pučinskih otoka srednjeg Jadrana i obalnih linija niža je od prosječne točnosti kartiranja azimuta, a najveća točnost kartiranja azimuta izračunana je za prekomorske linije.*

6 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA

Rezultati kartometrijske analize portulanskih karata iz prethodnog poglavlja daju mnoge informacije o odnosu između geometrije odabranih portulanskih karata i geometrije odabranih referentnih projekcija, poglavito geometrije uspravne Mercatorove projekcije (φ_0=42,7°). Međutim, ti rezultati vrijede za virtualno georeferencirano okruženje i na temelju njih nije moguće izvesti relevantne zaključke o tome kolika je bila upotrjebljivost tih karata kao navigacijskih pomagala tijekom razdoblja njihove izrade. Da bi se izveli valjani zaključci o njihovoj upotrjebljivosti, istraživanje je potrebno nadopuniti dodatnim analitičkim postupcima unutar kojih prethodno izračunane parametre geometrije tih karata valja usporediti s određenim skupovima podataka (engl. *datasets*) koji se odnose na parametre iz prostora vezane uz navigaciju. U tu su svrhu odabrani sljedeći skupovi podataka: fizičke dimenzije portulanskih karata, vrijednosti magnetske deklinacije iz razdoblja izrade odabranih karata, vidljivost reljefa kopna i otoka s mora te zapisi o kursovima i udaljenostima u portulanima izrađenim u vrijeme izrade portulanskih karata.

Kontinuitet uporabe karata kao navigacijskih pomagala, prema poznatim zapisima, zasigurno datira od kraja 13. st., što ne znači nužno da su to prvi slučajevi uporabe karata pri navigaciji uopće. S obzirom na izrazitu pomorsku orijentiranost naroda Sredozemlja u antici, primjerice Feničana i Grka, mogućnost da uporaba karata u navigacijske svrhe datira još iz tog razdoblja, npr. kao grafički prilog (ili prilozi) Pseudo-Skilakovom *Periplusu*[31] (Taylor, 1957.: 55) ili kao spomenuti pomorski kartografski opus Marina iz Tira koji je pretpostavio Nordenskiöld, ne može se sa sigurnošću demantirati, iako nisu sačuvani izravni materijalni dokazi koji to potvrđuju. Primjerice, B. Kotruljević je zapisao da su pomorske karte nasljeđe kartografije K. Ptolemeja (Kotruljević, 1464. (2005.): 217, 219), a budući da je sam Ptolemej tvrdio da je brojne podatke preuzeo od Marina iz Tira (Breggren i Jones, 2000.: 3, 23, 63-64), potencijalnu poveznicu portulanskih karata s antičkom kartografijom nije razborito ignorirati. Također, u pojedinim kartometrijskim istraživanjima portulanskih karata, počevši od onog H. Wagnera (Wagner, 1896. (1969.)) pa do R. Nicolaijevog (Nicolai, 2014.), izvedeni zaključci ukazuju na izrazitu mogućnost više ili manje izravnog utjecaja kartografskih postignuća iz antike na izradu portulanskih karata u kasnom srednjem vijeku. Svakako, ono što je od primarne važnosti za ovaj dio istraživanja jest upotrjebljivost portulanskih karata kao navigacijskih pomagala u razdoblju izrade odabranih sačuvanih primjeraka, neovisno o vremenu nastanka njihovoga potencijalnog predloška. Zaključci o tome je li potencijalni predložak nastao ranije ili ne mogu se u dosadašnjem dijelu istraživanja izvesti samo sporadično, na temelju indirektnih pokazatelja poput, primjerice, stoljetnog nepostojanja povećanja točnosti prikaza te izrazite međusobne sličnosti karata.

[31] Detaljniji tekst o Pseudo-Skilakovom *Periplusu* nalazi se u poglavlju 6.4.

Instrument koji se najuže vezuje uz portulanske karte je svakako magnetski kompas. Kako je spomenuto u uvodu, jedan od prijedloga za naziv tih karata bio je *kompasne karte*, a povezanost tih dvaju navigacijskih pomagala je neupitna. Primjerice, Benedikt Kotruljević u poglavlju o pomorskoj karti (Knjiga IV) piše: *Pomorska karta, koja je svestrani vodič u našem naumu, označava tri glavne stvari, a to su: vjetrovi, milje i imena mjesta, ... jer prema oznaci vjetra s pomoću kompasa treba označiti željeno mjesto, budući da je kompas, kao što je rečeno, neophodan da se pramac usmjeri prema onom vjetru u smjeru kojega vidiš da se traženo mjesto nalazi i u pravcu kojeg kaniš ići* (Kotruljević, 1464. (2005.): 219). Drugi instrument čija se uporaba usko vezuje uz portulanske karte je šestar, o čemu Kotruljević također piše u poglavlju o pomorskoj karti (Kotruljević, 1464. (2005.): 221). Uporaba šestara vidljiva je i u atlasu Andree Bianca iz 1436. g. na dijagramu *Tondo e Quadro* (*krug i kvadrat*) (Slika 1—9.). Uporaba šestara pri korištenju portulanskih karata je u prvom redu vezana uz mjerenja udaljenosti na kartama tako da se vrijednost obuhvaćena šestarom prenosi na linearno mjerilo pomoću kojeg se potom ona preračunava na dimenzije u stvarnosti.

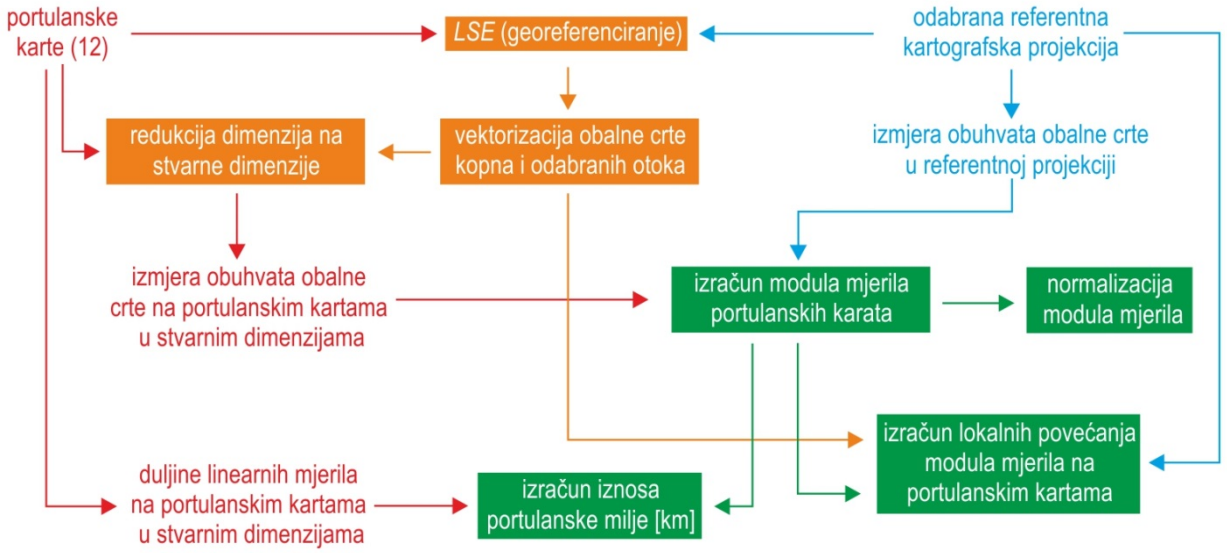
Navigacija se u kasnom srednjem i ranom novom vijeku izvodila tako da su određene forme na kopnu, primjerice reljefni oblici ili određene istaknute građevine poput zvonika crkava, bile korištene kao orijentiri prilikom plovidbe, a pri plovidbi plitkim morem mjerene su i dubine. Premda na portulanskim kartama nema egzaktnih geometrijskih oznaka reljefa, a opasnost plovidbe plitkim morem nije označena brojčanim vrijednostima dubina već točkanjem ili križićima (Campbell, 1987.: 378), njihova važnost za plovidbu vidljiva je u zapisima iz portulana. Primjerice, u portulanu *Compasso de Navegare*, stoji da se pri prilasku luci Ancona iz pravca Civitanove kursom NNW, prije grada nalazi *una montagna retonda longa*, tj. duga obla planina (Motzo, 1947.: 29). Opis se odnosi na uzvisinu Monte Conero, koja se nalazi jugoistočno od Ancone. Također, u istom portulanu stoji da je pri plovidbi iz Ancone prema Veneciji kursom NW, kada se brod nalazi na udaljenosti 20–50 milja od Ancone, potrebno nastaviti plovidbu tim kursom i pritom stalno mjeriti dubinu, jer kada ona dostigne vrijednost od 7 hvati[32] znači da je Venecija blizu, iako ju nije moguće vidjeti s mora, premda se u gradu nalazi visoki zvonik (crkve Sv. Marka) (Motzo, 1947.: 29-30; Taylor, 1957.: 107).

[32] Hvat (engl. *fathom*, tal. *passo*) je mjerna jedinica za duljinu. Hvat označava duljinu koju je moguće obuhvatiti ispruženim rukama, a njegova duljina izražena u metrima razlikovala se kroz povijest (Cardarelli, 1999.: 43). Atički grčki hvat (*orguia*), primjerice, iznosi 1,851 m, francuski hvat (*toise*) 1,949 m, a UK hvat koji je i danas u primjeni iznosi 1,828 m (i jednak je 6 stopa, tj. 72 incha) (Cardarelli, 1999.: 29-30, 79 , 491).

6.1 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA NJIHOVO MJERILO

Rezultati izračuna točnosti kartiranja položaja i udaljenosti na odabranim portulanskim kartama, prikazani u poglavljima 5.1, 5.2 i 5.3, izraženi su u kilometrima i vrijede za virtualno georeferencirano okruženje u mjerilu 1: 1, tj. M=1, koje predstavlja kartografske prikaze po dimenzijama vrlo bliske stvarnim dimenzijama Jadranskog mora kada se u obzir uzmu uvjeti projiciranja. Te vrijednosti, uvjetno rečeno, predstavljaju dimenzije u kojima se pogreške portulanskih karta reflektiraju u stvarnosti prilikom njihova korištenja u prostoru pri plovidbi. Međutim, isključivo na temelju tih vrijednosti nije moguće dobiti podatke o tome koliki su iznosi pogrešaka na samim kartama u skladu s iznosom mjerila svake pojedine karte. Također, na temelju tih podataka nije moguće izračunati ni koliki je utjecaj isticanja izgleda pojedinih dijelova obale na ukupnu točnost karte, spomenutu u uvodu u poglavlju 1.1, u svrhu čega je potrebno provesti dodatne analitičke postupke računanja.

Ukupni analitički postupak izračuna upotrjebljivosti portulanskih karata sastoji se od tri dijela (Slika 6—1.). Prvi dio čini izračun prosječnih mjerila svake od odabranih karata, u kojem su prethodno dobiveni podaci o točnosti karata [km] preračunani u dimenzije na samim kartama [mm]. Na temelju tih rezultata moguće je i teoretski utvrditi kolika bi bila točnost karata kada bi sve bile izrađene u istom mjerilu. Drugi dio postupka odnosi se na izračunavanje lokalnih povećanja mjerila na kartama s obzirom na izračunana prosječna mjerila karata. Treći dio ovog poglavlja odnosi se na izračun iznosa portulanske milje u kilometrima na temelju duljina linearnih mjerila ucrtanih na portulanskim kartama.



Slika 6—1. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na njihovo mjerilo.

6.1.1 ODREĐIVANJE MJERILA PORTULANSKIH KARATA

Iznosi mjerila portulanskih karata spomenuti su u više radova o portulanskim kartama. Primjerice, T. Campbell, navodeći P. Frabettija, kazuje da prosječna mjerila portulanskih karata iz 14. i 15. st. iznose od 1: 4.500.000 do 1: 8.000.000 (Frabetti, 1978., prema Campbell, 1987.: 391), dok u radu S. A. Loomera, kao navod R. Kelleya, stoji da je prosječan iznos mjerila 1: 6.000.000 (Kelley, 1982., prema Loomer, 1987.: 20). Prema R. Vergeru, kojeg citira C. Astengo, prosječno mjerilo karata za prikaz zapadnog Sredozemlja iznosi 1: 7.000.000, pri čemu je Verger mjerila određivao za portulanske karte pohranjene u španjolskim institucijama (Verger, 1995., prema Astengo, 2007.: 193).

Prikazani iznosi mjerila su prosječne vrijednosti, no najveći dio autora egzaktno ne navodi metodu uz pomoć koje su navedeni iznosi mjerila izračunani. Naime, izračunano mjerilo portulanskih karata u izrazitoj je ovisnosti o parametrima referentne projekcije u odnosu na koju se ono određuje. Pritom rezultati posebice variraju u ovisnosti o geografskoj širini za koju vrijedi mjerilo karte. To je posebno istaknuo R. Nicolai, izračunavši mjerila odabranih portulanskih karata u odnosu na uspravnu Mercatorovu i uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju kod kojih mjerilo vrijedi uzduž paralele φ=39°57′ (N) (Nicolai, 2014.: 263, 417).

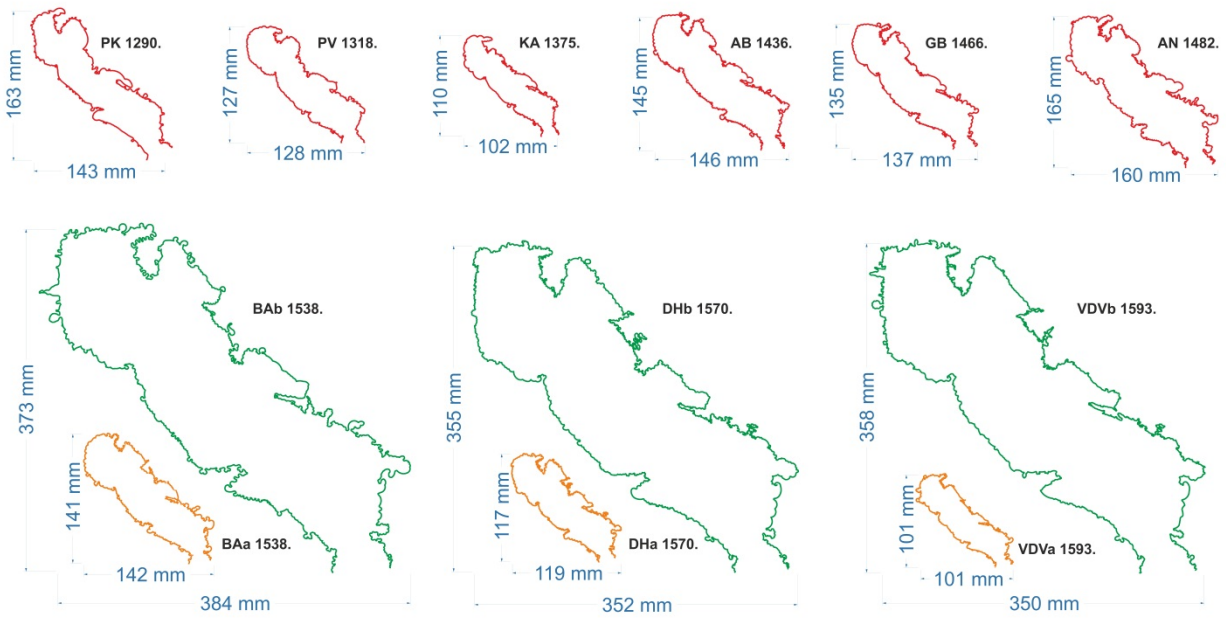
Rezultati kartometrijske analize odabranih portulanskih karata pokazali su da je njihova geometrija u najvećoj korelaciji s geometrijom prikaza Jadranskog mora u uspravnoj Mercatorovoj projekciji. U poglavlju 5.1.4 objašnjeno je da je najpouzdaniji kriterij za određivanje sličnosti geometrija dviju karata iznos pogrešaka azimuta, a ne pogrešaka položaja ili udaljenosti, što znači da je geometrija portulanskih karata najsličnija geometriji uspravne Mercatorove projekcije, neovisno o tome je li ona zadana s parametrom φ_0=42,7° ili φ_0=36°[33].

Uspravna Mercatorova projekcija φ_0=42,7° korištena je u istraživanju kao referentna projekcija zbog vjernijeg prikaza duljina za prostor istraživanja naspram prikaza pri φ_0=36°, no u svrhu izračunavanja mjerila portulanskih karata potrebno je izvršiti dvije odvojene usporedbe fizičkih dimenzija karata. Jedna usporedba pritom vrijedi u odnosu na Mercatorovu projekciju zadanu s φ_0=42,7°, a druga u odnosu na Mercatorovu projekciju zadanu s φ_0=36°. Izračunana mjerila portulanskih karata imaju različite rezultate u ovisnosti o parametrima referentne projekcije, no bez obzira na njihov iznos, njihove vrijednosti su točne u oba slučaja, naravno, u skladu s točnošću primijenjene metode izračuna.

Izračunavanje mjerila portulanskih karata izvršeno je u nekoliko koraka. Ručno vektorizirani prikazi obalne crte kopna na georeferenciranim portulanskim kartama

[33] Ovaj podatak vrijedi samo za Mercatorovu projekciju zbog njezine konformnosti, neovisno o geografskoj širini za koju vrijedi mjerilo karte, što ne vrijedi, primjerice, za uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju. Utjecaj parametra φ_0 na izgled stupanjske mreže svake od tih projekcija detaljno je objašnjen na više mjesta u poglavlju 5.1.

reducirani su na fizičke dimenzije njihovog prikaza na portulanskim kartama pri čemu su im izmjereni obuhvati po X-osi i po Y-osi [mm] i uspoređeni s obuhvatom po X-osi i po Y-osi [km] na referentnoj uspravnoj Mercatorovoj projekciji zadanoj s φ_0=42,7° i s φ_0=36°. Nužan preduvjet koji je pritom potrebno ispuniti jest da prilikom izmjere obuhvata vektorizirani prikaz obalne crte zadrži iznos rotacije u smjeru kazaljke na satu nastao u postupku *LSE* u svrhu georeferenciranja (*min. RMSE Re*), jer su tada pogreške obuhvata u odnosu na prikaz na karti u referentnoj projekciji najmanje. Na temelju izmjera obuhvata prikaza obale kopna Jadranskog mora na portulanskim kartama vidljivo je da je on na kartama skupine A vrlo sličnih dimenzija, dok su dimenzije prikaza na kartama iz skupine B oko tri puta veće (Slika 6—2.).



Slika 6—2. Umanjeni prikaz stvarnih dimenzija obuhvata obalne crte kopna Jadranskog mora na odabranim portulanskim kartama s rotacijom θ u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°). Portulanske karte su bojama podijeljene na karte A1 (crvena), karte A2 (narančasta) i karte B (zelena).

Kao granične točke određene su Marina di Ravenna, Italija (W) i Shëngjin, Albanija (E) za izmjeru obuhvata po X-osi te Caorle, Italija (N) i Capo Santa Maria di Leuca, Italija (S) za izmjeru obuhvata po Y-osi na kartama u referentnoj projekciji i na portulanskim kartama. Pritom na portulanskim kartama nisu obuhvaćeni predimenzionirani lukovi zaljeva, koji prikazuju lokalna povećanja mjerila, već su granične točke uzete na sredini crte koja spaja rubove zaljeva. U odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° (M=1) zaokruženo prosječno mjerilo karata A1 iznosi 1: 4.600.000, karata A2 1: 5.300.000, a karata B 1: 1.720.000 (Tablica 6—1.). U odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36° (M=1) zaokruženo prosječno mjerilo karata A1 iznosi 1: 5.050.000, karata A2 1: 5.800.000, a karata B 1: 1.900.000 (Tablica 6—2.).

Tablica 6—1. Određivanje mjerila portulanskih karata na temelju razlike obuhvata obalne crte kopna Jadranskog mora na rotiranim portulanskim kartama i obuhvata na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1.

KARTA		OBUHVAT NA KARTI [mm] X-os	Y-os	MODUL MJERILA PREMA OBUHVATU JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA M X-os*	M Y-os**	AVG M	≈AVG M	ef. M [km/mm]	POGREŠKA KARTE MAE dL [km]	MAE dL M [mm]
PK	**1290.**	143	163	4.209.790	3.963.190	4.086.490	**4.100.000**	**4,1**	**14,3**	**3,5**
PV	**1318.**	128	127	4.703.125	5.086.614	4.894.870	**4.900.000**	**4,9**	**16,5**	**3,4**
KA	**1375.**	102	110	5.901.961	5.872.727	5.887.344	**5.900.000**	**5,9**	**13,7**	**2,3**
AB	**1436.**	146	145	4.123.288	4.455.172	4.289.230	**4.300.000**	**4,3**	**14,6**	**3,4**
GB	**1466.**	137	135	4.394.161	4.785.185	4.589.673	**4.600.000**	**4,6**	**12,4**	**2,7**
AN	**1482.**	160	165	3.762.500	3.915.152	3.838.826	**3.800.000**	**3,8**	**16,6**	**4,4**
AVG A1						4.597.739	**4.600.000**	**4,6**	**14,7**	**3,3**
BA a	**1538.**	142	141	4.239.437	4.581.560	4.410.498	**4.400.000**	**4,4**	**16,4**	**3,7**
DH a	**1570.**	119	117	5.058.824	5.521.368	5.290.096	**5.300.000**	**5,3**	**21,4**	**4,0**
VDV a	**1593.**	101	101	5.960.396	6.396.040	6.178.218	**6.200.000**	**6,2**	**14,6**	**2,4**
AVG A2						5.292.937	**5.300.000**	**5,3**	**17,5**	**3,4**
BA b	**1538.**	384	373	1.567.708	1.731.903	1.649.806	**1.650.000**	**1,7**	**17,3**	**10,5**
DH b	**1570.**	352	355	1.710.227	1.819.718	1.764.973	**1.750.000**	**1,8**	**15,6**	**8,9**
VDV b	**1593.**	350	358	1.720.000	1.804.469	1.762.235	**1.750.000**	**1,8**	**15,6**	**8,9**
AVG B						1.725.671	**1.720.000**	**1,7**	**16,2**	**9,4**

* Obuhvat Jadranskog mora u Mercatorovoj projekciji ϕ_0=42,7° (M=1) po X-osi s graničnim točkama Marina di Ravenna, ITA (W) Shëngjin, ALB (E) iznosi **602 km.**

** Obuhvat Jadranskog mora u Mercatorovoj projekciji ϕ_0=42,7° (M=1) po Y-osi s graničnim točkama Capo Santa Maria di Leuca, ITA (S) i Caorle, ITA (N) iznosi **646 km.**

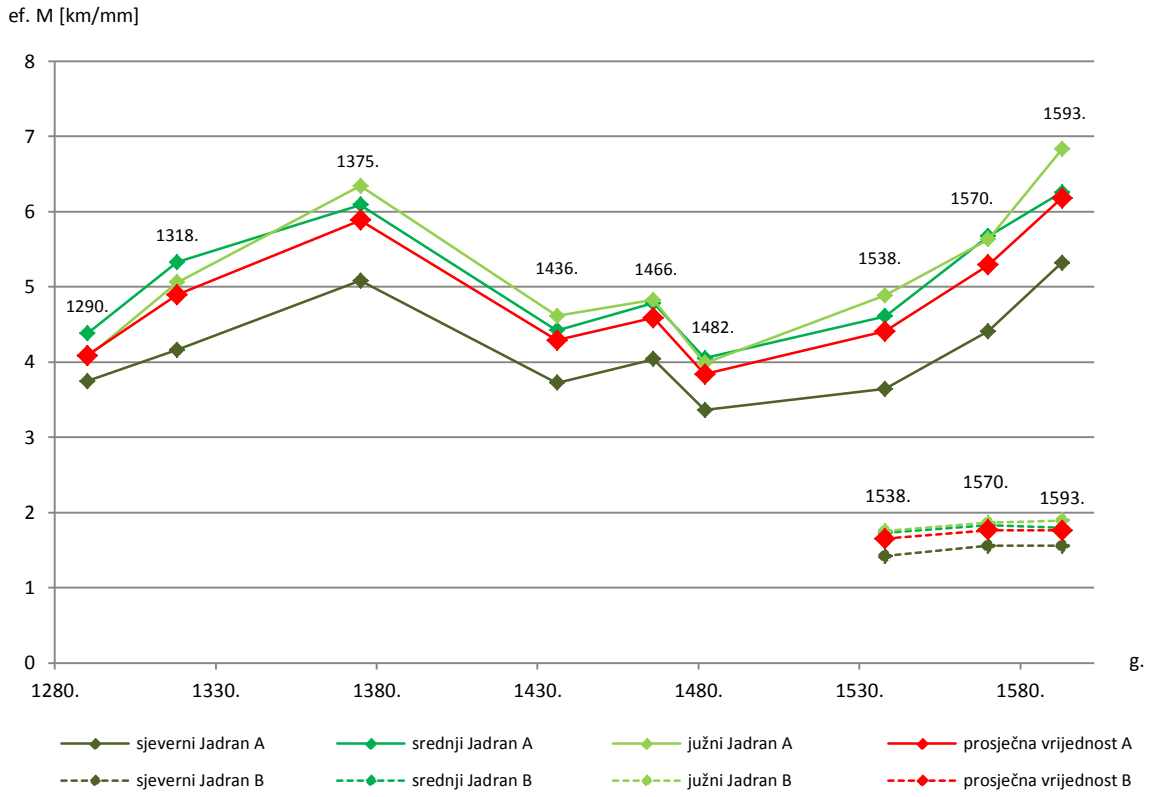
Tablica 6—2. Određivanje mjerila portulanskih karata na temelju razlike obuhvata obalne crte kopna Jadranskog mora na rotiranim portulanskim kartama i obuhvata na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=36°, M=1.

KARTA		OBUHVAT NA KARTI [mm] X-os	Y-os	MODUL MJERILA PREMA OBUHVATU JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA M X-os*	M Y-os**	AVG M	≈AVG M	ef. M [km/mm]	POGREŠKA KARTE MAE dL [km]	MAE dL M [mm]
PK	**1290.**	143	163	4.629.371	4.355.828	4.492.599	**4.500.000**	**4,5**	**15,7**	**3,5**
PV	**1318.**	128	127	5.171.875	5.590.551	5.381.213	**5.400.000**	**5,4**	**18,2**	**3,4**
KA	**1375.**	102	110	6.490.196	6.454.545	6.472.371	**6.500.000**	**6,5**	**15,1**	**2,3**
AB	**1436.**	146	145	4.534.247	4.896.552	4.715.399	**4.800.000**	**4,8**	**16,1**	**3,4**
GB	**1466.**	137	135	4.832.117	5.259.259	5.045.688	**5.000.000**	**5,0**	**13,6**	**2,7**
AN	**1482.**	160	165	4.137.500	4.303.030	4.220.265	**4.200.000**	**4,2**	**18,2**	**4,3**
AVG A1						5.054.589	**5.050.000**	**5,1**	**16,2**	**3,3**
BA a	**1538.**	142	141	4.661.972	5.035.461	4.848.716	**4.850.000**	**4,9**	**18,0**	**3,7**
DH a	**1570.**	119	117	5.563.025	6.068.376	5.815.701	**5.800.000**	**5,8**	**23,5**	**4,1**
VDV a	**1593.**	101	101	6.554.455	7.029.703	6.792.079	**6.800.000**	**6,8**	**16,1**	**2,4**
AVG A2						5.818.832	**5.800.000**	**5,8**	**19,2**	**3,4**
BA b	**1538.**	384	373	1.723.958	1.903.485	1.813.722	**1.800.000**	**1,8**	**19,0**	**10,6**
DH b	**1570.**	352	355	1.880.682	2.000.000	1.940.341	**1.950.000**	**2,0**	**17,2**	**8,9**
VDV b	**1593.**	350	358	1.891.429	1.983.240	1.937.334	**1.950.000**	**2,0**	**17,2**	**8,8**
AVG B						1.897.132	**1.900.000**	**1,9**	**17,8**	**9,4**

* Obuhvat Jadranskog mora u Mercatorovoj projekciji ϕ_0=42,7° (M=1) po X-osi s graničnim točkama Marina di Ravenna, ITA (W) Shëngjin, ALB (E) iznosi **662 km.**

** Obuhvat Jadranskog mora u Mercatorovoj projekciji ϕ_0=36° (M=1) po Y-osi s graničnim točkama Capo Santa Maria di Leuca, ITA (S) i Caorle, ITA (N) iznosi **710 km.**

U prikazanim tablicama su, osim izračunanih modula mjerila portulanskih karata, prikazane i vrijednosti za točnosti kartiranja duljina *MAE dL* [km] pri M=1 te njihovi ekvivalenti na portulanskim kartama *MAE dL M* [mm], u skladu s iznosima mjerila svake od odabranih karata. U svrhu jednostavnijeg poimanja odnosa dimenzija na portulanskim kartama i na karti u referentnoj projekciji pri M=1, uveden je tzv. *efektivni modul mjerila karte* (*ef. M*) [km/mm]. Taj parametar predstavlja koeficijent umanjenosti prikaza na karti, tj. podatak o tome koliko kilometara na referentnoj projekciji pri M=1 predstavlja jedan milimetar na portulanskoj karti. Izračunava ga se tako da se izračunani modul mjerila svake portulanske karte podijeli s 1.000.000. Parametar *ef. M* uveden je isključivo u svrhu svođenja modula mjerila s milijunskih iznosa na jednoznamenkaste vrijednosti. Na grafičkom prikazu vrijednosti *ef. M* (Slika 6—3.), kojeg se može tumačiti i kao prikaz izračunanih modula mjerila portulanskih karata u skraćenom obliku u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°, vidljivo je da moduli mjerila portulanskih karata nemaju ujednačen iznos po čitavom polju karte. Na prikazu sjevernog dijela Jadranskog mora prosječni moduli mjerila su manji, a za srednji i južni veći od prosječnih modula karata. Drugim riječima, sjeverni dio Jadranskog mora prikazan je u krupnijem, a srednji i južni dio u ponešto sitnijem mjerilu naspram prosječnih mjerila karata kao cjelina (Slika 5—23., Slika 6—3.).

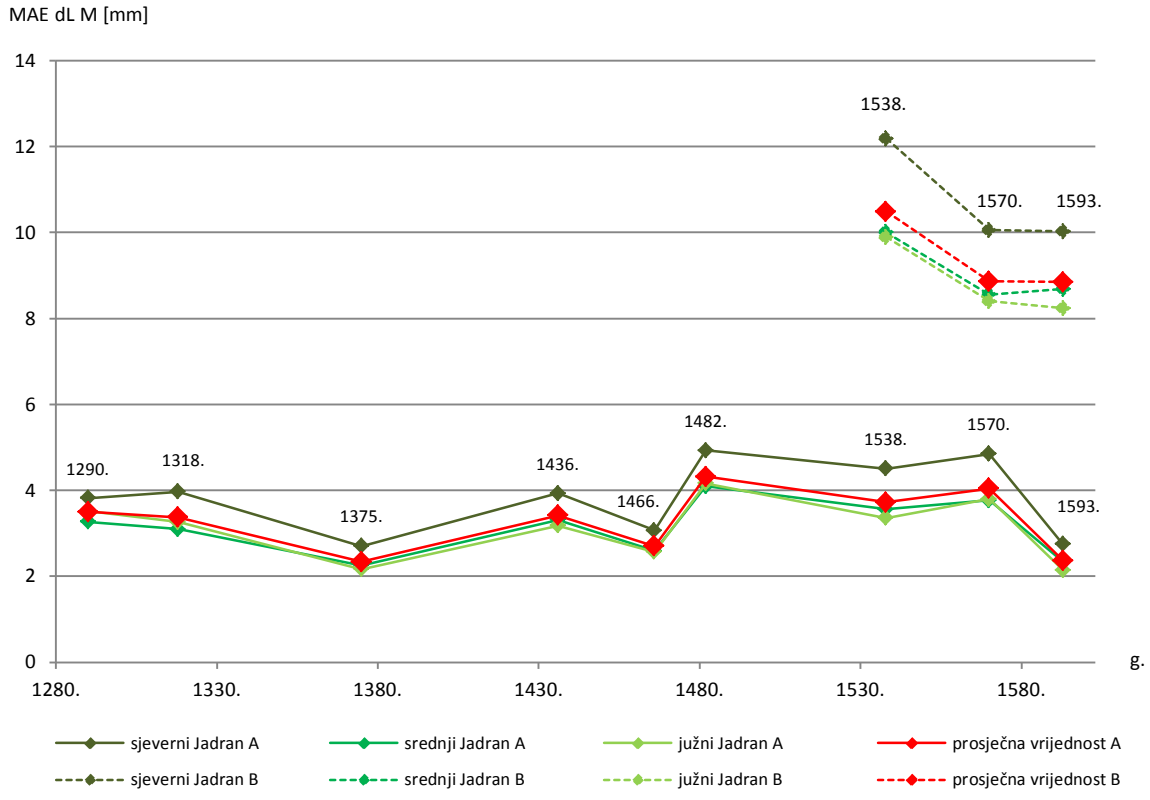


Slika 6—3. Efektivni moduli portulanskih karata (*ef. M*=M/1.000.000) – iznos duljine u kilometrima na karti u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1) po milimetru duljine na portulanskoj karti: prosječne vrijednosti za karte i vrijednosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora.

6.1.2 (NORMALIZIRANA) TOČNOST PORTULANSKIH KARATA

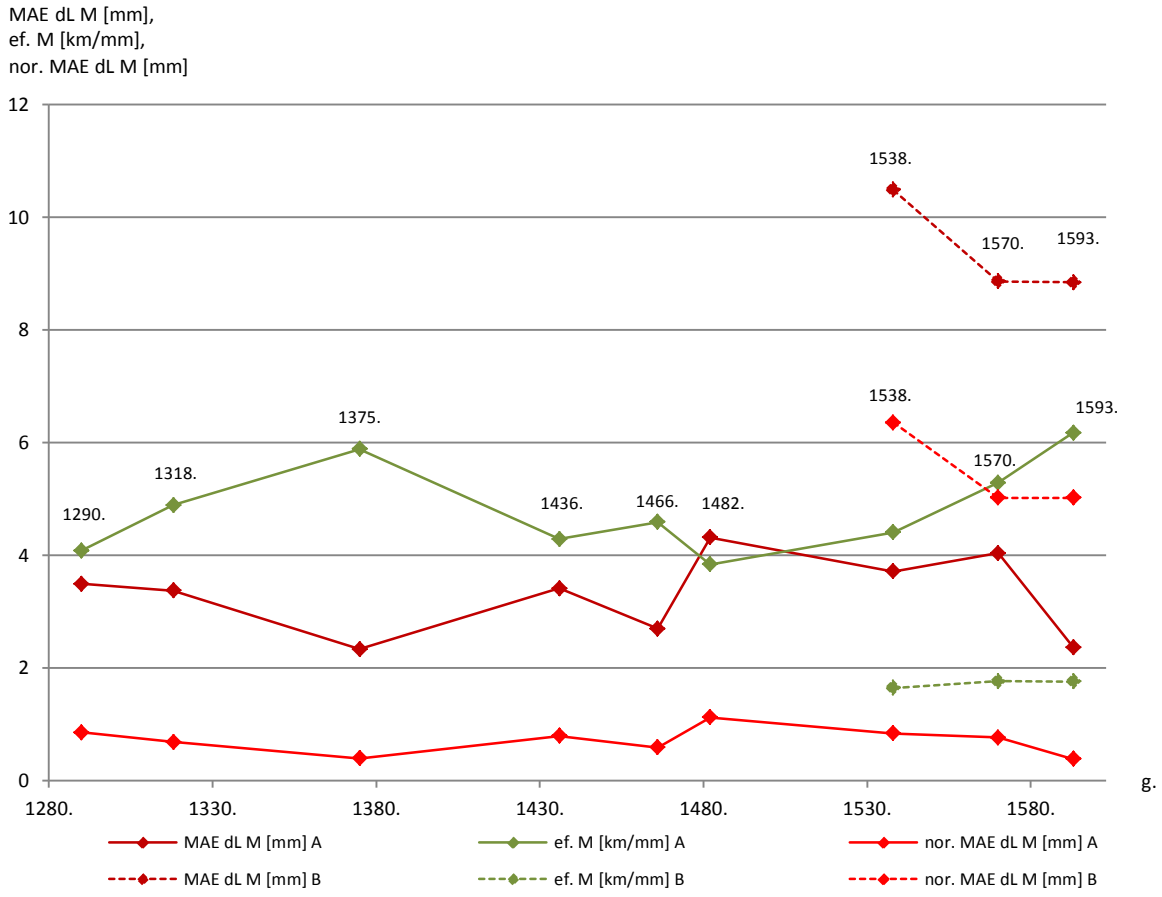
Na temelju prikazanih podataka (Tablica 6—1. i Tablica 6—2.) vidljivo je da je točnost kartiranja, iskazana kao apsolutna pogreška duljina (*MAE dL*), vrlo slična za sve portulanske karte, neovisno o njihovu mjerilu. Ona u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° (M=1) ima prosječan iznos od oko 15,8 km (15,6 km karte A i 16,2 km karte B). U odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36° (M=1), na kojoj je prikaz duljina vjeran za paralelu koja prolazi kroz Gibraltar i Rodos, no ne i za područje Jadranskog mora, prosječna *MAE dL* iznosi 17,3 km (17,2 km karte A i 17,8 km karte B). Drugim riječima, karte iz skupine A točnije su od karata iz skupine B (s obzirom na kartu u referentnoj projekciji pri M=1) za oko 0,6 km.

Kada se na temelju prosječnih izračunanih modula mjerila karata izračuna iznos točnosti kartiranja udaljenosti na samim kartama, *MAE dL M* [mm] vidljivo je da su, u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°, karte B s točnošću od 9,2 mm gotovo 3 puta manje točne od karata A koje imaju točnost od 3,3 mm. Točnost *MAE dL M* za sjeverni Jadran manja je na kartama A za oko 0,6 mm, a na kartama B za oko 1,4 mm od prosječne točnosti, odnosno za oko 14-18 % je manja neovisno o mjerilu karata, dok je točnost prikaza srednjeg i južnog dijela Jadranskog mora 4-6 % veća od prosječne točnosti karata (Slika 6—4.).



Slika 6—4. Srednje apsolutne pogreške udaljenosti na portulanskim kartama (u ovisnosti o modulima njihovih mjerila) u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1): prosječne vrijednosti za karte te vrijednosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora.

Ovi rezultati potvrda su rezultata prethodnih analiza o kronološkoj stagnaciji točnosti portulanskih karata, prikazanoj u poglavlju 5.2, no nadopunjuju ih na način da je uz pomoć ovog izračuna ustanovljen odnos stagnacije u točnosti kartiranja i mjerila portulanskih karata. Iako je logična pretpostavka da je točnost karata krupnijeg mjerila veća od točnosti karata sitnijeg mjerila, ona ne vrijedi za odabrane portulanske karte. Naime, proizlazi da je točnost prikaza duljina na pojedinoj portulanskoj karti [mm] obrnuto proporcionalna modulu njezinog mjerila podijeljenom s 1.000.000, na temelju čega je moguće zaključiti da su karte krupnijeg mjerila zapravo uvećane kopije prethodnih karata sitnijeg mjerila. To naročito dolazi do izražaja kada se modul mjerila karata normalizira na 1.000.000, pri čemu razlike u njihovoj točnosti postaju još veće – kada bi sve portulanske karte (hipotetski) bile izrađene u mjerilu 1: 1.000.000, karte A bi imale prosječnu točnost *nor. MAE dL M* od 0,7 mm, a karte B od 5,5 mm (gotovo 8 puta nižu) (Slika 6—5.).



Slika 6—5. Srednje apsolutne pogreške udaljenosti na portulanskim kartama (*MAE dL M*) u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°), efektivni moduli portulanskih karata (*ef. M*) i normalizirane srednje apsolutne pogreške duljine portulanskih karata (*nor. MAE dL M*).

6.1.3 LOKALNA POVEĆANJA MJERILA NA PORTULANSKIM KARTAMA

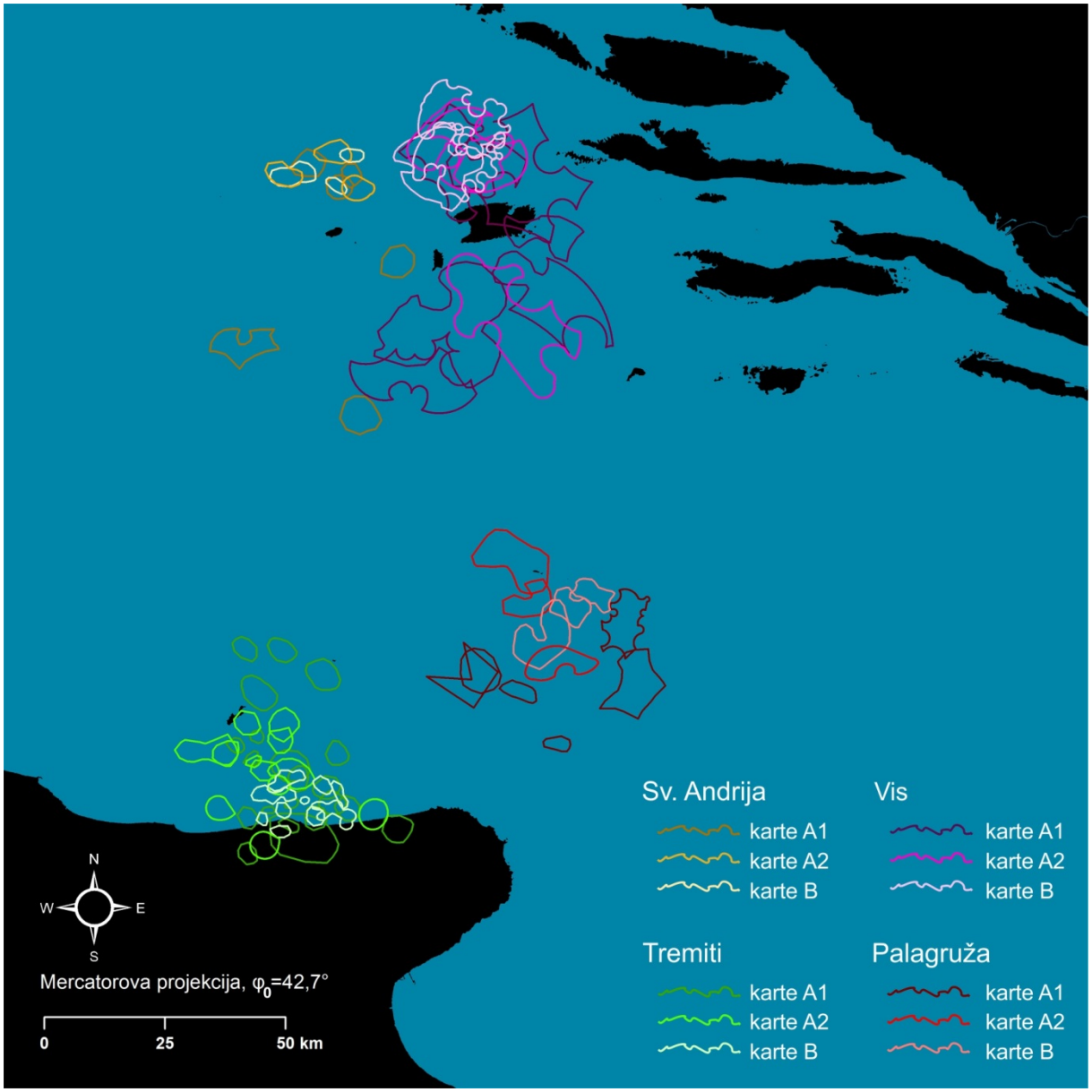
Povećanja prikaza pojedinih dijelova obale, poput uvala i rtova te manjih otoka, jedna je od specifičnosti kartografike portulanskih karata, a znanstvena tumačenja te specifičnosti su različita. Kreću se u rasponu od tumačenja da su ta povećanja posljedica autorskih iznimno detaljnih spoznaja o izgledu obalne crte, koje zastupa S. A. Loomer (Loomer, 1987.: 21-22), do tumačenja J. T. Lanmana, koji ih interpretira na način da su autori karata prikazivali obalnu crtu odviše shematizirano, bez potrebe za detaljnim prikazom, iako su, možda, poznavali prostor detaljnije (Lanman, 1987.: 43-45). Ako se tom fenomenu pristupi bez kvantitativne obrade, proizlazi da je najlogičniji povod za takvo isticanje pojedinih dijelova obale njihova veća plovidbena važnost naspram ostatka prikazanog prostora, a tu tezu zastupa i T. Campbell (Campbell, 1987.: 377). Na temelju prikupljenih prethodnih kartometrijskih istraživanja, čini se da je R. Nicolai jedini pokušao ta uvećanja prikaza prikazati kvantitativnim putem, pri čemu kazuje da ona u prosjeku iznose oko 1-2 mm na kartama, tj. oko 5-10 km u odnosu na referentnu projekciju pri M=1 (Nicolai, 2014.: 207). Nicolai u svojem radu nije specificirao razloge tih povećanja no smatra da je najvjerojatnije da su napravljena u svrhu lakšeg prepoznavanja objekata u sklopu terestričke navigacije (Nicolai, 2014.: 416).

Povećanja prikaza pojedinih dijelova obale u ovom istraživanju ograničuju rezultate analitike jer uzrokuju pogrešku pri svođenju odabranih lokacija na portulanskim kartama na identične točke, a koju je nemoguće u potpunosti ukloniti. Pritom je ta pogreška donekle umanjena standardizacijom postupka odabira točaka na sljedeći način. Identične točke koje se odnose na lučke bazene ucrtane su na polovici crte koja spaja krajnje točke prikaza tih bazena. Identične točke koje predstavljaju manje otoke ili otočja ucrtane su otprilike u geometrijskim centrima njihova prikaza, dok su na prikazu većih otoka u tu svrhu odabrane pojedine uvale ili rtovi, primjerice rt *Veli Rat* na Dugom otoku ili *Viška luka* na otoku Visu.

U rezultatima preciznosti kartiranja položaja u odnosu na prosječne portulanske karte (Slika 5—14.) i rezultatima analize regionalno–funkcionalnih razlika u točnosti kartiranja (poglavlje 5.3) vidljivo je da su devijacije točaka među pojedinim kartama najveće upravo za otoke srednjeg dijela Jadranskog mora, odabrane kao referentno-identični parovi točaka (Slika 10—13.). Pritom je točnost kartiranja udaljenosti otoka (*MAE dL* i *ME dL*) slična za većinu karata, no veće varijacije postoje u kartiranju njihova položaja, međusobno, ali i u odnosu na susjedno kopno, što se ogleda u iznimnoj varijabilnosti kartiranja azimuta (*MAE dα*), poglavito na ranijim kartama.

Za potrebe ovog istraživanja ta povećanja kvantificirana su i tretirana kao lokalna povećanja mjerila portulanskih karata s ciljem izračuna njihovih vrijednosti. Njihovo kvantificiranje izvršeno je za devet odabranih lučkih bazena kojima je na portulanskim kartama moguće jasno odrediti granice prikaza te za šest otoka pučinskog dijela srednjeg Jadrana, prethodno odabranih kao referentno-identični parovi točaka.

Za lučke bazene izmjerene su duljine crta koje povezuju krajnje točke lučkih bazena na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) te na svim georeferenciranim portulanskim kartama. *Prosječna linearna dimenzija prikaza otoka* izračunana je kao promjer kruga kojem je površina jednaka površini otoka na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) i na svakoj od georeferenciranih portulanskih karata samostalno. Taj pristup primijenjen je zbog izrazitih međusobnih razlika u prikazu obalne crte otoka na pojedinim portulanskim kartama, a prvenstveno u svrhu eliminiranja utjecaja razlika u prikazanoj „razvedenosti obalne crte" na pojedinim kartama, što je, primjerice, vidljivo na različitim prikazima otoka Palagruže na kartama iz skupine A1, ali i kasnijim kartama (Slika 6—6.).



Slika 6—6. Obalne crte 4 pučinska otoka i otočja srednjeg dijela Jadranskog mora korištena kao referentno-identični parovi točaka, podijeljenih po skupinama karata A1, A2 i B.

Povećanje mjerila pojedinih dijelova obale i otoka je za potrebe istraživanja prikazano kao *indeks lokalnog povećanja mjerila* (*ILPM*). Riječ je o parametru koji označava koliko je puta prikaz naglašenih dijelova prostora uvećan u odnosu na izračunano prosječno mjerilo portulanske karte. Prosječna lokalna mjerila u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° (M=1) iznose oko 1: 1.100.000 za lučke bazene te oko 1: 2.000.000 za otoke na kartama A1 i A2, čija prosječna mjerila iznose približno 1: 5.000.000. Na kartama iz skupine B s prosječnim približnim mjerilom od 1: 1.700.000 prosječna lokalna mjerila lučkih bazena u prosjeku iznose oko 1: 600.000, a otoka oko 1: 900.000 (Tablica 6—3.).

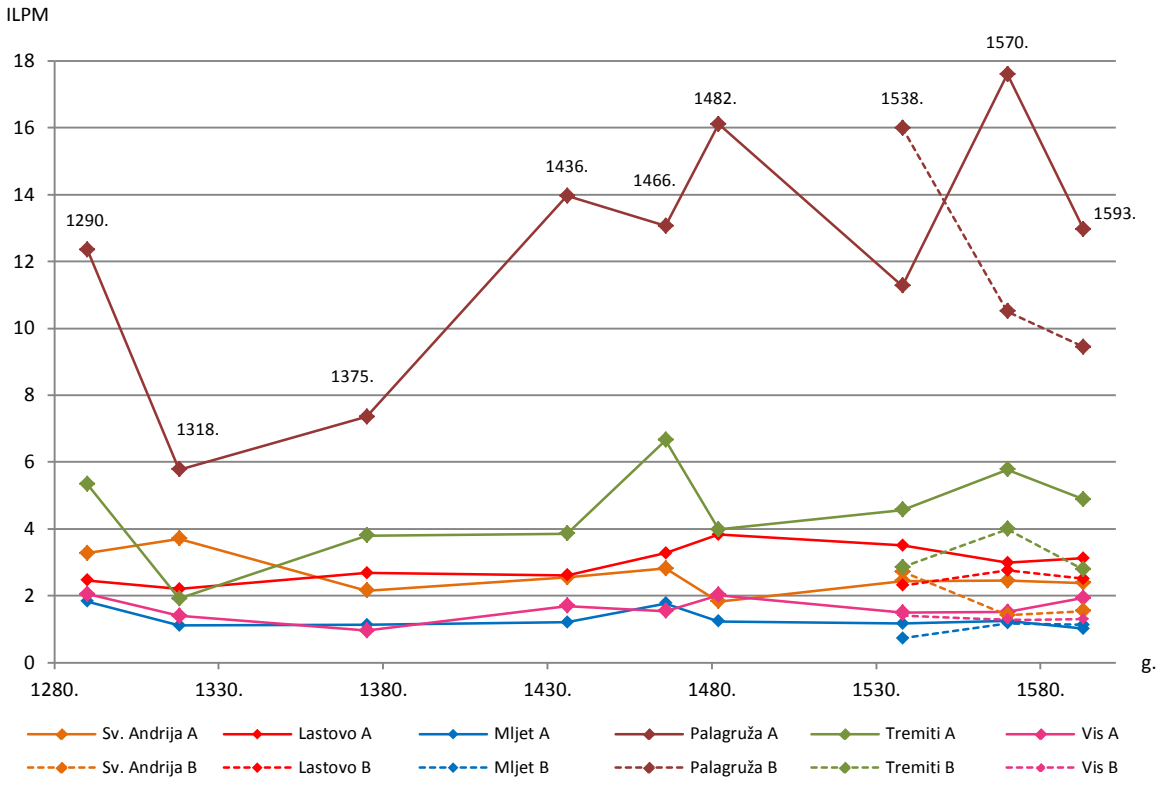
Tablica 6—3. Indeksi lokalnih povećanja mjerila (*ILPM*) portulanskih karata za odabrane luke te pučinske otoke ili otočja srednjeg Jadranskog mora i njihovi procijenjeni lokalni moduli mjerila pri georeferenciranju na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1.

LUKA	ILPM A1	≈AVG M A1	lok. M A1	ILPM A2	≈AVG M A2	lok. M A2	ILPM B	≈AVG M B	lok. M B
Ancona	2,4		1.903.526	3,8		1.411.314	2,6		651.625
Bar	3,2		1.420.821	2,9		1.805.012	1,9		923.558
Bari	3,9		1.172.819	5,3		999.116	2,8		625.074
Brindisi	7,4		625.177	11,9		443.147	6,1		281.237
Dubrovnik	12,1	4.600.000	379.091	15,1	5.300.000	350.782	9,5	1.720.000	180.714
Ortona	7,1		644.976	6,7		789.869	3,7		461.845
Otranto	3,3		1.390.904	4,9		1.070.120	3,1		562.060
Pula	4,3		1.068.507	3,5		1.519.889	1,3		1.300.750
Rimini	3,4		1.336.531	4,9		1.078.967	3,3		514.731
AVG	5,2		1.104.706	6,6		1.052.024	3,8		611.288
SD	2,9		453.071	3,9		453.386	2,4		316.771
		lok. ≈M A1			lok. ≈M A2			lok. ≈M B	
		1.100.000			1.100.000			600.000	

OTOK	ILPM A1	≈AVG M A1	lok. M A1	ILPM A2	≈AVG M A2	lok. M A2	ILPM B	≈AVG M B	lok. M B
Lastovo	2,8		1.617.999	3,2		1.652.940	2,5		684.034
Mljet	1,4		3.340.977	1,1		4.638.550	1,0		1.708.094
Palagruža	11,4	4.600.000	401.985	13,9	5.300.000	379.498	12,0	1.720.000	143.888
Sv. Andrija	2,7		1.691.373	2,4		2.184.784	1,9		912.336
Tremiti	4,3		1.080.205	5,1		1.043.497	3,2		537.170
Vis	1,6		2.861.182	1,6		3.225.288	1,3		1.296.857
AVG	4,0		1.832.287	4,6		2.187.426	3,7		880.397
SD	3,4		1.000.994	4,4		1.411.148	3,8		509.632
		lok. ≈M A1			lok. ≈M A2			lok. ≈M B	
		1.800.000			2.200.000			900.000	

Na temelju prikazanih podataka vidljivo je da su na portulanskim kartama sitnijeg mjerila iz skupine A ti dijelovi prostora uvećani od 4 do 6 puta. Na portulanskim kartama iz skupine B, izrađenim u oko 3 puta krupnijem mjerilu, lučki bazeni i otoci prikazani su uvećanim za gotovo 4 puta. Predimenzioniranje pojedinih dijelova obale i otoka prisutno je, dakle, i na kartama krupnijeg mjerila, no s ponešto manjim indeksom lokalnog povećanja mjerila u odnosu na karte sitnijeg mjerila. Pritom se posebno ističe naglašavanje otoka Palagruže koji je na gotovo svim kartama, neovisno o njihovom mjerilu, prikazivan u prosjeku oko 12,5 puta većim. Tablični prikaz (Tablica 6—3.) sadrži prosječne vrijednosti ukrupnjivanja mjerila pojedinih lučkih bazena za sve karte, no prema prikazanoj standardnoj devijaciji (*SD*) vidljivo je da među pojedinim kartama postoje odstupanja u povećanima prikaza.

Na grafičkom prikazu vrijednosti *ILPM* za pučinske otoke po pojedinim kartama (Slika 6—7.) vidljivo je da je (izuzev Palagruže) on razmjerno sličan neovisno o mjerilu karata, premda su razlike u dimenzijama nekih od tih otoka u stvarnosti izrazite. Površina Mljeta i Visa (čiji prosječni *ILPM* iznosi 1,2–1,5) je na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) međusobno slična i iznosi 98,5 km^2, tj. 92,6 km^2. S druge strane, otoci Sv. Andrija i Lastovo, koji su udaljeniji od obale i koji također imaju međusobno sličan prosječni *ILPM* (2,3–2,9) se površinom iznimno razlikuju – Sv. Andrija (4,6 km^2) ima oko deset puta manju površinu od Lastova (40,9 km^2). Prikaz otočja Tremiti (3,7 km^2), koji su pučinski izoliraniji, istaknutiji je i ponešto varijabilniji među kartama, dok su za Palagružu (0,4 km^2), kao pučinski najizoliraniji od odabranih otoka, izračunani najveći iznosi indeksa lokalnog povećanja mjerila, ali i najveća varijabilnost tog parametra među pojedinim kartama. Palagruža, naime, ima oko 11,5 puta manju površinu od otoka Sv. Andrija, no prosječni *ILPM* Palagruže je na portulanskim kartama, u odnosu na *ILPM* Sv. Andrije, oko 5,3 puta veći. Na temelju toga može se pretpostaviti da je porast indeksa uvećanja prikaza otoka na portulanskim kartama povezaniji s njihovom pučinskom izoliranosti i plovidbenom važnosti nego s njihovom površinom.



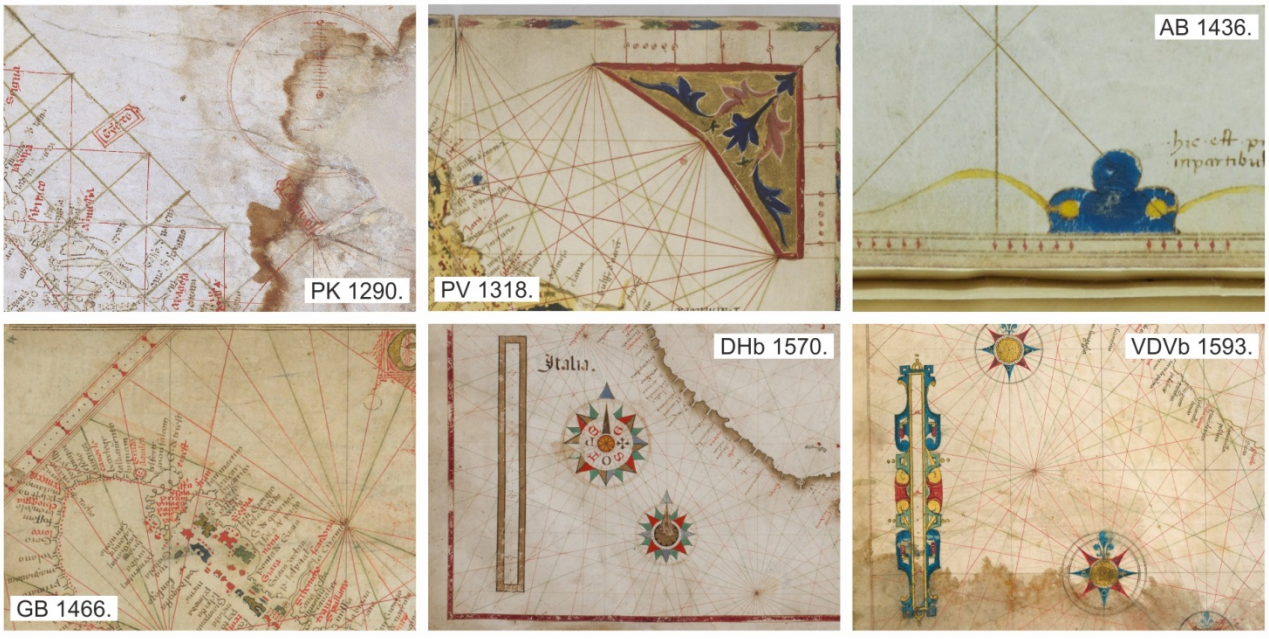
Slika 6—7. Indeksi lokalnih povećanja mjerila portulanskih karata za odabrane pučinske otoke ili otočja srednjeg Jadranskog mora u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1).

6.1.4 LINEARNA MJERILA NA PORTULANSKIM KARTAMA I PORTULANSKA MILJA

Matematička osnova karte, uključujući i mjerilo, poznata je zasigurno od vremena Klaudija Ptolemeja, što je vidljivo na prikazu stupanjske mreže na ptolemejskim kartama. Međutim, portulanske karte su najstariji poznati kartografski prikazi na kojima je ucrtano linearno (tj. grafičko) mjerilo (Taylor, 1957.: 111; Campbell, 1987.: 371).

Na najstarijim sačuvanim portulanskim kartama, primjerice na *Pisanskoj karti* i na *Cortonskoj karti*, linearno mjerilo prikazano je kao radijus kružnice, no na kasnijim kartama ono je prikazivano isključivo kao letvica (Campbell, 1987.: 395), pri čemu je postojalo više izvedbi pozicioniranja letvice mjerila unutar polja karte. Letvice su često bile ucrtavane uz gornji ili donji rub polja karte, no postoje i izvedbe gdje su ucrtavane uz bočne rubove ili, pak, dijagonalno, smještene u uglovima polja karte (Astengo, 2007.: 193).

Linearna mjerila su na portulanskim kartama, s tehničke strane, iscrtavana na izrazito sličan način. Temeljna podjela izvedena je uz pomoć crta okomitih na uzdužnu os letvice mjerila, na čijim se sredinama nalazi točka oko koje je (na nekim kartama) ucrtana manja kružnica. Razmaci između crta jednakih su dimenzija i predstavljaju veliki interval linearnog mjerila (tzv. *spatium*). Nadalje, veliki interval (a ponekad svaki drugi veliki interval) dodatno je, uz pomoć jednako razmaknutih točaka, podijeljen na pet jednakih dijelova, koje predstavljaju mali interval mjerila (tzv. *spatia*) (Astengo, 2007.: 193, Nicolai, 2014.: 30). Na starijim kartama, primjerice, na *Pisanskoj karti* (PK 1290.), veliki interval podijeljen je na 10 malih intervala, a postoje i podjele velikog intervala na 6 manjih intervala, primjerice, na karti Jadranskog mora iz atlasa Vicka Dimitrija Volčića (VDVb 1593.) (Slika 6—8.).



Slika 6—8. Primjeri grafičkih izvedbi letvica linearnog mjerila na portulanskim kartama.

PRETHODNI IZRAČUNI DULJINE PORTULANSKE MILJE

Linearna mjerila su na portulanskim kartama u pravilu ucrtavana bez mjerne jedinice za duljinu koju predstavljaju, no na malom broju sačuvanih karata pronađene su zabilješke o njihovom iznosu, primjerice na danas uništenoj karti Giovannija da Carignana s početka 13. st. ili na karti Vescontea de Maiola iz 1512. g. Prema tim zapisima, razmak između dvije crte, tj. veliki interval, predstavlja udaljenost od 50 milja (*millaria*, *miglia*, ili, skraćeno, *mia*), dok razmak između dvije točke, tj. mali interval predstavlja udaljenost od 10 milja (Nordenskiöld, 1897.: 22; Winter, 1956.: 43-44).

A. E. Nordenskiöld je duljinu portulanske milje računao tako da je na uzorku od 19 portulanskih karata, od kojih su neke bile reprodukcije, mjerio udaljenosti između 13 parova točaka, pri čemu je izračunao koliki broj malih intervala mjerila prosječno sadrže izmjerene udaljenosti. Pritom je udaljenosti između parova odabranih točaka iskazivao u minutama luka meridijana, čiju duljinu izjednačava s jednom nautičkom miljom (NM). Izračunao je da mali interval u stvarnosti predstavlja duljinu luka meridijana za odsječak od 0,63´ (1,16 km) i taj iznos je nazvao *pomorska (nautička) milja*[34]. Međutim, u literaturi nije pronašao podatak o postojećoj arhaičnoj mjernoj jedinici tih dimenzija u metrima, stoga je zaključio da ona zapravo predstavlja 1/5 jedinice koja iznosi oko 5.830 m (5,83 km, tj. duljina luka meridijana za odsječak od 3,15´), a koju je nazvao *portulanska milja* i koju je izravno povezao s katalonskom ligom kao srednjovjekovnom mjernom jedinicom za duljinu (koja iznosi oko 5,74 km). Na temelju toga zaključio je da je katalonska liga temeljna mjerna jedinica za duljinu na „normalnoj portulanskoj karti" koju smatra produktom katalonske kasnosrednjovjekovne pomorske kartografije (Nordenskiöld, 1897.: 23-24). Drugim riječima, Nordenskiöld je zaključio da razmak između dvije točke malog intervala na linearnim mjerilima portulanskih karata zapravo predstavlja vrijednost od dvije portulanske milje, umjesto 10 milja kako izričito stoji u zabilješkama na samim kartama.

Kasniji istraživači odbacili su Nordenskiöldovu ideju da je jedna portulanska milja sastavljena od pet *miglia*, već su pojmovi *miglia* i portulanska milja terminološki izjednačeni, a prevladavajući konsenzus je da jedna portulanska milja iznosi oko 1,25 km (Campbell, 1987.: 389). H. Wagner, primjerice, otprilike istodobno kada i Nordenskiöld, kazuje da *miglia* iznosi u prosjeku oko 4.000 UK stopa[35], tj. oko 1,22 km, s time da je na prikazu područja između Sardinije i Malte izmjerio iznos *miglie* od oko 4.650 stopa, tj. oko 1,42 km (Wagner 1896. (1969.): 479). Prema J. E. Kelleyu Jr., na zapadnom Sredozemlju *miglia*, tj. portulanska milja se izračunavala kao duljina od 5.000 dlanova, pri čemu dlan iznosi ¾ duljine stope, s time da su se ti iznosi na različitim dijelovima Sredozemlja međusobno razlikovali. Navodi da

[34] Termin *nautička milja* izabrao je da naglasi razliku te milje i talijanske *kopnene milje* čija duljina iznosi 1.479 m (Nordenskiöld, 1897.: 23).

[35] 1 UK stopa iznosi 0,3048 m (Cardarelli, 1999.: 22)

portulanska milja od 5.000 genoveških stopa, koju vezuje uz portulansku kartu Francisa Bechariusa iz 1403. g., ima duljinu od 4.390 engleskih stopa (što iznosi oko 1,34 km) (Kelley, 1979.: 18-19). Prema H. C. Freieslebenu postojale su dvije vrijednosti portulanske milje; manja koja se koristila na prostoru Sredozemlja i koja iznosi oko 1,25 km i veća koja se koristila za prostor Atlantika i koja iznosi oko 1,48 km (Freiesleben, 1983.: 126), premda u svojem radu ne objašnjava načine njihova izračuna. Prema izračunima R. Nicolaija, iznos portulanske milje je varijabilan za različite portulanske karte ali i za pojedine morske bazene unutar svake od karata. Iznos portulanske milje je izračunao u odnosu na Mercatorovu i ekvidistantnu cilindričnu projekciju kod kojih mjerilo vrijedi na paraleli φ=39°57′ N, pri čemu je prosječnu vrijednost zaokružio na 1.235 m (1,24 km) (Nicolai, 2014.: 263-264).

IZRAČUN IZNOSA PORTULANSKE MILJE ZA ODABRANE KARTE

Izračun iznosa portulanske milje određen je na temelju izmjere dimenzija intervala na letvicama linearnih mjerila za svaku pojedinu odabranu portulansku kartu [mm] i umnoškom te vrijednosti s pripadajućim parametrom *ef. M* [km/mm] svake pojedine karte. Na taj način izračunano je koliko kilometara na referentnoj projekciji pri M=1 predstavljaju intervali (S) linearnih mjerila na svakoj od odabranih karata. Na temelju podatka da mali interval (s) (između točaka) predstavlja vrijednost od 10 portulanskih milja, iznos jedne portulanske milje (PM) u kilometrima izračunava se podjelom njegove duljine u kilometrima na referentnoj projekciji pri M=1.

Isključivo iz tehničkog aspekta izračun udaljenosti između točaka malog intervala (s obzirom na referentnu kartografsku projekciju) moguće je pojednostavniti tako da se tu vrijednost očita izravno (u kilometrima) s georeferenciranih portulanskih karata, no takav postupak bi sadržavao metodološku pogrešku mjerenja. Naime, kada bi, primjerice, sve odabrane portulanske karte bile izrađene u istom mjerilu (tj. kada bi intervali na letvicama svih karata bili jednako dugački) izravno izmjerene vrijednosti intervala [km] bile bi veće za karte na kojima je linearno mjerilo ucrtano uz rub karte koji predstavlja sjever, nego za karte kod kojih se ono nalazi uz rub karte koji predstavlja jug. Razlog tomu je što pri uporabi Mercatorove projekcije φ_0=42,7° kao referentne na mjerilima koja se prilikom georeferenciranja „nalaze“ sjevernije od geografske širine φ=42,7° N deformacije prikaza udaljenosti su pozitivne (prikaz se „produljuje“), a južnije od φ=42,7° N deformacije prikaza duljina su negativnog iznosa (prikaz se „skraćuje“).

Budući da su prosječna mjerila portulanskih karata i odgovarajući im parametar *ef. M* izračunani za referentnu uspravnu Mercatorovu projekciju zadanu s φ_0=42,7° i s φ_0=36°, portulanska milja izračunana u odnosu na te dvije izvedbe referentne projekcije ima različit iznos. Prosječna duljina jedne portulanske milje izračunana u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° (*1 PM calc.*) iznosi oko 1,16 km (Tablica 6—4.), dok temeljem izračuna u

odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36°, prosječna vrijednost portulanske milje iznosi oko 1,28 km (Tablica 6—5.). Metodološki gledano, oba izračuna iznosa portulanske milje su jednako valjana, no u svrhu detaljnijeg uvida u njezin iznos rezultate ovog izračuna potrebno je usporediti s duljinom portulanske milje izračunanom na temelju zapisa iz portulana. Taj postupak je izvršen u poglavlju 6.4.3.

Tablica 6—4. Iznosi portulanske milje (*1 PM calc.*) izračunani u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1.

KARTA		S [mm]	miglia	n	S/n [mm]	ef. M [km/mm]	S/n [km]	1 PM calc. [km]*
PK	1290.	13,2	50	10	1,3	4,1	5,4	1,08
PV	1318.	12,4	50	5	2,5	4,9	12,1	1,21
KA	1375.	10,5	50	5	2,1	5,9	12,4	1,24
AB	1436.	13,8	50	5	2,8	4,3	11,8	1,18
GB	1466.	12,8	50	5	2,6	4,6	11,7	1,17
AN	1482.	14,3	50	5	2,9	3,8	11,0	1,10
AVG A1		12,8			2,3		10,7	1,16
BA a	1538.	12,2	50	5	2,4	4,4	10,8	1,08
DH a	1570.	10,9	50	5	2,2	5,3	11,5	1,15
VDV a	1593.	8,8	50	5	1,8	6,2	10,9	1,09
AVG A2		10,6			2,1		11,0	1,10
BA b	1538.	35,1	50	5	7,0	1,7	11,9	1,19
DH b	1570.	34,5	50	5	6,9	1,8	12,2	1,22
VDV b	1593.	41,0	60	6	6,8	1,8	12,0	1,20
AVG B		36,9			6,9		12,1	1,21
AVG								1,16

* Iznos 1PM calc. [km] izračunan je kao 1/10 (1/5 na karti PK 1290.) duljine malog intervala (S/n).

Tablica 6—5. Iznosi portulanske milje (*1 PM calc.*) izračunani u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=36°, M=1.

KARTA		S [mm]	miglia	n	S/n [mm]	ef. M [km/mm]	S/n [km]	1 PM calc. [km]
PK	1290.	13,2	50	10	1,3	4,5	5,9	1,19
PV	1318.	12,4	50	5	2,5	5,4	13,3	1,33
KA	1375.	10,5	50	5	2,1	6,5	13,6	1,36
AB	1436.	13,8	50	5	2,8	4,8	13,2	1,32
GB	1466.	12,8	50	5	2,6	5,0	12,9	1,29
AN	1482.	14,3	50	5	2,9	4,2	12,1	1,21
AVG A1		12,8			2,3		11,9	1,28
BA a	1538.	12,2	50	5	2,4	4,9	12,0	1,20
DH a	1570.	10,9	50	5	2,2	5,8	12,6	1,26
VDV a	1593.	8,8	50	5	1,8	6,8	12,0	1,20
AVG A2		10,6			2,1		12,2	1,22
BA b	1538.	35,1	50	5	7,0	1,8	12,7	1,27
DH b	1570.	34,5	50	5	6,9	2,0	13,8	1,38
VDV b	1593.	41,0	60	6	6,8	2,0	13,7	1,37
AVG B		36,9			6,9		13,4	1,34
AVG								1,28

6.1.5 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Mjerila portulanskih karata iz skupine A iznose, ovisno o parametrima referentne projekcije, oko 1: 5.000.000, pri čemu mjerila karata A1 imaju iznos od 1: 4.600.000 do 1: 5.050.000, a karata A2 od 1: 5.300.000 do 1: 5.800.000. Karte iz skupine B, koje su izradili autori karata A2, imaju iznose mjerila od 1: 1.720.000 do 1: 1.900.000, tj. krupnija su u odnosu na mjerila karata A2 oko tri puta. Međutim, kada se iznosi točnosti karata izraženi kao *MAE dL* [km], koji su približno jednaki za karte A i karte B, usporede s njihovim mjerilima i prikažu kao točnost kartiranja na samim kartama *MAE dL M* [mm], proizlazi da su karte krupnijeg mjerila zapravo gotovo 3 puta manje točne od karata tri puta sitnijeg mjerila.

Također, mjerila na portulanskim kartama nemaju jednak iznos po čitavom polju karte, pri čemu je vidljiva izrazita razlika u mjerilu prikaza sjevernog dijela Jadranskog mora i prikaza srednjega, odnosno južnog dijela. Te razlike su refleksija izračunanih regionalnih razlika u stvarnoj točnosti kartiranja udaljenosti *ME dL*, prikazanih u poglavlju 5.3.1. i izravan su produkt specifičnosti geometrije portulanskih karata, što je u ovom istraživanju protumačeno kao ciljana izrada karata u konformnoj kartografskoj projekciji.

Regionalne razlike u iznosu mjerila se prilikom uporabe tih karata u plovidbi odražavaju tako da se pri preračunavanju duljina izmjerenih na kartama u duljine plovidbenih ruta u stvarnosti vrijednosti pokazuju različite iznose za pojedine dijelove Jadranskog mora. Na temelju sačuvanih zapisa o načinu uporabe portulanskih karata, primjerice onog B. Kotruljevića (Kotruljević, 1464. (2005.): 221), može se zaključiti da korisnici tih karata nisu bili svjesni regionalnih razlika u iznosu mjerila. Naime, u zapisima se spominje mjerenje udaljenosti na karti, no ne i preračunavanje s obzirom na dio karte na kojem je udaljenost izmjerena.

Pri pozornijoj opservaciji izgleda obalne crte na kartama B i kartama A2, vidljivo je da su autori obalnu crta kopna na kartama B prikazali s više detalja, tj. da se ona na kartama B čini „prirodnijom“ i manje shematiziranom naspram prikaza na kartama A2[36]. Na temelju toga moguće je zaključiti da su znanja o stvarnom izgledu tog prostora postojala no da, iz određenih razloga, ona nisu utjecala na povećanje točnosti prikaza na kartama krupnijeg mjerila. Razloge zbog kojih se spoznaja o izgledu prostora na karte krupnijeg mjerila odrazila u pogledu estetike, no ne i u pogledu njihove geometrije, u ovom istraživanju nije moguće detaljno utvrditi, izuzev dodatne potvrde hipoteze o sukcesivnom kopiranju karata.

Tijek razvoja spoznaje o stvarnom izgledu prostora u razdoblju izrade odabranih karata moguće je donekle pratiti na primjeru pučinskih otoka srednjeg dijela Jadranskog mora i to kroz dva aspekta: pozicioniranju tih otoka na karte i preuveličavanju prikaza njihovih

[36] Ovo je jasno vidljivo na temelju vizualne usporedbe istaknutih obalnih crta kopna na tim kartama (Slika 10—11.: Slika 10—12.: i Slika 10—13.).

stvarnih dimenzija. Vidljivo je da među starijim kartama (karte A1) postoji izrazit nesklad po pitanju smještanja tih otoka u prostor (Slika 6—6., Slika 10—11.), dok je na kasnije izrađenim portulanskim kartama taj smještaj, čini se, donekle „usuglašen" (Slika 6—6., Slika 10—12., Slika 10—13.), no i dalje sa zamjetnom pogreškom u kartiranju položaja i azimuta. Potrebno je naglasiti da pritom postoji vrlo ujednačena točnost kartiranja njihove međusobne udaljenosti i udaljenosti tih otoka od obale. Ako su portulanske karte odraz izvornih i autentičnih spoznaja o prostoru, logično je očekivati da bi lokacije otoka trebale biti izmjerene i kartografski standardizirane već u ranijim godinama izrade tih karata, naročito ako se uzme u obzir da su prekomorske udaljenosti, koje su u prosjeku gotovo dvostruko dulje, mnogo više standardizirane među pojedinim kartama.

Primjeri vrlo upitne razine spoznaje tog dijela otočnog prostora Jadranskog mora mogu se iščitati i iz portulana. Primjerice, u portulanu *Compasso de Navegare* s kraja 13. st. piše: *Dentro de Lagosta ver la terra ferma e una isola che se clama Pelagosa, ... De la dicta Pelagosa entro a la citta de Ragusa XXV millaria* (Motzo, 1947.: 31), tj. da se na putu od Lastova prema kopnu nalazi otok zvan *Pelagosa* te da se na 25 milja od njega nalazi grad Dubrovnik. Međutim, otok koji odgovara opisu nije Palagruža, već Mljet[37]. Također, u istom portulanu piše i: *Dell'isola de Essa a Cassa XV millara per garbino* (Motzo, 1947.: 31), tj. da se otok Sušac nalazi 15 milja SW u odnosu na otok Vis. Otok koji se nalazi (oko 4 km) jugozapadno u odnosu na otok Vis je Biševo i na portulanskim kartama i u portulanima je najčešće imenovan kao *Buxi*, *Buxio* ili *Busi* (Šenoa, 1950.: 77). Otok Sušac[38] nalazi se oko 36 km jugoistočno (SE, tj. *per sirocco*) od Visa, a oko 20 km zapadno (W, tj. *per ponente*) od Lastova. Jesu li te pogreške zapravo nastale skaliranjem postojećih pogrešnih podataka s portulanskih karata, što je pretpostavio Kelley, a upravo na primjeru portulana *Compasso de Navegare* dokazao Nicolai (Kelley, 1995.: 9, Nicolai, 2014.: 347-348), na ovoj razini obrade podataka nije moguće egzaktno potvrditi ni opovrgnuti. Međutim, činjenicu da je, iz kartografske perspektive, spoznaja o prostornom smještaju pučinskih otoka srednjeg Jadrana iz tog razdoblja relativno niske točnosti, i još k tomu iznimno varijabilna, nije moguće zanemariti.

Razinu spoznaje o pučinskom otočnom prostoru srednjeg dijela Jadranskog mora moguće je dovesti u pitanje i na temelju izračunanih razlika u stupnju preuveličavanja pojedinih otoka. Analitički je dokazano da ne postoji korelacija između stupnja uvećanja otoka i njihovih stvarnih dimenzija, što je vidljivo u poglavlju 6.1.3 na primjeru odabranih otoka i otočja srednjeg Jadrana, pri čemu je Palagruža otok s najvišim indeksom lokalnog povećanja mjerila.

---

[37] *Pelagosa* je najčešće ime otoka Palagruže na starim kartama, premda su, prema M. Šenoi postojale i izvedenice poput *Pelagossa*, *Pelagoda*, *Pelagoza*. Mljet je, pak, na starim kartama najčešće imenovan kao *Melita* ili *Melada* (Šenoa, 1950.: 79).

[38] Imena za otok Sušac u portulanima i na portulanskim kartama su i npr. *Cazza*, *Casa* (Šenoa, 1950.: 80). M. Šenoa na popisu imena za otok Sušac navodi i *Sansego*, *Sanxelo*, *Sanso*, no ta imena se zapravo odnose na kvarnerski otok Susak, kojeg Šenoa uopće ne navodi na popisu imena otoka na starim kartama.

Uzrok tolikog stupnja prenaglašavanja se na ovoj razini analitičke obrade može najviše pripisati iznimnoj važnosti tog otoka prilikom plovidbe otvorenim morem, a koja zasigurno datira iz antike[39]. Budući da je otok Sv. Andrija također bio važna lokacija u antici[40], 5 puta veći indeks lokalnog povećanja mjerila Palagruže moguće je argumentirati jedino većom pučinskom izoliranošću tog otoka. Naime, skupina otoka koju čine Vela i Mala Palagruža te otočić Galijula koji se nalazi oko 5,3 km ESE, najizoliranija je otočna skupina u Jadranskom moru. Na nekim portulanskim kartama Mala Palagruža i Galijula prikazane su križićem, dok je na kartama krupnijeg mjerila, primjerice na DHb 1570. i VDVb 1593., moguće raspoznati samostalni (predimenzionirani) prikaz Male Palagruže i Galijule.

Izračunani iznosi portulanske milje u kilometrima u ovisnosti su o parametru φ_0 referentne projekcije i argumentiran zaključak o njezinom egzaktnom iznosu nije moguće donijeti prije usporedbe s izračunom iznosa na temelju zapisa u portulanima. Iznos portulanske milje od 1,24 km, koji je R. Nicolai izračunao u odnosu na referentnu Mercatorovu projekciju φ_0=39°57′ (Nicolai, 2014.: 263-264), predstavlja približnu srednju vrijednost između iznosa 1,16 km izračunanog u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° i 1,28 km u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36° – aritmetička sredina 36° i 42,7° je 39,35° (tj. 39°21′, što je za 36′ manje od 39°57′), a aritmetička sredina 1,16 km i 1,28 km iznosi 1,22 km.

ZAKLJUČCI

8) Portulanske karte krupnijeg mjerila su, izraženo u milimetrima pogreške na karti, manje točne od portulanskih karata sitnog mjerila, što predstavlja dodatni argument hipotezi o kopiranju karata.

9) Prema sačuvanim zapisima o uporabi portulanskih karata, ne može se zaključiti da su njihovi korisnici bili svjesni regionalnih razlika u mjerilima karata.

10) Razina egzaktne autorske spoznaje o dimenzijama i prostornom rasporedu pučinskog otočnog prostora srednjeg dijela Jadranskog mora bila je niska. Lokalna povećanja prikaza otoka i lučkih bazena nisu u korelaciji s njihovim stvarnim dimenzijama, već su, vjerojatno, produkt subjektivne interpretacije njihovog plovidbenog značaja.

---

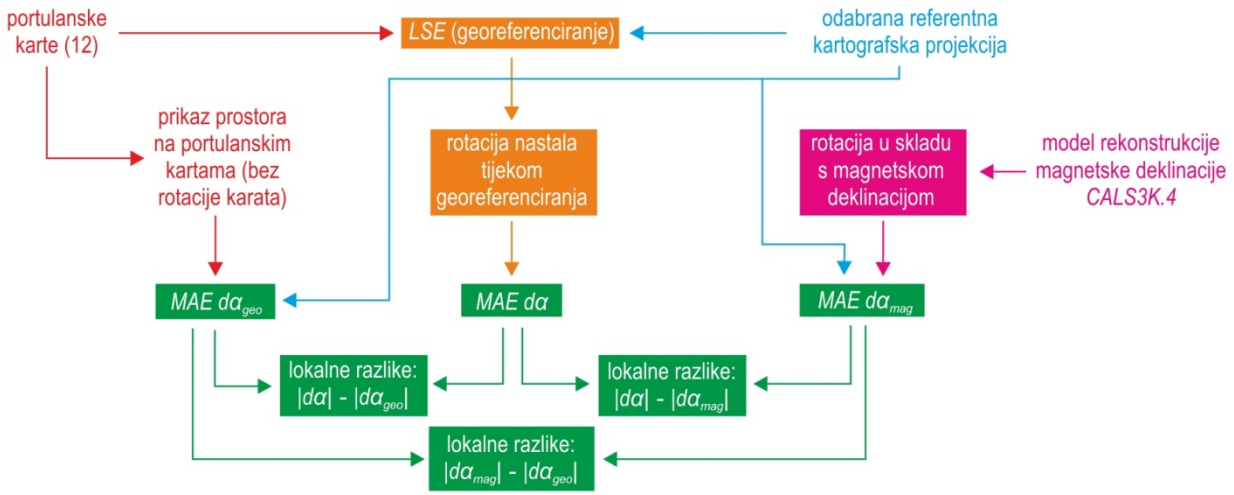
39 Najstariji antički ostaci keramike pronađeni na Palagruži datirani su u 4.–3. st. pr. Kr. Otok je u antici bio nazivan i *Diomedovim otokom* (Katičić, 1995., prema Šešelj, 2009.: 577), prema grčkom heroju Diomedu. Na Palagruži su pronađeni i ostaci keramike s natpisima u kojima je urezano ime Diomed, a postoji mogućnost da je na tom otoku postojalo i Diomedovo svetište (Šešelj, 2009.: 577-579).

40 Prema lokalnoj legendi, u utvrdi na otoku Sv. Andrija, koja nosi ime *Krajicino* (*Kraljičino*) stolovala je ilirska kraljica Teuta, koja je nakon poraza od rimske vojske 229. g. pr. Kr., počinila samoubojstvo bacivši se upravo sa zidina te utvrde (Wikles, 1995.: 160; Rubić, 1952., prema Kozličić i Faričić, 2004.: 38).

6.2 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA POGREŠKE AZIMUTA I SMJER SJEVERA

Pogreške azimuta, prikazane u prethodnim poglavljima vezanim uz kartometrijsku analizu portulanskih karata, produkt su postupaka izvedenih u georeferenciranom okruženju pri *min. RMSE Re*. Jedan od produkata postizanja *min. RMSE Re* predstavlja i rotacija portulanskih karata u smjeru kazaljke na satu u odnosu na geografski sjever na referentnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Uzrok te rotacije je zakretanje prikaza prostora na portulanskim kartama u smjeru obrnutom od kazaljke na satu prilikom njihove izrade, spomenute u uvodu u poglavlju 1.2. Međutim, portulanske karte prilikom njihove uporabe u kasnom srednjem i ranom novom vijeku, zasigurno nisu bile rotirane s otklonom u odnosu na geografski sjever za iznos koji je produkt računalnog postupka georeferenciranja, već je rumb N–S na kartama bio orijentiran po pravcu koji je u to vrijeme bio percipiran u prostoru kao pravac sjever – jug. U skladu s izrazitom povezanošću portulanskih karata i magnetskog kompasa, najlogičnija pretpostavka je da je pritom bilo riječ o smjeru magnetskog sjevera.

U svrhu ispitivanja točnosti azimuta portulanskih karata u praksi, portulanske karte potrebno je zarotirati u smjeru magnetskog sjevera. Iznosi magnetske deklinacije za godine izrade pojedinih odabranih portulanskih karata preuzeti su s modela *CALS3K.4* (Korte i Constable, 2011.). Budući da je prethodno izračunano da pri rotaciji portulanskih karata nastaloj georeferenciranjem (*min. RMSE Re*) postoje koncentracije većih pogrešaka azimuta na lokalnoj razini (Slika 5—24.), jedan od ciljeva ovog postupka je ustanoviti i pokazuju li ti dijelovi nižu pogrešku u odnosu na geografski sjever, zbog čega je točnost azimuta na portulanskim kartama izračunana i pri ispravljenoj rotaciji karata (Slika 6—9.).



Slika 6—9. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrebljivosti portulanskih karata s obzirom na pogreške azimuta i smjer sjevera.

6.2.1 ROTACIJA PORTULANSKIH KARATA I MAGNETSKA DEKLINACIJA

Rotacija prikaza prostora u smjeru obrnutom od kazaljke na satu u odnosu na geografski sjever jedno je od temeljnih obilježja portulanskih karata koju mnogi znanstvenici tumače kao izravnu poveznicu s neispravljenom magnetskom deklinacijom pri uporabi kompasa, no postoje i alternativna tumačenja. Međutim, na temelju prethodnih istraživanja, utvrđeno je da je iznos rotacije prikaza na portulanskim kartama iz ranoga novog vijeka na kojima je prikazano Sredozemlje vrlo sličan iznosu prikaza na kartama izrađenih iz kasnoga srednjeg vijeka.

Najstarije sačuvane karte na kojima je uzdužna os Sredozemlja ispravljena u odnosu na geografski sjever su karta svijeta anonimnog autora iz španjolske institucije *Casa de la Contratación* izrađena 1526.-27. g. te karta svijeta Dioga Ribeira iz 1527.-29. g., no to nije učinjeno na kartama na kojima je prikazan samo bazen Sredozemlja. Istaknuti pronalazak koji ukazuje da je u razdoblju izrade portulanskih karata postojala svijest da one nisu orijentirane prema geografskom sjeveru je karta istočnog Sredozemlja iz atlasa Battiste Agnesea, iz 1543.-45. g. Na toj karti ucrtane su dvije linije paralelne s rumbom N–S, koje se protežu od krajnjeg istočnog rta Krete i od krajnjeg zapadnog rta Cipra na sjeveru do afričkog kopna na jugu, pri čemu su na obje linije ucrtane oznake stupnjeva geografske širine u rasponu od φ=31° N do φ=35° N, s intervalom od 1°. Iako je geografska širina oba rta od φ=35° N ispravno upisana, duljine intervala stupnjeva geografske širine na tim linijama međusobno se razlikuju budući da je Cipar na portulanskoj karti ucrtan sjevernije od Krete. Naime, linija koja povezuje Cipar i afričko kopno dulja je od linije koja s afričkim kopnom povezuje Kretu. Ucrtavanje crta s oznakama geografske širine je po svoj prilici urađeno naknadno no, sudeći po kaligrafiji rukopisa, najkasnije u 16. st. (Astengo, 2007.: 194-195).

Postojanje magnetske deklinacije bilo je uočeno u Kini već u 8. ili 9. st., a najranija mogućnost spoznaje o tom fenomenu na području Europe je, prema sačuvanim izvorima, iz 1451. g., kada su izrađeni najstariji poznati uređaji u kojima je integriran kompas i sunčani sat (Smith, 1968.: 505; Courtillot i Le Mouël, 2007.: 2). Svijest o magnetskoj deklinaciji proširena je povodom prekooceanskih putovanja krajem 15. i početkom 16. st, nakon čega nastupa razdoblje znanstvenog pristupa fenomenu Zemljinog magnetizma, a potom i egzaktnih mjerenja iznosa magnetske deklinacije. Primjerice, Gerard Mercator je u pismu iz 1546. g. zapisao da smatra da su sjeverni i južni magnetski pol točke na Zemlji, a ne na nebesima, kako se prethodno smatralo (Smith, 1968.: 506), a 1600. g. William Gilbert napisao je djelo *De Magnete* – do tada najtemeljitiju poznatu raspravu o svojstvima magneta (Courtillot i Le Mouël, 2007.: 5). Edmond Halley je od 1698. do 1700. g. na brodu *Paramore* rukovodio globalnom izmjerom magnetske deklinacije koja je rezultirala kartama izogona (1701. g. za Atlantski ocean i 1702. g. za sva svjetska mora) (Courtillot i Le Mouël, 2007.: 11), a za područje Jadranskog mora prvu izmjeru magnetske deklinacije provodio je Charles François Beautemps-Beaupré 1806. g. i 1808.-1809. g. (Kozličić, 2006.: 9-19).

Prema A. E. Nordenskiöldu, rotacija prikaza na portulanskim kartama iznosi 11°-12°, a pripisuje ju kartografskom nasljeđu iz vremena K. Ptolemeja koji je Byzãntium (kasnije Konstantinopol) ucrtao 2° sjevernije (Nordenskiöld, 1897.: 18). H. Wagner kazuje da je rotacija prikaza Sredozemlja na portulanskim kartama opće poznat podatak, kojeg se pripisuje uporabi kompasa i istočnom otklonu magnetske deklinacije iz vremena kompilacije tih karata. S obzirom na tadašnje raspoložive podatke o magnetskoj deklinaciji, Wagner je zaključio da je na Sredozemlju tijekom 13. st. magnetska deklinacija imala zapadni otklon te da su portulanske karte vjerojatno kompilirane mnogo ranije, u razdoblju kada je magnetska deklinacija imala istočni otklon (Wagner, 1896. (1969.): 481-482). Wagnerov zaključak o povezanosti istočne magnetske deklinacije i rotacije portulanskih karata u smjeru obrnutom od smjera kazaljke na satu je točan, no budući da su paleomagnetska mjerenja izvršena desetljećima kasnije, nije bio u mogućnosti steći egzaktan uvid u iznose magnetske deklinacije iz vremena uporabe portulanskih karata.

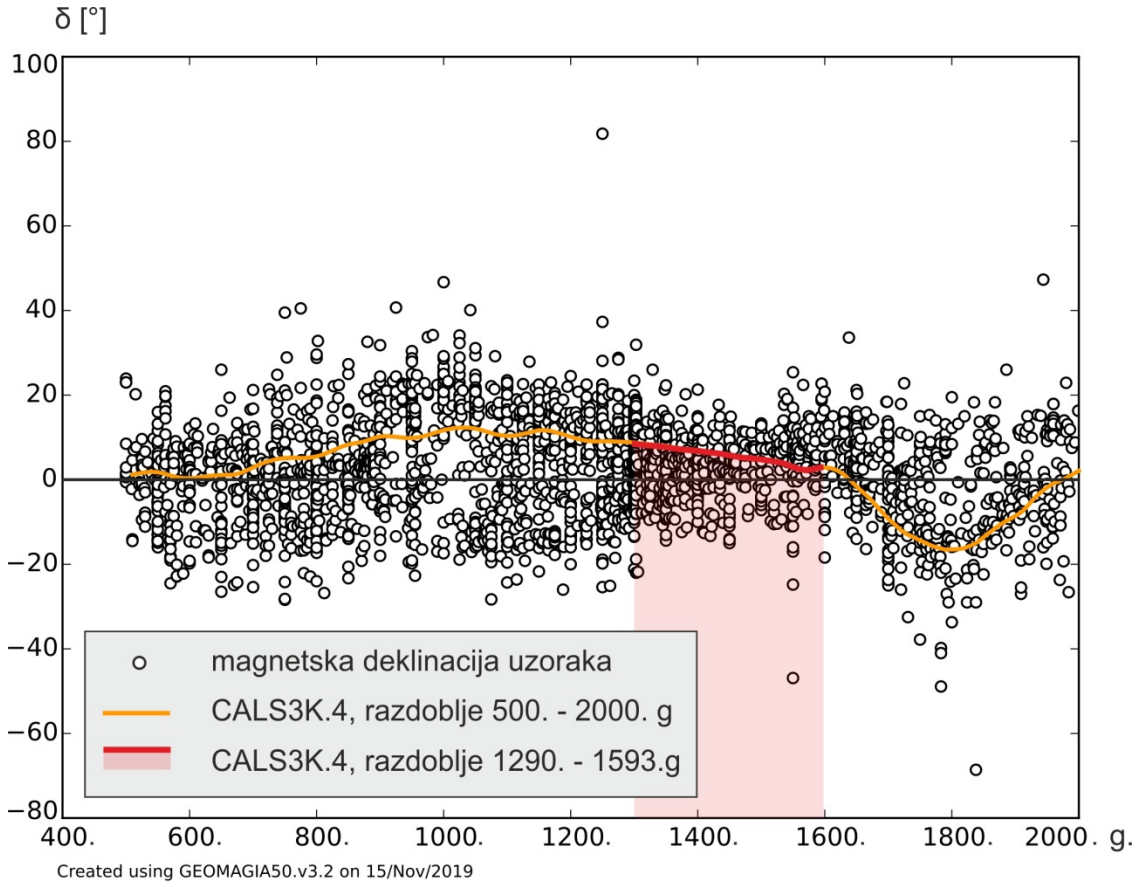
U kontekstu kartometrijskih istraživanja, pobornici teorije o rotaciji karata uslijed neispravljene magnetske deklinacije su, primjerice, A. Clos-Arceduc ili W. Tobler (Clos-Arceduc, 1956.: 226; Tobler, 1966.: 355-360). S druge strane, J. E. Kelley Jr. smatra da je ta rotacija posljedica izrade karata korištenjem spomenute trilateracijske mreže (Kelley, 1995.: 5-6). P. T. Pelham je u svojem magistarskom radu izmjerio rotaciju 33 portulanske karte izrađene od kraja 13. do kraja 17. st. na temelju otklona poveznice Gibraltar–Rodos na tim kartama i iste poveznice na suvremenoj karti (paralela φ=36° N). Njegovi rezultati pokazali su da je iznos rotacije prikaza na portulanskim kartama za čitavo razdoblje gotovo nepromjenjiv, a kreće se u rasponu od 9° do 11°. Taj podatak potom je usporedio s rekonstruiranim vrijednostima paleomagnetizma, koje je na temelju mjerenja na vulkanu Etna 1970. g. objavio J. C. Tanguy, na kojima su zabilježene varijacije u vrijednosti magnetske deklinacije za to razdoblje. S obzirom na te razlike, Pelham je ustanovio da rotacija prikaza Sredozemlja na portulanskim kartama u smjeru obrnutom od kazaljke na satu nije u skladu s iznosima magnetske deklinacije iz vremena izrade karata (Pelham, 1980.: 82-85), a njegov zaključak navode i S. A. Loomer (Loomer, 1987.: 150-151) i J. T. Lanman (Lanman, 1987.: 25).

ODNOS ROTACIJE KARATA I MAGNETSKE DEKLINACIJE PREMA *CALS3K.4*

Referentni podaci za određivanje iznosa magnetske deklinacije iz vremena izrade pojedinih odabranih portulanskih karata izvorno su dio modela *CALS3K.4 – Continuous Archeomagnetic and Lake Sediment model for the past 3k years, version 4*. (Kontinuirani model za posljednjih 3000 g. na temelju arheomagnetskih mjerenja i mjerenja jezerskih sedimenata, verzija 4) (Korte i Constable, 2011.). *CALS3K.4* je poboljšana je verzija prethodnih modela *CALS3K.1* (Korte i Constable, 2003.) i *CALS7K.2* (Korte i Constable, 2005.), izrađenih od istih autorica. Model *CALS7K.2* su, kao referentnu vrijednost za podatke o magnetskoj deklinaciji iz vremena

izrade portulanskih karata, u svojim istraživanjima koristili i J. A Gaspar (Gaspar, 2008.: 200-202; Gaspar, 2010.: 61-66) te R. Nicolai (Nicolai, 2014.: 293-295, 459-462).

Podaci o vrijednostima magnetske deklinacije (δ) na području Jadranskog mora za razdoblje od 500. do 2000. g. prema modelu *CALS3K.4*, preuzeti su s web-kalkulatora GEOMAGIA50.v3.2 (Slika 6—10.). Na dijagramu je vidljivo da je u najvećem dijelu tog razdoblja magnetska deklinacija imala istočni otklon (pozitivne vrijednosti δ), s najvećim vrijednostima tijekom 11. i 12. st., nakon čega je uslijedilo smanjenje iznosa istočnog otklona magnetskog sjevera. Sredinom 17. st. postojalo je kratko razdoblje tijekom kojega na području Jadranskog mora nije bilo otklona magnetskog od geografskog sjevera, nakon čega je uslijedilo povećanje otklona magnetskog sjevera u smjeru zapada (negativne vrijednosti δ), s najvećim vrijednostima početkom 19. st.

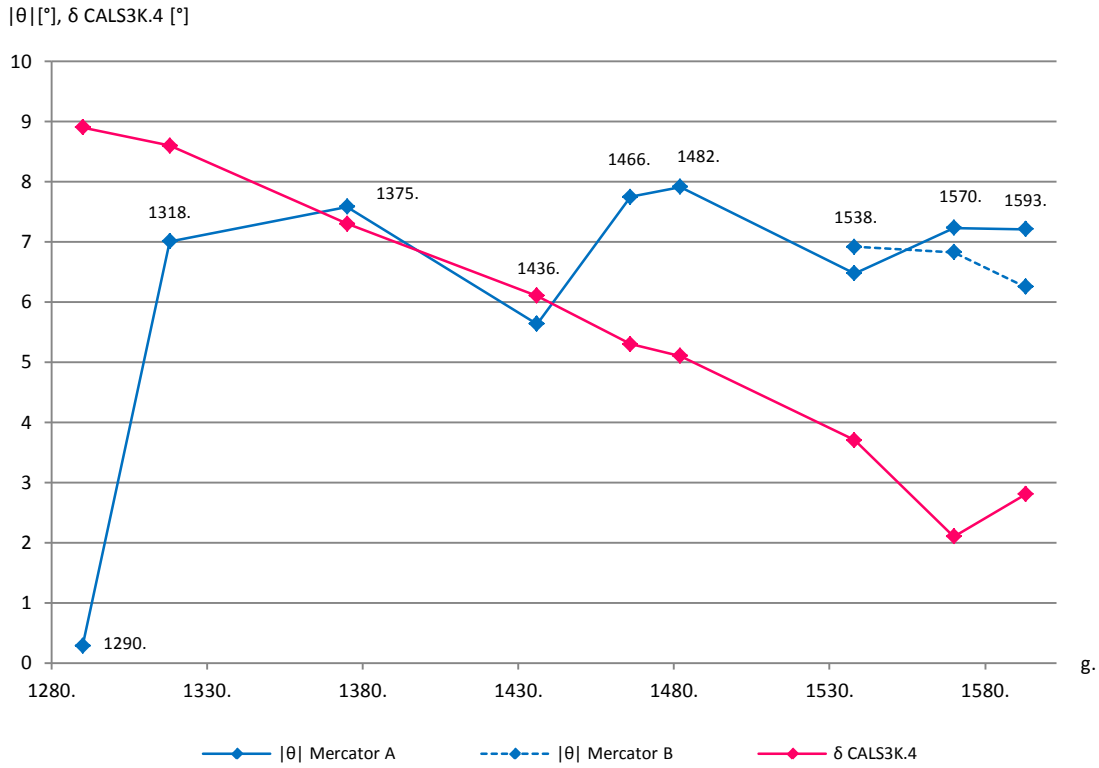


Slika 6—10. Kretanje smjera i iznosa magnetske deklinacije na Jadranskom moru u razdoblju od 500. do 2000. g. prema modelu *CALS3K.4* (izvor: GMAG)

Iznos magnetske deklinacije za područje Jadranskog mora u razdoblju izrade odabranih portulanskih karata, prema modelu *CALS3K.4*, imao je silazni trend u rasponu od otprilike δ=+9° krajem 13. st. do otprilike δ=+2,5° krajem 16. st. Usporedbom tih rezultata s iznosima rotacije portulanskih karata (θ) nastalih georeferenciranjem (*min. RMSE Re*) mreže od 40 točaka s obzirom na referentnu Mercatorovu projekciju (Slika 4—3.), vidljivo je da se iznosi

rotacije karata i magnetske deklinacije tijekom najvećeg dijela razdoblja izrade karata ne podudaraju (Slika 6—11.). Karta PK 1290. pri *min. RMSE Re* ima rotaciju od +0,3°, što je blisko geografskom sjeveru, no rotacija prikaza na sljedeće tri odabrane karte izrađene od početka 14. do početka 15. st. je vrlo bliska iznosu magnetske deklinacije – karta PV 1318. ima otklon od magnetskog sjevera od 1,6°, karta KA 1375. od 0,3°, a karta AB 1436. od 0,5°. U razdoblju izrade kasnijih karata postojao je trend pada iznosa magnetske deklinacije, no prosječni iznos rotacije prikaza na kartama ostao je približno nepromjenjiv s iznosom od oko 7° – odstupanje rotacije prikaza Jadranskog mora na karti i iznosa magnetske deklinacije iz vremena izrade karata povećavalo se s 2,4° za kartu GB 1466. do oko 5,1° za kartu DHa 1570., tj. 4,4° za kartu VDVa 1593.

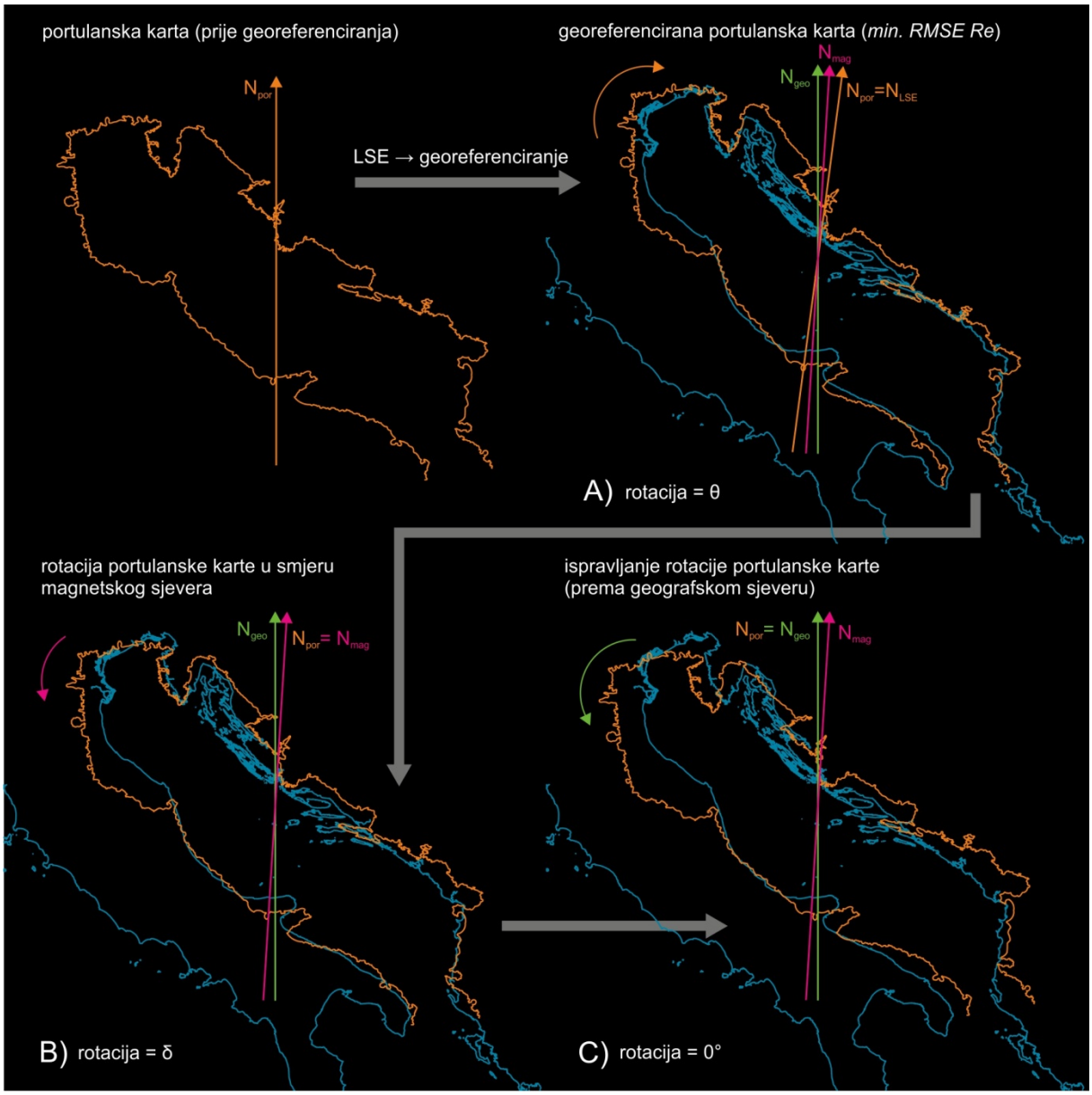
Ovim rezultatima potvrđena su prethodna istraživanja o vrlo niskoj promjenjivosti rotacije prikaza na portulanskim kartama u odnosu na kontinuirani pad iznosa magnetske deklinacije u vremenu njihove izrade, primjerice ono P. T. Pelhama (Pelham, 1980.: 82-85) ili J. A. Gaspara (Gaspar, 2008.: 200-202). S druge strane, vidljivo je da su razlike u iznosu magnetske deklinacije i rotacije prikaza na kartama najmanje upravo za kartu iz *Katalonskog atlasa* (KA 1375.) u kojem je ucrtan najstariji sačuvani prikaz kompasne ruže na portulanskim kartama.



Slika 6—11. Međuodnos kretanja iznosa magnetske deklinacije prema modelu *CALS3K.4* i rotacije portulanskih karata nastale georeferenciranjem uz korištenje 4-parametarske konformne planarne transformacije.

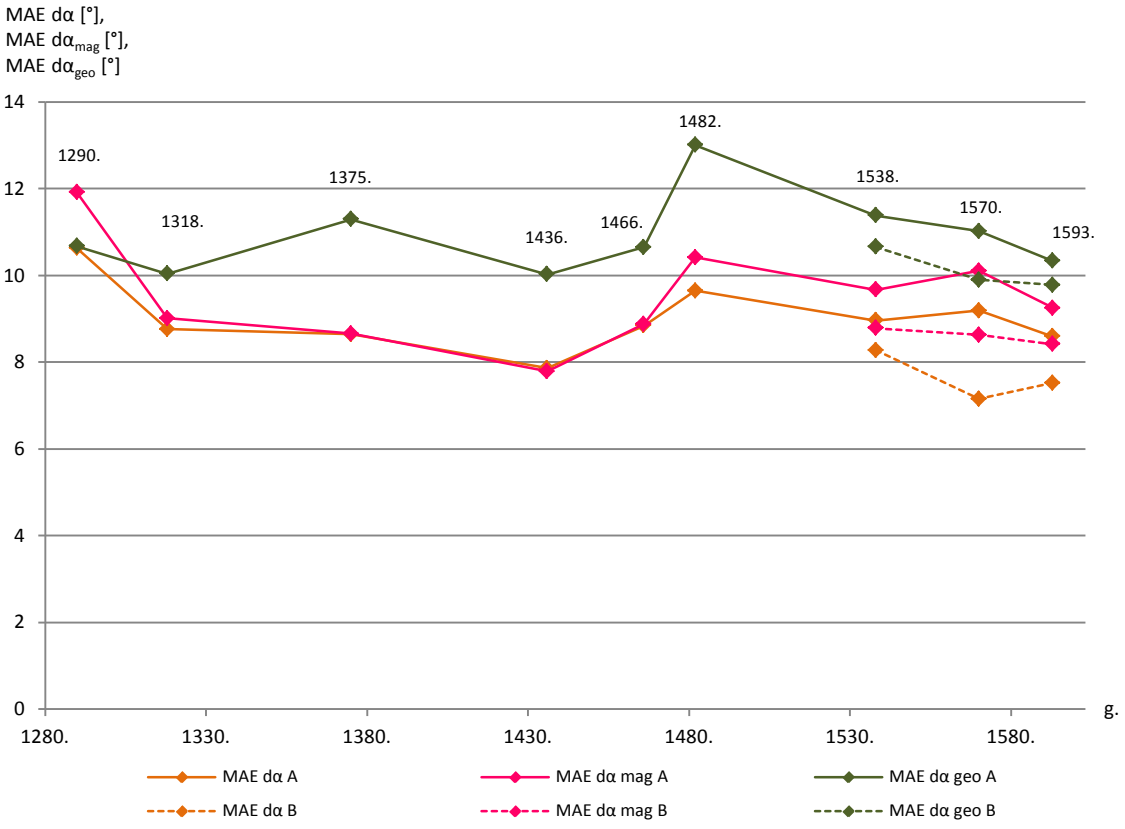
6.2.2 LOKALNE RAZLIKE U KARTIRANJU AZIMUTA S OBZIROM NA SMJER SJEVERA

S obzirom na to da za prikaz Jadranskog mora na odabranim karata izrađenim nakon druge polovice 15. st. nije utvrđeno zakretanje prikaza prostora u skladu s promjenom iznosa magnetske deklinacije, smjer sjevera na portulanskim kartama je, u svrhu istraživanja, nazvan *portulanski sjever* (N_{por}). Drugim riječima, za svaku odabranu portulansku kartu izračunan je određeni otklon portulanskog sjevera od vremenski promjenjivoga magnetskog sjevera (N_{mag}) i od stacionarnoga geografskog sjevera (N_{geo}), tj. za sve georeferencirane portulanske karte pri *min. RMSE Re* vrijedi $N_{por}=N_{LSE}$, $N_{por}\neq N_{mag}$ i $N_{por}\neq N_{geo}$. (Slika 6—12. A).



Slika 6—12. Shematski prikaz primijenjene rotacije portulanskih karata: A) kut rotacije koji je posljedica georeferenciranja (θ), B) kut rotacije koji odgovara magnetskoj deklinaciji iz vremena izrade portulanske karte (θ=δ), C) ispravljeni kut rotacije (prema geografskom sjeveru, θ=0°).

Budući da je, kako je spomenuto na početku poglavlja, rotacija karata pri *min. RMSE Re* produkt georeferenciranja, pogreške azimuta dobivene u prethodnim poglavljima ne mogu se tretirati kao mjerilo njihove upotrjebljivosti prilikom navigacije. Da bi se ispitala točnost kartiranja azimuta na način na koji se ona potencijalno reflektirala na upotrjebljivost karata uz korištenje kompasa u razdoblju njihove uporabe, portulanski sjever potrebno je izjednačiti s magnetskim sjeverom iz vremena izrade svake od karata. Pojednostavljeno govoreći, portulanske karte potrebno je zarotirati u smjeru magnetskog sjevera iz vremena izrade svake od karata, pri čemu vrijedi $\theta=\delta$ [°], tj. $N_{por}= N_{mag}$ (Slika 6—12. B). Na taj način moguće je izračunati pogrešku azimuta svake od linija identične mreže na portulanskim kartama za magnetski sjever, *MAE* $d\alpha_{mag}$ [°], u odnosu na linije referentne mreže na referentnoj Mercatorovoj projekciji $\varphi_0=42,7°$. S obzirom na iznos rotacije karte PK 1290., vrlo blizak geografskom sjeveru i na prethodno ustanovljene lokalne koncentracije pogrešaka kartiranja azimuta (Slika 5—24.), izračunana je i točnost kartiranja azimuta na portulanskim kartama u odnosu na geografski sjever *MAE* $d\alpha_{geo}$ [°] – pritom portulanske karte nisu zarotirane, odnosno vrijedi $\theta=0°$, tj. $N_{por}= N_{geo}$ (Slika 6—12. C).



Slika 6—13. Srednje apsolutne ogreške azimuta pri rotaciji portulanskih karata uslijed georeferenciranja (*MAE dα*), pri rotaciji rumba N–S prema magnetskom sjeveru iz razdoblja izrade karte (*MAE* $d\alpha_{mag}$) i pri ispravljenoj rotaciji karata (u odnosu na geografski sjever) (*MAE* $d\alpha_{geo}$).

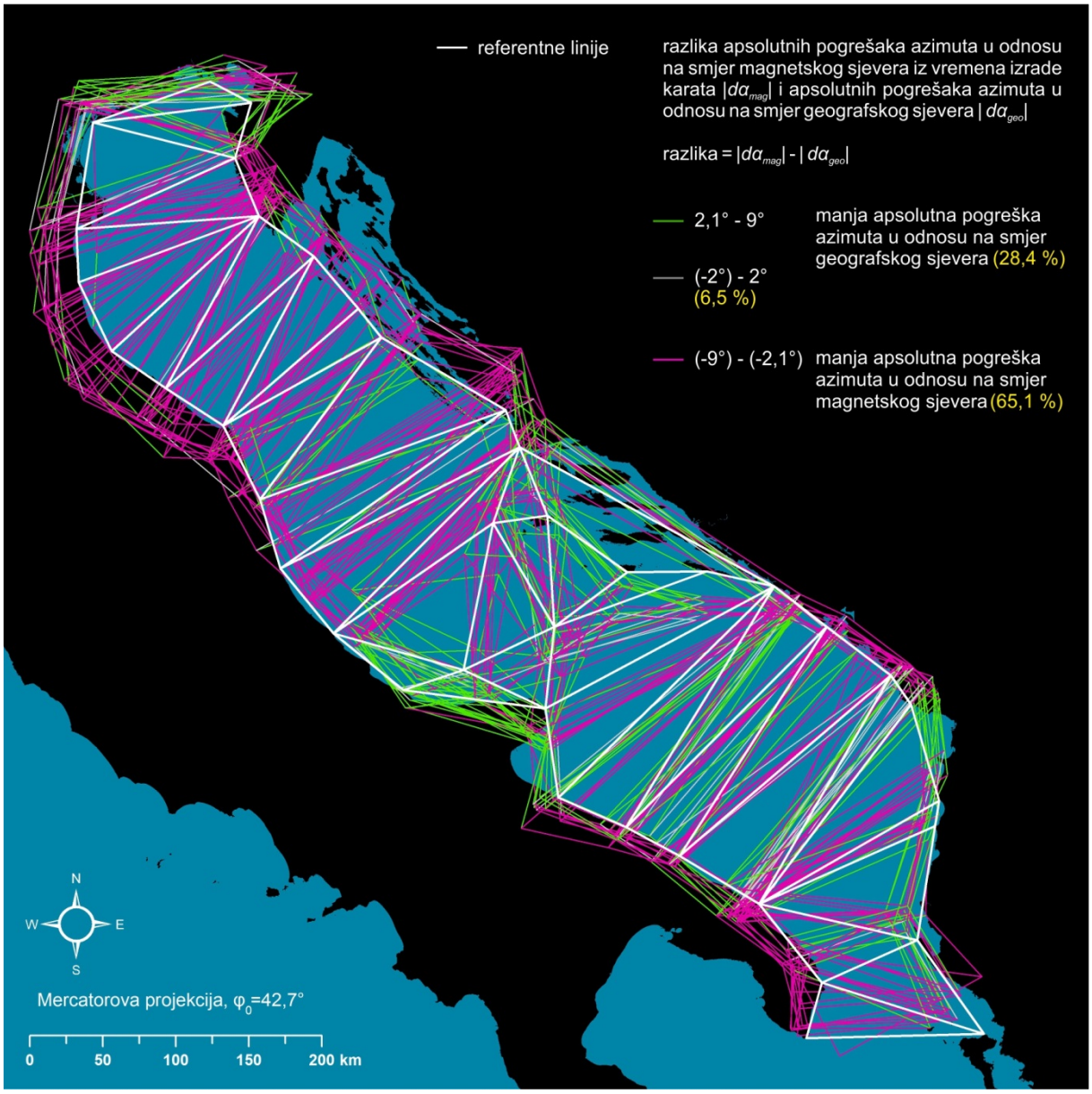
Ukupna točnost kartiranja azimuta svakako je najveća za iznos rotacije kao izravan produkt georeferenciranja uz *min. RMSE Re* – prosječna *MAE dα* za sve karte iznosi 8,7°. Ukupna točnost kartiranja azimuta za karte iz skupine A1, izuzev karte PK 1290., pri rotaciji karata prema magnetskom sjeveru iz vremena njihove izrade, *MAE* $d\alpha_{mag}$, iznosi 8,9°, tj. bliska je točnosti *MAE dα*. Na kartama iz druge polovice 15. i iz 16. st., ukupna točnost kartiranja azimuta u odnosu na magnetski sjever iz vremena njihove izrade iznosi oko 9,7° za karte A2 i oko 8,6° za karte B, tj. manja je od njihove točnosti *MAE dα* za otprilike 1° (Slika 6—13.). Ukupna točnost kartiranja azimuta na portulanskim kartama bez rotacije karata, *MAE* $d\alpha_{geo}$, u prosjeku iznosi 10,7° i manja je od točnosti u odnosu na magnetski sjever za oko 2° na svim kartama izuzev karte PK 1290., kod koje je točnost azimuta izražena kao *MAE* $d\alpha_{geo}$ za oko 1,2° veća od točnosti izražene kao *MAE* $d\alpha_{mag}$.

Prikazani rezultati odnose se na ukupnu točnost kartiranja azimuta svake od karata, no te vrijednosti su, kako je prikazano u poglavlju 5.3.2, varijabilne za pojedine dijelove Jadranskog mora u ovisnosti o primijenjenom kriteriju regionalno–funkcionalne podjele (Slika 5—25., Slika 5—26.). Na temelju tih rezultata moguće je utvrditi postojanje razlika u pogreškama kartiranja azimuta, no ne i njihovu povezanost s određivanjem kursa uz primjenu kompasa, odnosno uz primjernu terestričke i astronomske navigacije u plovidbenoj praksi. Naime, iz pojedinih zapisa iz vremena uporabe portulanskih karata, primjerice onih iz *De Navigatione* B. Kotruljevića (Kotruljević, 1464. (2005.): 147) ili iz portulana *Compasso de Navegare* (Motzo, 1947.: 29-30), može se zaključiti da važnost terestričke navigacije i položaja zvijezde Sjevernjače za navigaciju, usprkos intenzivnoj uporabi kompasa, nije nestala.

U svrhu određivanja točnosti kartiranja azimuta za prikaz Jadranskog mora na lokalnoj razini, za svaki od tri iznosa rotacije portulanskih karata (Slika 6—12. A, B i C), izračunane su razlike apsolutnih pogrešaka kartiranja azimuta svih identičnih linija (u odnosu na referentne vrijednosti). Na taj način moguće je za svaku identičnu liniju izračunati je li apsolutna pogreška kartiranja azimuta najmanja pri rotaciji θ (*min. RMSE Re*), pri rotaciji θ=δ (rumb N–S usmjeren prema magnetskom sjeveru) ili bez rotacije, tj. pri θ=0° (rumb N–S usmjeren prema geografskom sjeveru). U kontekstu upotrebljivosti portulanskih karata, ovim izračunom moguće je utvrditi koji su dijelovi prikaza na portulanskim kartama točnije kartirani u odnosu na magnetski sjever iz vremena njihove izrade, a koji u odnosu na geografski sjever.

Na temelju rezultata izračuna razlika u apsolutnim pogreškama kartiranja azimuta pri rotaciji θ i θ=δ (razlika $|d\alpha|$ *i* $|d\alpha_{mag}|$), vidljivo je da postoje dijelovi Jadranskog mora na kojem su pogreške azimuta manje u odnosu na magnetski sjever nego pri rotaciji uslijed georeferenciranja (Slika 10—16.), no približno isti dijelovi prostora imaju i nižu apsolutnu pogrešku azimuta u odnosu na geografski sjever (razlika $|d\alpha|$ i $|d\alpha_{geo}|$) (Slika 10—17.). S druge strane, kada se kartografski prikažu razlike u apsolutnim pogreškama azimuta s obzirom na magnetski i s obzirom na geografski sjever (razlika $|d\alpha_{mag}|$ i $|d\alpha_{geo}|$) (Slika 6—14.), proizlazi da je jedna četvrtina identičnih linija (na ukupnom uzorku karata) točnije kartirana s obzirom

na geografski sjever. Linije među točkama Rt Gargano, Tremiti, Ortona i Termoli najveća su koncentracija linija kartiranih točnije u odnosu na geografski sjever. Na području sjevernog djela Jadranskog mora, linije kartirane točnije u odnosu na geografski sjever su pretežito dužobalne (linija Venecija – Grado), a na južnom dijelu prekomorske (linije Barletta – Dubrovnik, Bari – Dubrovnik, Brindisi – Bar i Brindisi – Ulcinj i Otranto – Rt Karaburun). Pritom je u pravilu riječ o linijama koje se u odnosu na longitudinalnu os južnog dijela Jadranskog mora pružaju transverzalnije od linija koje su kartirane s manjom pogreškom u odnosu na magnetski sjever.



Slika 6—14. Prostorna raspodjela razlike apsolutnih pogrešaka azimuta na portulanskim kartama u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz razdoblja izrade karata i pogrešaka u odnosu na smjer geografskog sjevera.

6.2.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Rotacija prikaza Jadranskog mora nije u skladu s iznosom magnetske deklinacije na tom prostoru kroz čitavo razdoblje izrade odabranih portulanskih karata. Rotacija prikaza na *Pisanskoj karti* razlikuje se od smjera geografskog sjevera za 0,3°, a od smjera magnetskog sjevera iz 1290. g. za 8,6°. Rotacija prikaza na kartama izrađenim od početka 14. do sredine 15. st., u odnosu na iznos magnetske deklinacije iz vremena njihove izrade, u prosjeku se razlikuje za 0,7°, pri čemu ta razlika na prikazu Jadranskog mora na karti iz *Katalonskog atlasa* iznosi 0,3°. Na kasnijim kartama, na kojima je rotacija prikaza približno ujednačena s prosječnim vrijednostima između 6,5° i 7,2°, otklon od smjera magnetskog sjevera povećava se prema kraju 16. st., budući da je u tom razdoblju postojao trend pada iznosa magnetske deklinacije. Rezultati tog izračuna potvrda su prethodnih istraživanja o nepromjenjivosti rotacije prikaza na portulanskim kartama uz istodobnu promjenu iznosa magnetske deklinacije (Pelham, 1980.: 82-85; Gaspar, 2008.: 200-202).

Na temelju rezultata izračuna točnosti kartiranja azimuta na odabranim portulanskim kartama u odnosu na magnetski sjever iz vremena njihove izrade i u odnosu na geografski sjever, proizlazi da prosječna točnost karata ne opada mnogo u odnosu na prethodno izračunane vrijednosti pri rotaciji karata nastaloj georeferenciranjem. Na ukupnom uzorku karata njezin prosječni iznos (*MAE* $d\alpha$) je 8,7° (prekomorske linije 5,9°, tj. 0,04°/km), dok je prosječni iznos točnosti kartiranja azimuta u donosu na magnetski sjever (*MAE* $d\alpha_{mag}$) 9,3° (prekomorske linije 6,9°, također 0,04°/km), a u odnosu na geografski sjever (*MAE* $d\alpha_{geo}$) 10,7° (prekomorske linije 9,6°, 0,06°/km).

Usporedbom tih rezultata s podacima u sačuvanim izvorima s kraja srednjeg i početka novog vijeka o plovidbi i korištenju portulanskih karata, može se zaključiti da je točnost kartiranja azimuta na portulanskim kartama veća od točnosti izražavanja kursa uobičajene u to vrijeme. Naime, prosječna točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija u odnosu na magnetski sjever od 6,9° je oko 1,6 puta veća od rezolucije ruža vjetrova na portulanskim kartama sa stupanjskim intervalima izraženim u četvrtinama vjetra, tj. u rezoluciji od 11,25°, a točnost pojedinih karata je još veća. Primjerice, na prikazu Jadranskog mora na portulanskoj karti AB 1436. točnost azimuta prekomorskih linija u odnosu na magnetski sjever (*MAE* $d\alpha_{mag}$) iznosi 4,7°, što je 2,4 puta veća točnost od rezolucije kompasne ruže s 32 smjera. Stupanjski intervali od 11,25°, tzv. „zraka kompasa“ (engl. *point of compass*) bili su ucrtavani i kompasnim ružama na samim kartama, a na temelju istog intervala baždarena je i *Toleta de Marteloio* u tabličnom obliku (Slika 1—9.). Drugim riječima, prosječna točnost kartiranja prekomorskih azimuta na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama iznosi oko 0,6 zrake kompasa, a za kartu AB 1436. ona iznosi 0,4 zrake kompasa, što je bliže rezoluciji kompasne ruže s podjelom na tzv. *osmine vjetra* (64 smjera).

Istaknuti dio rezultata izračuna u ovom poglavlju čini utvrđivanje relativno visoke prosječne točnosti kartiranja u odnosu na geografski sjever. Razlika od 0,6° između rotacije

pri *min. RMSE Re* i rotacije prema magnetskom sjeveru iz vremena izrade karata (razlika *MAE* $d\alpha$ i *MAE* $d\alpha_{mag}$) postoji zbog prethodno spomenute orijentacije prikaza Jadranskog mora na *Pisanskoj karti* u smjeru bliskom geografskom sjeveru te zbog sve veće razlike u iznosu magnetske deklinacije i rotacije prikaza na kartama iz 16. st. Međutim, razlika od 1,6° (1,7° bez *Pisanske karte*) između rotacije pri *min. RMSE Re* i rotacije prema geografskom sjeveru (razlika *MAE* $d\alpha$ i *MAE* $d\alpha_{geo}$) je neočekivana s obzirom na prosječni iznos rotacije portulanskih karata od 6,4° (7,0° bez *Pisanske karte*) kao produkta georeferenciranja, tj. metode *LSE* (*min. RMSE Re)*. Razlog neočekivano visoke točnosti kartiranja azimuta u odnosu na geografski sjever su lokalne razlike u točnosti kartiranja azimuta. Na temelju izračunavanja razlika u apsolutnim pogreškama azimuta svake pojedine identične linije u odnosu na magnetski i u odnosu na geografski sjever, utvrđeno je da su pojedini dijelovi prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama točnije kartirani u odnosu na geografski nego u odnosu na magnetski sjever. Linije čiji su azimuti točniji u odnosu na geografski sjever čine jednu četvrtinu identičnih linija u ukupnom uzorku karata, a njihova koncentracija veća je na južnoj polovici Jadranskog mora, no uzrok ili uzroke njihove veće točnosti u odnosu na geografski sjever nije moguće utvrditi na ovoj razini istraživanja. Moguća je pretpostavka da je veća koncentracija azimuta točnijih u odnosu na geografski sjever na neki način povezana s terestričkom i astronomskom navigacijom bez uporabe kompasa, no da bi se izveli egzaktniji zaključci potrebno je izraditi analizu vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa s mora.

ZAKLJUČCI

11) *Rotacija prikaza prostora na portulanskim kartama postala je usklađena s iznosom magnetske deklinacije tijekom 14. st., nakon čega je, uz istodobni kontinuirani pad iznosa magnetske deklinacije, iznos rotacije prikaza ostao otprilike jednak.*

12) *Rotacija prikaza Jadranskog mora na karti iz Katalonskog atlasa (1375. g.), u kojem se nalazi najstariji sačuvani prikaz kompasne ruže, ima najmanje odstupanje od iznosa magnetske deklinacije (iz 1375. g.).*

13) *Točnost kartiranja prekomorskih azimuta na portulanskim kartama u odnosu na magnetski sjever iz vremena izrade karata iznosi oko 0,6 zrake kompasa, tj. oko 1,6 puta je veća od rezolucije ruža vjetrova i kompasnih ruža ucrtanih na samim kartama.*

14) *Otprilike jedna četvrtina azimuta iz mreže linija na prikazu Jadranskog mora na odabranim portulanskim kartama ima veću točnost u odnosu na geografski sjever naspram točnosti u odnosu na magnetski sjever iz vremena izrade svake od karata.*

6.3 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA VIDLJIVOST RELJEFA S MORA

Navigacija se tijekom najvećeg dijela prošlosti odvijala uzduž obale, pri čemu je morfologija obalnoga i otočnog reljefa imala izuzetnu važnost u orijentaciji, a siguran ishod plovidbe umnogome je ovisio o prethodnim navigacijskim iskustvima posade (Taylor, 1957.: 4; Cotter, 1980.: 249-250). Blizina kopna prilikom plovidbe brodovima s pogonom na jedra i vesla je, osim zbog svoje orijentacijske uloge, imala i drugu praktičnu svrhu.

Prvenstveno, riječ je o mogućnosti relativno brzog pronalaska zaklona u slučaju pojave olujnog vremena sidrenjem broda u nekom od obližnjih zaljeva (Cotter, 1980.: 249). Upravo su česti nepovoljni vremenski i oceanografski uvjeti za plovidbu u hladnom dijelu godine bili razlog zbog kojeg je plovidba na Sredozemlju najveći dio povijesti bila organizirana u ljetnim mjesecima. Produljivanje sezone plovidbe na rano proljeće i kasnu jesen zbivalo se tijekom 13., 14. i 15. st., potpomognuto tehnološkim unaprjeđenjem brodskog trupa, opreme i navigacijskih pomagala, nakon čega je, postupno, plovidba bivala izvođena i u zimskim mjesecima (Pryor, 1988.: 87-88).

Blizina obale prilikom plovidbe bila je od izrazite važnosti i zbog mogućnosti pristajanja u blizini riječnih ušća u svrhu obnova zalihe pitke vode na brodu. Primjerice, Marino Sanudo Torcello (1260.–1338. g.), mletački geograf i kartograf je u djelu *Liber secretorum* iz 1307. g., zapisao da tijekom ljeta galije ne mogu dugo boraviti na otvorenom moru jer postoji česta potreba za obnovom zaliha pitke vode na brodu (Sanudo, 1307., prema Pryor, 1988.: 75).

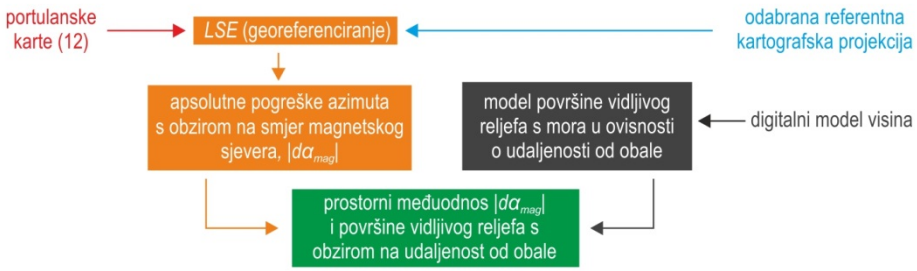
Važnost izgleda pojedinih dijelova obale za navigaciju, poput rtova i zaljeva te riječnih ušća, u kontekstu pomorske kartografije, naglašava i T. Campbell pri tumačenju istaknutosti tih objekata na portulanskim kartama. Zaključuje da je autorima portulanskih karata prostorni prikaz tih objekata imao primarni značaj te da je važnost ostalih hidrografskih detalja, s obzirom na shematski prikaz obalne crte, bio drugorazredan (Campbell, 1987.: 377). O važnosti reljefa za navigaciju svjedoče autentični zapisi o načinu uporabe pomorskih karata u navigaciji, primjerice iz *De Navigatione* B. Kotruljevića (Kotruljević, 1464. (2005.): 221), prikazan u poglavlju 1.3.2 ili zapisi iz portulana, primjerice iz *Compasso de navegare* (Motzo, 1947.: 29), prikazan u poglavlju 6. Također, vrlo detaljan prikaz prostora Jadranskog mora nalazi se i u portulanu Gratiosusa Benincase iz 1470. g., pri čemu prevladava opis rtova i dubina pojedinih lokacija pogodnih za sidrenje (Kretschmer, 1909.: 358-376).

Važnost reljefnih oblika kopna i otoka prilikom obalne plovidbe u razdoblju uporabe portulanskih karata svakako je neupitna, na temelju čega bi bilo očekivano da poneki reljefni oblici, primjerice istaknuti planinski vrhovi u blizini obale, budu na neki način prikazani na kartama. Međutim, prikaz reljefa na portulanskim kartama je sveden isključivo na simbolični prikaz većih planinskih sustava u unutrašnjosti. Od 12 portulanskih karata odabranih za ovo istraživanje, na njih 11 ne postoji nikakav prikaz reljefa, a na karti KA 1375. iz *Katalonskog*

atlasa (Slika 10—3.) prikaz reljefa je simboličan. Na temelju toga može se postaviti pitanje postoji li povezanost između geometrije portulanskih karata i mogućnosti opažanja kopnenoga i otočnog reljefa s mora.

Iako je vidljivost reljefa s mora u svrhu terestričke navigacije spomenuta u mnogim radovima o portulanskim kartama, na temelju prikupljenih prethodnih istraživanja zaključeno je da je kvantitativni pristup toj problematici, u kontekstu istraživanja portulanskih karata i portulana, primijenjen samo u jednom radu. Riječ je o članku J. A. Gaspara o portulanu *Liber de Existencia Riveriarum*, u kojem je autor izradio prikaz vidljivosti reljefa s mora za područje Sredozemnog i Crnog mora tako da je prostor podijelio na zonu unutar koje je s mora moguće opaziti reljefne oblike i na zonu unutar koje s mora nije moguće opaziti niti jedan reljefni oblik (Gaspar, 2019.: 12). Gasparova analiza pokazala je da zona u kojoj s broda nije moguće uočiti nijednu reljefnu formu čini otprilike jednu trećinu površine ukupnog prostora istraživanja (Gaspar, 2019.: 10), međutim u članku nije navedena detaljna metodologija postupka ni specifikacija parametara provedene analize.

Model vidljivosti reljefa s mora primijenjen je i u sklopu ovog istraživanja, pri čemu su izvršena dva izračuna u ovisnosti o visini promatrača: model vidljivosti s visinom očiju promatrača od 3 m n.v., koji se odnosi na promatrača na palubi (manjeg) broda te model vidljivosti s visinom očiju promatrača od 20 m n.v., koji se odnosi na promatrača na jarbolu jedrenjaka i koji je uspoređen s točnošću kartiranja azimuta u odnosu na magnetski sjever iz vremena izrade svake od karata (Slika 6—15.). Pri izradi oba modela korišteni parametri su: zadana nadmorska visina očiju promatrača, nadmorska visina okolnog reljefa (temeljena na digitalnom modelu visina), zakrivljenost Zemljine površine te Gaussov koeficijent atmosferske refrakcije. Klimatološki parametri poput vodene pare u atmosferi i magle, a koji smanjuju domet vidljivosti, zanemareni su zbog njihove iznimne varijabilnosti i nepostojanja poznatih zapisa o egzaktnim mjerenjima provedenim u vrijeme izrade karata.



Slika 6—15. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na vidljivost reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale.

6.3.1 VIDLJIVOST RELJEFA U OVISNOSTI O UDALJENOSTI OD OBALE

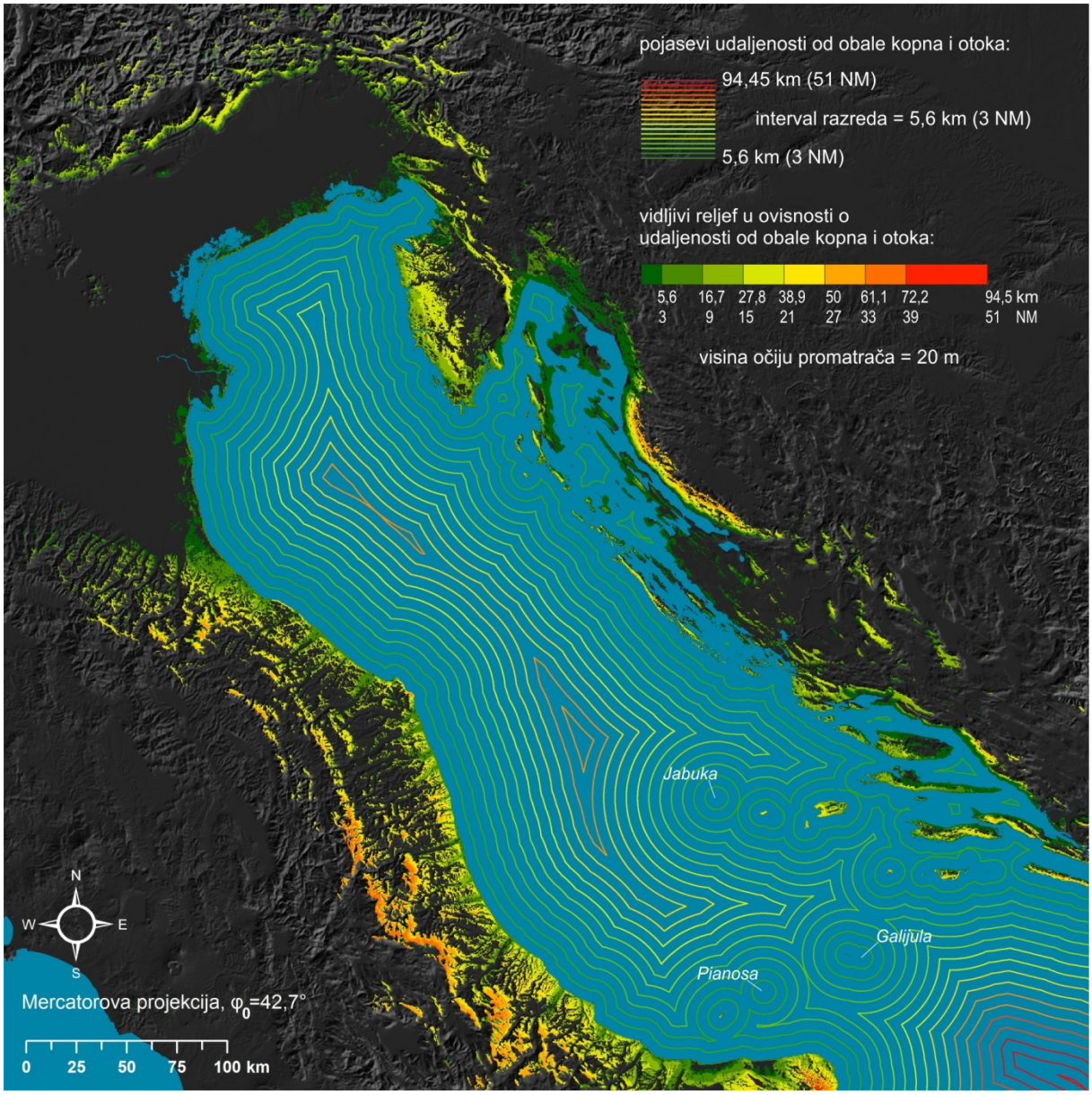
Model vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa s mora (engl. *viewshed analysis model*) (Slika 6—16., Slika 6—17.) izrađen je u svrhu utvrđivanja lokacije i površine dijelova kopnenog i otočnog reljefa bazena Jadranskog mora vidljivih pri plovidbi tim prostorom u ovisnosti o udaljenosti broda od obale. Kao referentna vrijednost korišten je digitalni model visina *EU-DEM*, modificiran prema kriterijima prikazanim u poglavlju 3.2. Zakrivljenost Zemljine površine izračunana je prema modelu Zemlje aproksimirane na oblik kugle radijusa 6.371 km, dok odabrani koeficijent atmosferske refrakcije u iznosu od 0,13 predstavlja tzv. *Gaussov koeficijent refrakcije*. Vrijednost prosječnog koeficijenta atmosferske refrakcije od 0,13 (s točnošću od ±25 %) ustanovio je njemački matematičar i astronom Carl Friedrich Gauß (Gauss) 1826. g., na temelju podataka dobivenih u geodetskoj izmjeri provedenoj na području Hannovera u Njemačkoj (Brunner, 1984.: 2). Primijenjen je s obzirom na ukupnu površinu prostora istraživanja i prostornu rezoluciju modela, premda je u svrhu provedbi suvremenih iznimno točnih geodetskih izmjera u slojevima atmosfere do visine od 30 m taj koeficijent preopćenit (Hirt i dr., 2010.: 2).

Budući da cilj analize nije samo određivanje dijelova reljefa vidljivih s mora općenito, već i određivanje pojedinih dijelova reljefa vidljivih u ovisnosti o udaljenosti od obale, nužan preduvjet za provedbu daljnjeg postupka izračuna je određivanje intervala udaljenosti od obale [km]. Iznos intervala određen je na temelju preliminarno provedenog izračuna radijusa horizontalne sastavnice vidljivosti na otvorenom moru s obzirom na visinu očiju promatrača i na zakrivljenost Zemljine površine, koji pri nadmorskoj visini očiju promatrača od 3 m iznosi oko 5,6 km (zaokruženo 3 NM) [41]. Vrijednost intervala udaljenosti od obale od 3 NM korištena je potom kao iznos intervala udaljenosti od obale za izradu oba modela vidljivosti.

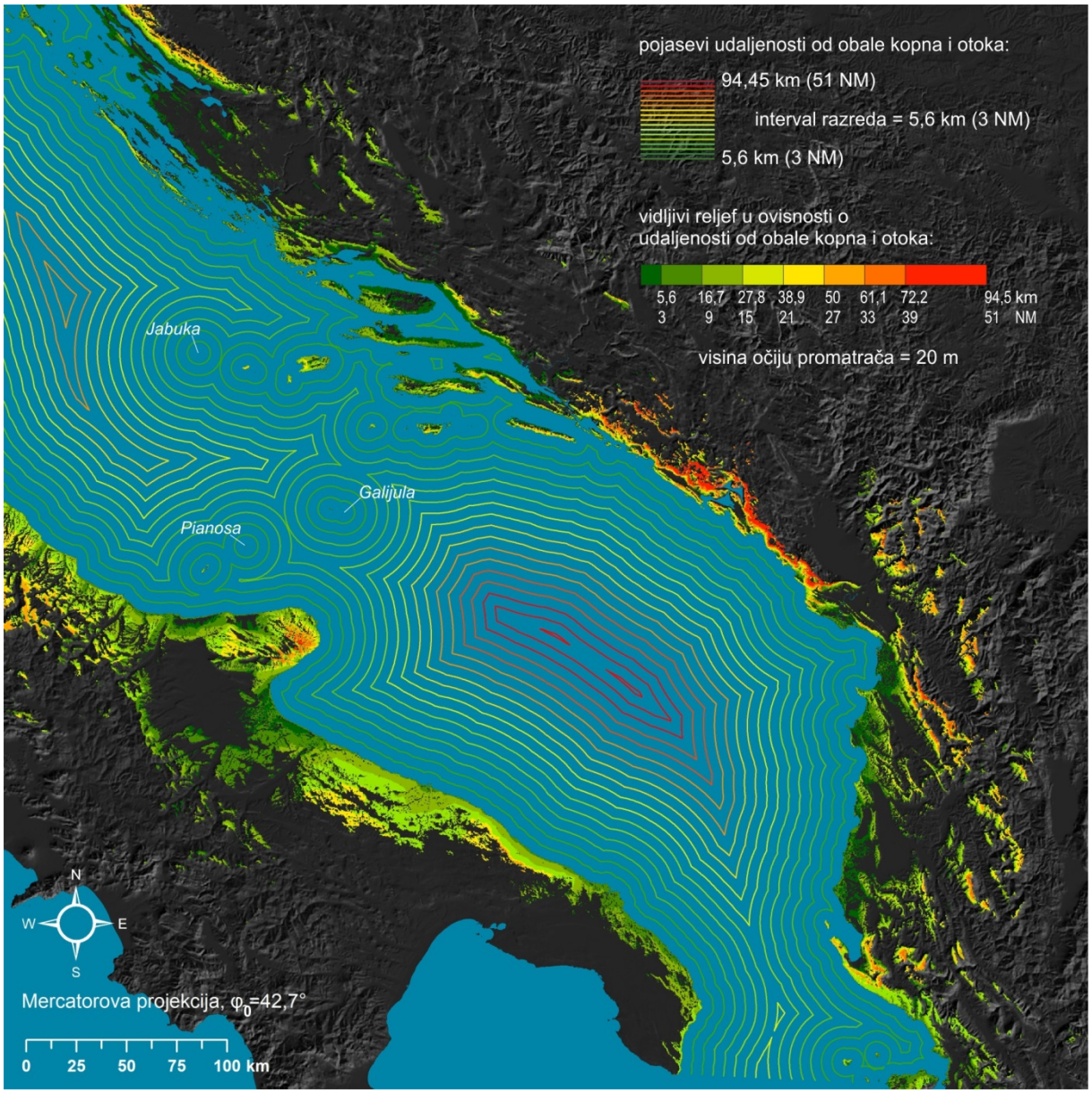
Analiza vidljivosti reljefa s mora izvedena je na točkastom uzorku podataka (zamišljenih lokacija promatrača s broda), pri čemu je za svaku točku, s obzirom na zadanu nadmorsku visinu očiju promatrača i koeficijent atmosferske refrakcije od 0,13, izračunana vidljivost prostora u rasponu od 360°. Prema kriteriju vrijednosti intervala udaljenosti od obale od 3 NM, pojas najveće moguće udaljenosti broda od obale za područje istraživanja iznosi 51 NM. Drugim riječima, Jadransko more kao ukupni prostor istraživanja moguće je podijeliti na maksimalno 17 intervala udaljenosti od obale. Međusobna udaljenost točaka motrišta uzduž svakog od pojaseva udaljenosti iznosi maksimalno 3 NM, što za svih 17 pojaseva udaljenosti od obale, čini ukupno 2.573 točke za koje je izračunana vidljivost reljefa s mora. Pojasevi udaljenosti određeni su u odnosu na obalnu crtu kopna te na obalnu crtu svih otoka i otočića, uključujući otočiće Jabuku, Palagružu i Pianosu kao one koji su pučinski najistaknutiji. To

[41] Horizontalnu sastavnicu vidljivosti moguće je pojednostavnjeno opisati i kao udaljenost crte horizonta od promatrača na palubi manjeg broda na otvorenom moru, pri čemu se njegove oči nalaze na 3 m n.v. (što predstavlja osobu koja se nalazi u brodu na palubi nadmorske visine od oko 1,5 m).

znači da je pučinska točka motrišta koja se, primjerice, nalazi 24 NM (44,4 km) od Jabuke u smjeru WNW, od Visa udaljena 52 NM (96,2 km). Prema kriteriju regionalne podjele prostora istraživanja na sjeverni, srednji i južni dio (Slika 4—1.), pojas najveće udaljenosti od obale kopna, otoka i otočića na sjevernom dijelu Jadranskog mora iznosi 33 NM, na srednjem 36 NM, a na južnom 51 NM. Rezultati analize prikazani u kartografskom obliku (Slika 6—16., Slika 6—17.) odnose se na model vidljivosti pri nadmorskoj visini očiju promatrača od 20 m, no promjenom nadmorske visine očiju promatrača kao zadanog parametra, rezultati analize su različiti (Slika 6—18., Slika 6—19., Slika 6—20., Slika 6—21.).

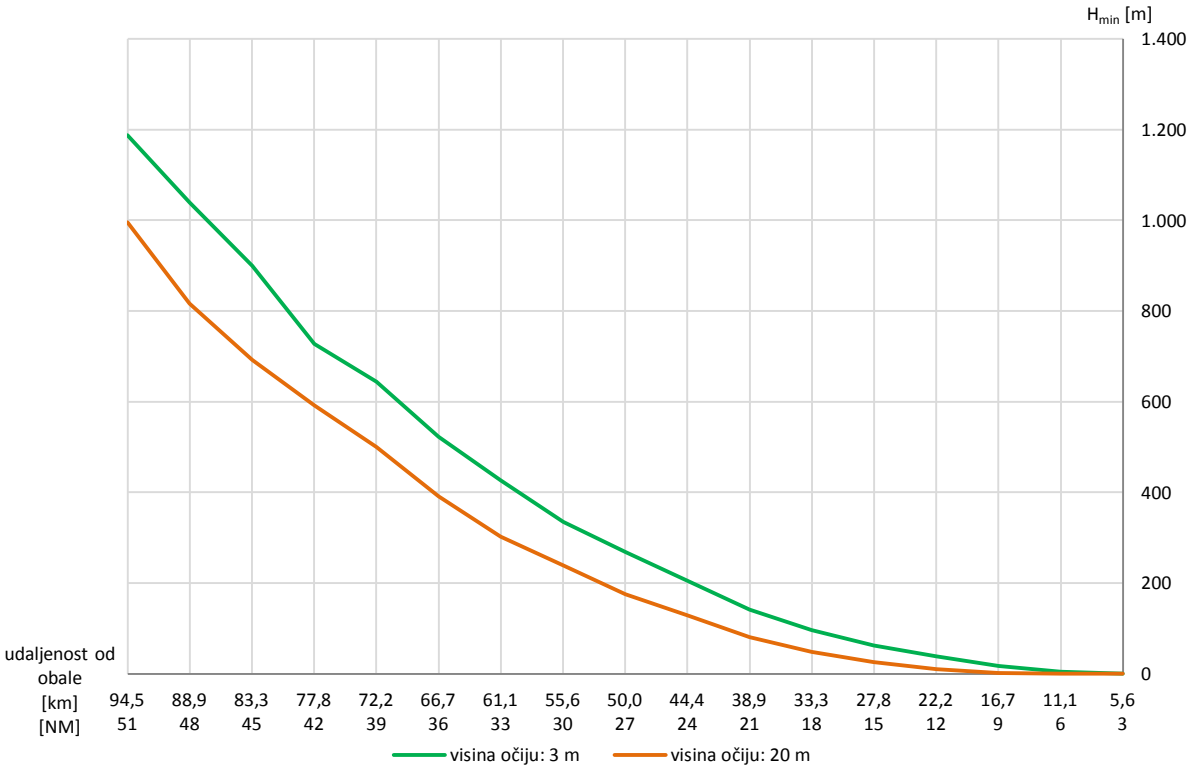


Slika 6—16. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale na sjevernom i srednjem dijelu Jadranskog mora.



Slika 6—17. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale na srednjem i južnom dijelu Jadranskog mora.

Veća nadmorska visina očiju promatrača svakako znači i veću površinu vidljivog okolnog reljefa, no u kontekstu mogućnosti uočavanja okolnog reljefa kopna i otoka s mora, ona nije samo u ovisnosti o zakrivljenosti Zemljine površine i atmosferskoj refrakciji, već i o nadmorskoj visini i konfiguraciji obalnog i otočnog reljefa (Slika 3—2.). Primjerice, na prostoru Jadranskog mora minimalna nadmorska visina vidljivog okolnog kopna (H_{min}) [m], pri udaljenosti od obale od 51 NM, iznosi 1.187 m za visinu očiju promatrača od 3 m n.v., a 995 m za visinu od 20 m n.v. Vrijednost minimalne nadmorske visine vidljivog reljefa opada s približavanjem obali, pri čemu na udaljenosti od obale od 3 NM ili manjoj, ona iznosi 0 m (Slika 6—18.).

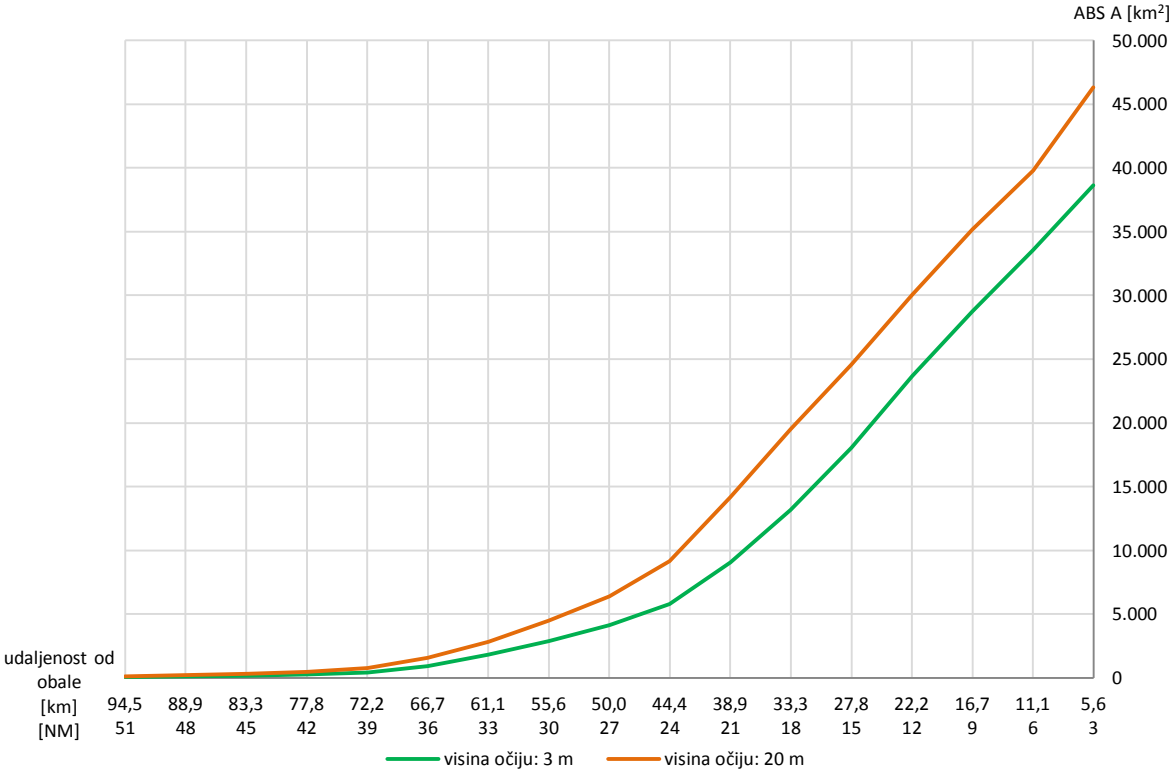


Slika 6—18. Iznos minimalne vidljive nadmorske visine reljefa bazena Jadranskog mora u ovisnosti o pojasevima udaljenosti od obale kopna i otoka (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v.

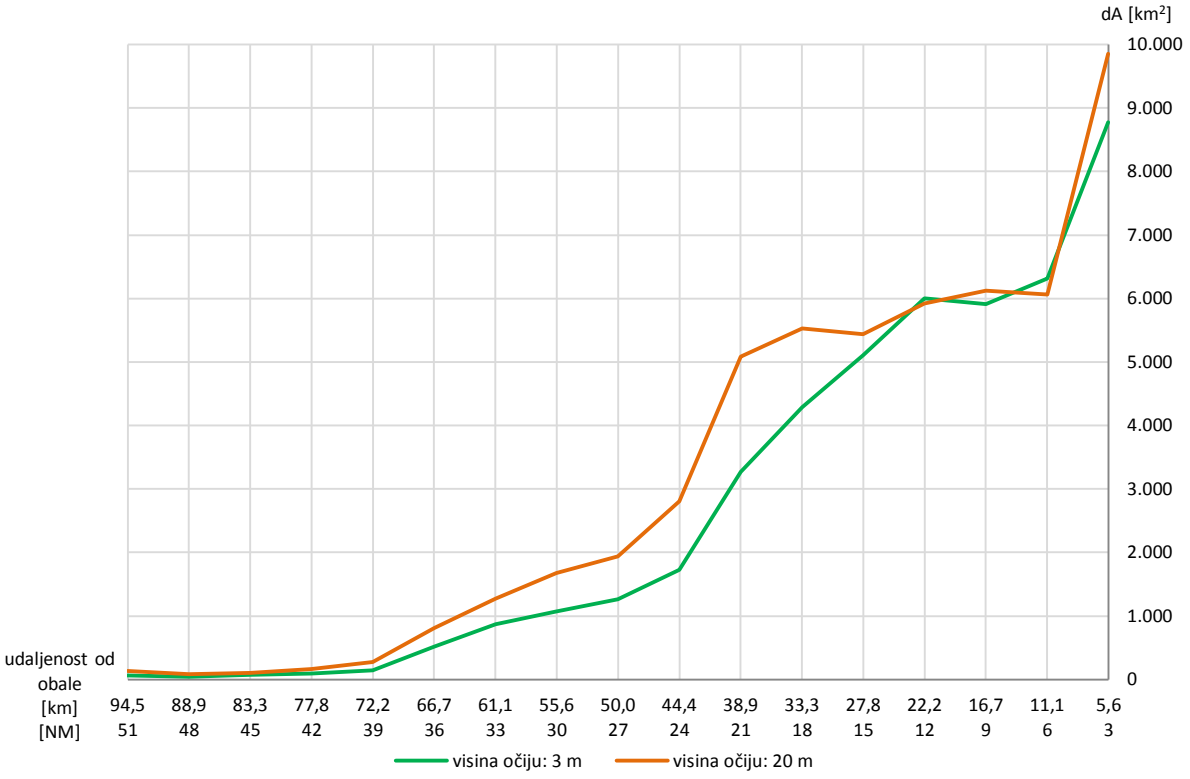
Također, s približavanjem obali povećava se i ukupna površina kopnenog prostora koji je moguće uočiti s mora, *ABS A* [km^2]. Vrijednosti površine reljefa vidljivog s mora izračunane su za prostor istraživanja projiciran u HTRS96/TM[42]. Ukupna površina vidljivog prostora iznosi 45.544 km^2 za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i 53.293 km^2 za visinu od 20 m n.v.[43]. Ona, pri udaljenosti od obale od 51 NM, za visinu očiju promatrača 3 m n.v., iznosi 66 km^2, a 130 km^2 za visinu 20 m n.v. Pri udaljenosti od 3 NM za visinu očiju od 3 m n.v. površina ukupnog vidljivog reljefa iznosi 38.626 km^2, a za visinu očiju od 20 m n.v. 46.295 km^2 (Slika 6—19.).

42 Kartografski prikazi rezultata analize su, u svrhu standardizacije s ostalim kartografskim prikazima u radu, iz HTRS96/TM projicirani u Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°. Promjena projekcije je isključivo estetske prirode, tj. prethodno izračunane vrijednosti površine vidljivog reljefa nisu preračunane.

43 Prikazane površine ne odnose se na površinu oplošja vidljivog reljefa iz perspektive promatrača na brodu, već na projicirane vrijednosti u HTRS96/TM pri M=1.



Slika 6—19. Površina vidljivog reljefa bazena Jadranskog mora u ovisnosti o pojasevima udaljenosti od obale kopna i otoka (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v.



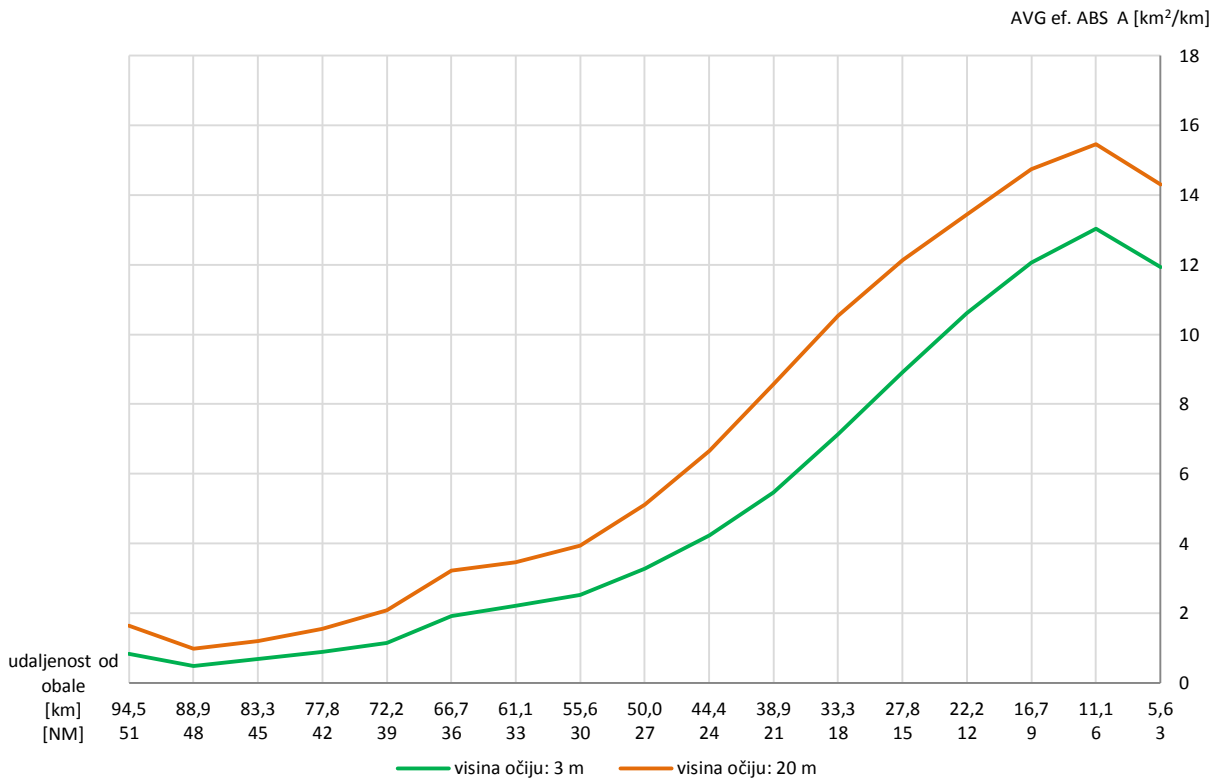
Slika 6—20. Prirast površine vidljivog reljefa bazena Jadranskog mora u ovisnosti o pojasevima udaljenosti od obale kopna i otoka (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v.

Uz ukupnu vidljivu površinu reljefa pri pojedinim intervalima udaljenosti od obale, jedan od parametara je i prirast površine vidljivog reljefa približavanjem obali, *dA* [km^2] (Slika 6—20.), korišten i na kartografskim prikazima (Slika 6—16. i Slika 6—17.). Na njima je vidljivost reljefa s mora klasificirana tako da su, primjerice, nijansama žute i zelene boje (udaljenosti 3-27 NM) prikazani dijelovi reljefa koje nije moguće vidjeti s udaljenosti od obale veće od 27 NM (nijanse narančaste boje i crvena boja). Kada bi na karti, primjerice, bila prikazana površina ukupnog vidljivog reljefa s obzirom na udaljenost od obale, najveći dio vidljivog reljefa na karti bio bi u nijansama zelene boje, jer je najveći dio obalnog reljefa koji je vidljiv s veće udaljenosti od obale, ujedno vidljiv i s manje odaljenosti od obale.

Prosječni prirast površine vidljivog reljefa za čitavo područje istraživanja po intervalu udaljenosti od obale od 3 NM iznosi 2.679 km^2 za visinu očiju od 3 m n.v. i 3.135 km^2 za 20 m n.v. Kada se prirast površine po intervalu udaljenosti od obale od 3 NM iskaže u obliku indeksa (relativno povećanje u odnosu na prethodni interval, pri približavanju obali s udaljenosti od 51 na udaljenost od 3 NM), oni iznose 1,5 za visinu očiju od 3 m n.v. i 1,4 za 20 m n.v. Drugim riječima, smanjenjem udaljenosti od obale svakih 3 NM, površina vidljivog reljefa prosječno se povećava za dodatnih 50 % u odnosu na prethodni interval za visinu očiju promatrača od 3 m n.v., odnosno za dodatnih 40 % za visinu očiju promatrača od 20 m n.v.

Na temelju rezultata analize vidljivosti, moguće je prikazati i prosječnu površinu reljefa vidljivog s mora po kilometru puta preplovljenog brodom, *AVG ef. ABS A* [km^2/km], uzduž svakog od 17 pojaseva udaljenosti od obale (Slika 6—21.). Taj parametar izračunan je tako da je ukupna vidljiva površina reljefa za svaki pojedini interval udaljenosti od obale podijeljena s duljinom pojasa svakog pripadajućeg intervala, pri čemu proizlazi da je ona najveća pri udaljenosti od obale od 6 NM i iznosi 13,0 km^2/km za visinu očiju promatrača od 3 m n.v., odnosno 15,5 km^2/km za visinu očiju promatrača od 20 m n.v.

Model vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa s mora je, kao samostalni izračun, jedan od najranije izvršenih analitičkih postupaka u sastavu ovog istraživanja. Na temelju rezultata tog postupka određen je kriterij o izdvajaju unutrašnjih morskih voda u Kvarneru i Dalmaciji iz kartometrijskog izračuna točnosti kartiranja na odabranim portulanskim kartama, kako je prethodno spomenuto u poglavlju o metodologiji (poglavlje 4). Naime, najveći dio obalnog i otočnog prostora unutarnjih morskih voda vidljiv je s udaljenosti od obale od 3 NM ili manje (Slika 6—16. i Slika 6—17.). Također, prikaz obalne crte otoka tog prostora je na portulanskim kartama izrazito neusklađen s njihovim stvarnim izgledom, temeljem čega je zaključeno da svrha tih karata nije bila pomoć pri navigaciji obalnim i međuotočnim kanalima unutarnjih morskih voda. Na temelju navedenih razloga, taj dio prostora istraživanja je ciljano izostavljen u kontekstu odabira referentno-identičnih točaka.



Slika 6—21. Prosječna površina vidljivog reljefa bazena Jadranskog mora po 1 km duljine puta uzduž pripadajućeg pojasa udaljenosti (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) od obale kopna i otoka za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v.

6.3.2 ODNOS VIDLJIVOSTI RELJEFA I TOČNOSTI KARTIRANJA AZIMUTA

Planirani ili trenutni kurs plovidbe te duljina planiranog ili prijeđenog puta tijekom plovidbe temelj su navigacije po metodi zbrojene pozicije, opisane u poglavlju 1.3.2. Da bi plovidba uz pomoć pomorske karte kao navigacijskog pomagala bila uspješno izvedena, između prikaza na karti i mjerenja provedenih tijekom plovidbe treba postojati povratna sprega dovoljne razine točnosti, odnosno, mjerenja provedena tijekom plovidbe trebaju biti u skladu s mjerenjima na karti i obrnuto.

S obzirom na specifičnosti kartografike portulanskih karata, opisane u poglavljima 1.1 i 1.2, tehnički preduvjeti za njihovo korištenje u navigacijske svrhe svakako postoje. Pritom je u prvom redu riječ o mreži rumba, tj. ruži vjetrova, za određivanje kursa plovidbe i azimuta pojedinih prostornih objekata u odnosu na trenutnu poziciju na moru te o linearnom mjerilu, čija je uloga mogućnost preračunavanja udaljenosti iz prostora na duljine na karti i obrnuto. U prethodnim poglavljima izračunano je da, osim najmanjih pogrešaka kartiranja azimuta u odnosu na Mercatorovu projekciju (Slika 5—9.), na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama postoji i povećanje prikaza duljina s povećanjem geografske širine (Slika 5—22.), te

iznadprosječna točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija s obzirom na ukupnu točnost azimuta (Slika 5—26.).

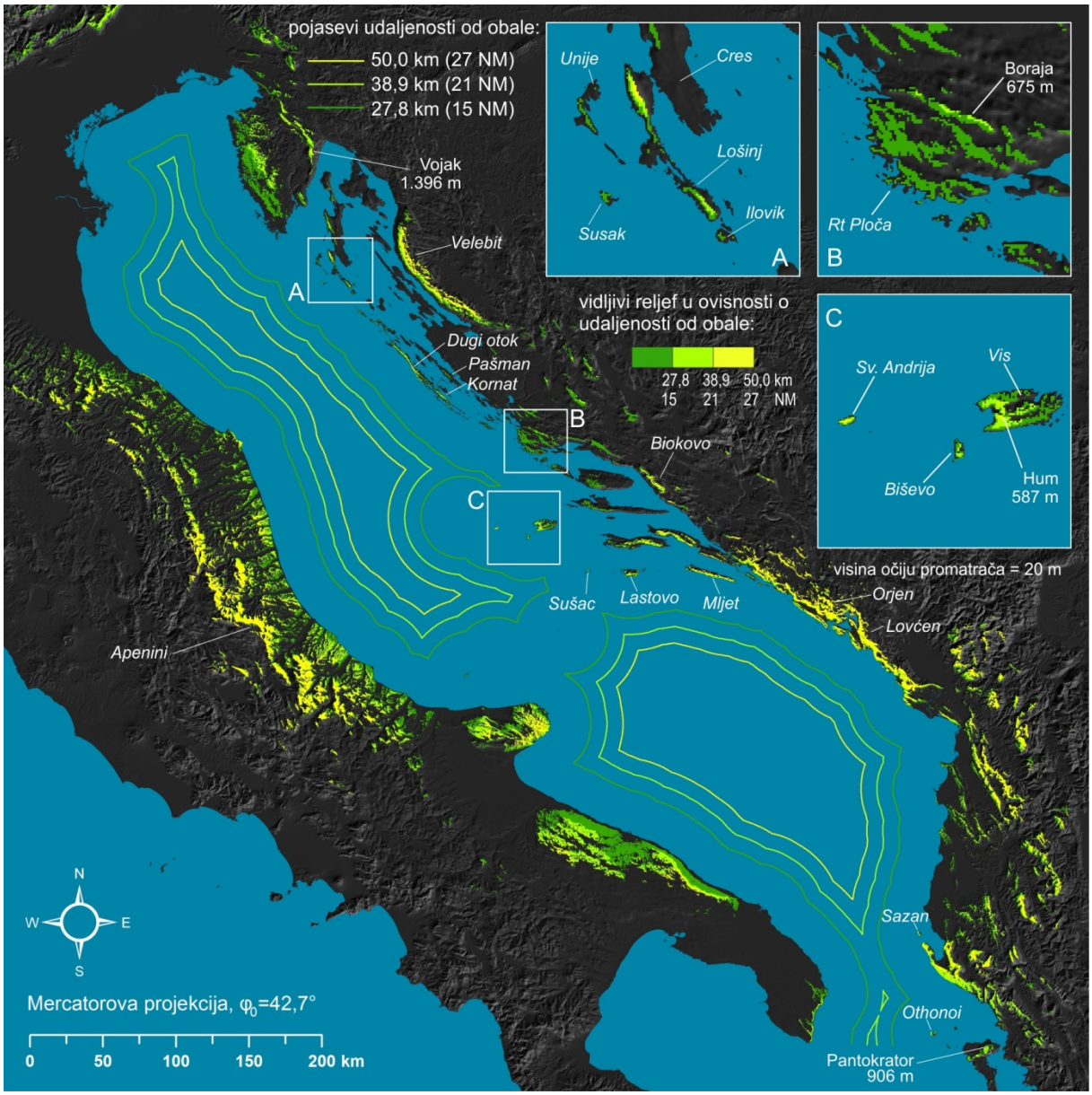
Na temelju tih rezultata zaključeno je da su portulanske karte, barem na primjeru prikaza Jadranskog mora, po svojoj geometriji temeljno konformne, odnosno da je prioritet vjernosti prikaza na tim kartama u vrijeme njihove inicijalne izrade bio vjernost prikaza azimuta (kursa). Također, izračunano je da je točnost kartiranja azimuta, s obzirom na iznos magnetske deklinacije iz vremena njihove izrade, u prosjeku oko 1,6 puta veća u odnosu na točnost ruža vjetrova i kompasnih ruža ucrtanih na samim kartama.

Budući da se plovidba odvija u trodimenzionalnom prostoru, dvodimenzionalni kartografski prikaz je, u svrhu detaljnijeg utvrđivanja razine upotrebljivosti portulanskih karata, potrebno usporediti s modelom vidljivosti obale s mora koji predstavlja percepciju trodimenzionalnog prostora iz perspektive pomorca na brodu. Drugim riječima, za bilo koju lokaciju unutar prostora istraživanja potrebno je izračunati koje je elemente prostora, s obzirom na trenutnu poziciju broda, moguće istodobno identificirati unutar vidokruga pomorca na brodu i na portulanskoj karti. Udaljavanjem broda od obale površina vidljivog reljefa se smanjuje (Slika 6—16. i Slika 6—17.), a samim time smanjuje se i broj referentnih prostornih objekata unutar vidokruga koje je moguće usporediti s prikazom na karti. Pojednostavljeno govoreći, važnost karte kao navigacijskog pomagala povećava se s povećanjem udaljenosti broda od obale.

PROSTORNI RASPORED VIDLJIVOG RELJEFA PRI VEĆIM UDALJENOSTIMA OD OBALE

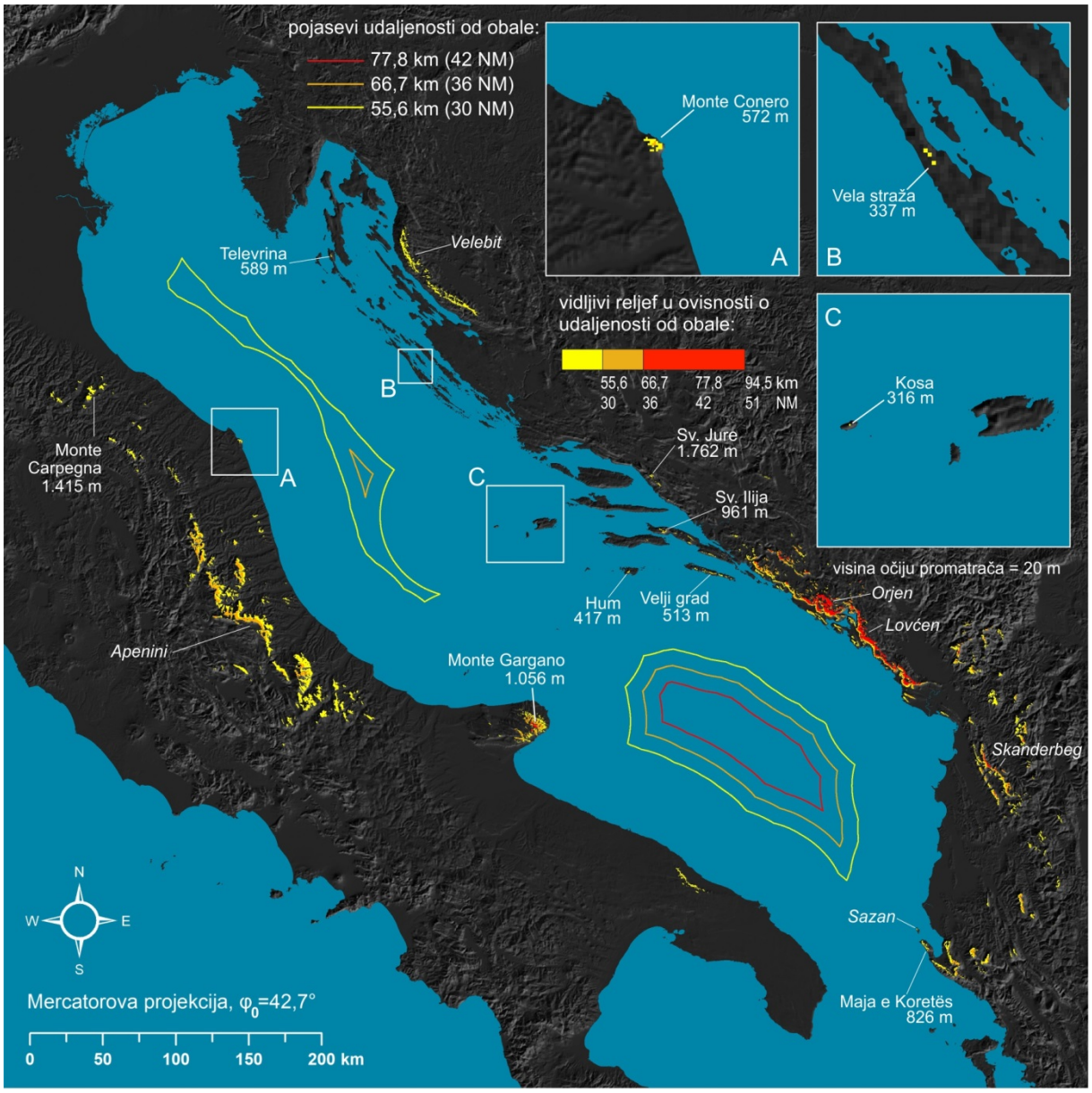
S pojasa udaljenosti od obale od 15 NM površina vidljivog reljefa iznosi 46,1 % maksimalne vidljive površine reljefa (koja predstavlja zbroj prirasta površina za svaki od 17 pojaseva udaljenosti). Pri toj udaljenosti od obale s broda nije moguće vidjeti objekte koji se nalaze uz samu obalu budući da minimalna nadmorska visina (H_{min}) vidljivog reljefa za pojas udaljenosti od 15 NM, prema modelu iznosi 26 m. Također, s tog pojasa nije moguće vidjeti ni veće nizinske predjele, od kojih se najveći nalazi na krajnjoj sjevernoj i sjeverozapadnoj obali Jadranskog mora te pojedine dijelove kopna istočne obale Jadranskog mora koji su promatraču s mora zaklonjeni otočnim nizovima (Slika 6—22.).

S pojasa udaljenosti od obale od 21 NM, površina vidljivog reljefa dodatno se smanjuje i iznosi 26,6 % maksimalne vidljive površine, tj. vidljiva površina pri udaljenosti od 21 NM dvostruko je manja od vidljive površine pri udaljenosti od 15 NM. Pritom je vidljivost reducirana na dijelove reljefa veće nadmorske visine, u koje se mogu ubrojiti hrbat Apenina te pojedini hrptovi planina u sastavu Dinarida poput Velebita, Biokova, Orjena i Lovćena. Također, pri udaljenosti od 21 NM s mora, vidljiv je i velik dio istočnog pročelja Apeninskog poluotoka, Keraunijsko gorje te brojne otočne uzvisine kvarnerskih i dalmatinskih otoka i otoka uz granicu s Jonskim morem (Slika 6—22.).



Slika 6—22. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora pri udaljenosti od obale od 27,8 km (15 NM) do 50 km (27 NM) s izdvojenim samostalnim prikazima odabranih dijelova reljefa otoka i kopna vidljivih s tih pojaseva udaljenosti.

Površina obalnog i otočnog reljefa vidljivog s udaljenosti od obale od 27 NM iznosi 12,0 % maksimalne vidljive površine reljefa, odnosno oko polovicu površine vidljive s 21 NM i oko četvrtinu površine vidljive s udaljenosti od 15 NM od obale. Pri toj udaljenosti, osim hrptova prethodno spomenutih planinskih lanaca, u vidljive, no izolirane priobalne vrhove spadaju vrh Vojak (Učka), Monte Conero u blizini Ancone, vršni dijelovi poluotoka Gargano, Pelješac i Karaburun te najviši dijelovi otoka Lošinja, Dugog otoka, Sv. Andrije, Visa, Lastova, Korčule, Mljeta i Sazana (Slika 6—22.).



Slika 6—23. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora pri udaljenosti od 55,6 km (30 NM) ili većoj s izdvojenim prikazima samostalnih priobalnih i otočnih uzvisina na prostoru sjevernog i srednjeg dijela Jadranskog mora, vidljivih s 55,6 km (30 NM), odnosno 66,7 km (36 NM) udaljenosti.

Pojas od 30 NM udaljenosti predstavlja gotovo najveću moguću udaljenost od obale za sjeverni Jadran. Plovidbom uzduž tog pojasa vidokrug promatrača s broda reduciran je na dio planinskog hrpta Apenina, vrh Monte Carpegna u zaleđu Riminija, gotovo čitavi hrbat Velebita, vrh Sv. Jure na Biokovu, izolirane otočne vrhove Televrina (Lošinj), Vela straža (Dugi otok), Kosa (Sv. Andrija.) i Hum (Lastovo) te pojedine dijelove gorja na prostoru današnje Albanije, uključujući i vršni dio otoka Sazana (Slika 6—23.).

S obzirom na konfiguraciju kopnenog i otočnog reljefa Jadranskog mora, na temelju modela vidljivosti pri visini očiju promatrača od 20 m n.v., pojas udaljenosti od 36 NM, osim što predstavlja pojas gotovo najveće moguće udaljenosti od obale za srednji dio Jadranskog mora, ujedno predstavlja i kritičnu vrijednost udaljenosti od obale za čitav prostor

istraživanja. Površina vidljivog reljefa za tu udaljenost od obale iznosi 2,9 % maksimalne vidljive površine. Također, promatraču koji se nalazi na toj udaljenosti od obale na području srednjeg dijela Jadrana, vršni dio hrpta Apenina i sami vrh uzvisine Monte Conero na zapadnoj obali te nekoliko izoliranih vrhova na južnom dijelu Velebita na istočnoj obali čine jedine reljefne oblike koje je moguće uočiti s broda. S pojasa udaljenosti od 36 NM je na prostoru južnog Jadrana moguće uočiti uzvisinu Monte Gargano na zapadnoj obali te dijelove planina Orjen, Lovćen i Skanderbeg na istočnoj obali. U izolirane vrhove vidljive s te udaljenosti spadaju Sv. Ilija (Pelješac), Velji Grad (Mljet) i vrh otoka Sazana (Slika 6—23.).

S pojasa udaljenosti od obale od 42 NM vidljivi reljef sveden je na sami vrh poluotoka Monte Gargano na zapadnoj te na vrhove gorja Orjen, Lovćen i Skanderbeg na istočnoj obali, dok je pri udaljenosti od obale od 48 NM i većoj, s mora moguće uočiti samo najviše vrhove gorja Orjen i Lovćen na istočnoj obali Jadranskog mora (Slika 6—23.).

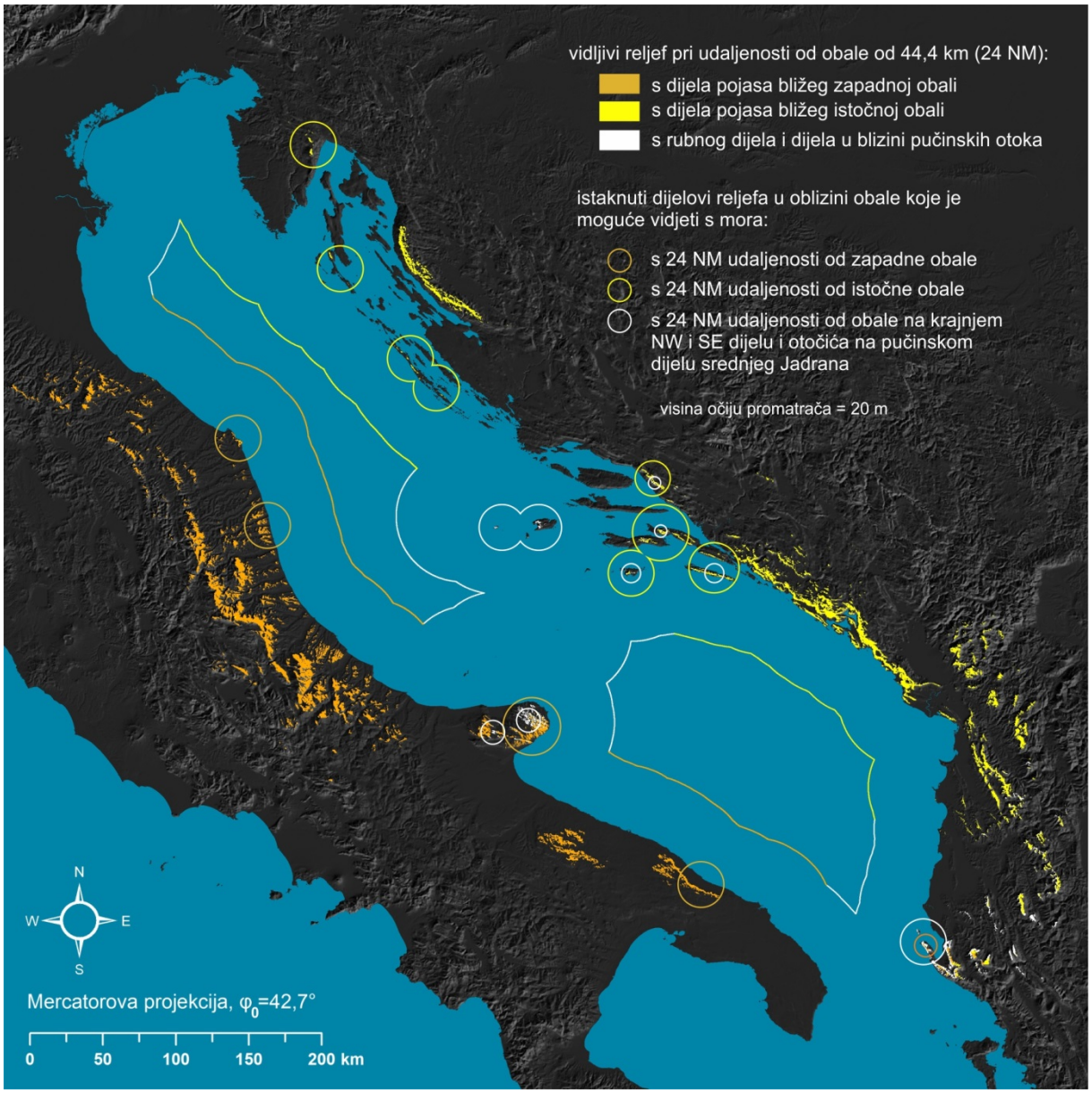
VIDLJIVI RELJEF I TOČNOST AZIMUTA PREKOMORSKIH LINIJA

U svrhu interpretacije međuodnosa vidljivosti reljefa s mora i točnosti portulanskih karata, težište je stavljeno na regionalno–funkcionalnu podjelu kartiranja linija na obalne i prekomorske. Na temelju provedene analize vidljivosti ustanovljeno je da pri udaljenosti od obale od 15 NM ili manjoj površina vidljivog reljefa razmjerno visoka za čitavo Jadransko more, odnosno da je objekte iz prostora koji se nalaze unutar vidokruga moguće donekle jednostavnije identificirati na portulanskim kartama i obrnuto.

Trend smanjenja površine vidljivog reljefa s povećanjem udaljenosti od obale najviše dolazi do izražaja prilikom planiranja i izvođenja plovidbe prekomorskim rutama jer pri povećanju udaljenosti od obale Jadranskog mora s 15 NM prema 36 NM, dolazi do izrazitog pada broja prostornih objekata unutar vidokruga koje je moguće donekle prepoznati na portulanskim kartama. Plovidba na udaljenosti od obale većoj od 36 NM moguća je samo na južnom dijelu Jadranskog mora, pri čemu se broj vidljivih objekata svodi na nekoliko planinskih vršnih zona na istočnoj obali.

Pojasevi udaljenosti upotrijebljeni u analizi predstavljaju udaljenost s obzirom na ukupni opseg obale Jadranskog mora određen prema referentnoj kartografskoj podlozi, opisanoj u poglavlju 3.2, što znači da pojedini objekti na jednom dijelu obale, vidljivi s određene lokacije na određenom pojasu udaljenosti, ne moraju nužno biti vidljivi s neke druge lokacije na istom pojasu udaljenosti. Problem koji za navigaciju predstavlja smanjenje broja vidljivih reljefnih oblika prilikom prekomorske plovidbe može se prikazati na primjeru podjele Jadranskog mora na istočnu i zapadnu „nasuprotnu“ obalu. Promatrač na jarbolu broda koji, primjerice, plovi prekomorskom rutom sa zapadne prema istočnoj obali, na udaljenosti od 24 NM od zapadne obale nije u mogućnosti uočiti dijelove reljefa na istočnoj obali vidljive s udaljenosti od 24 NM, jer je njegova udaljenost od istočne obale u tom trenutku veća od 24 NM.

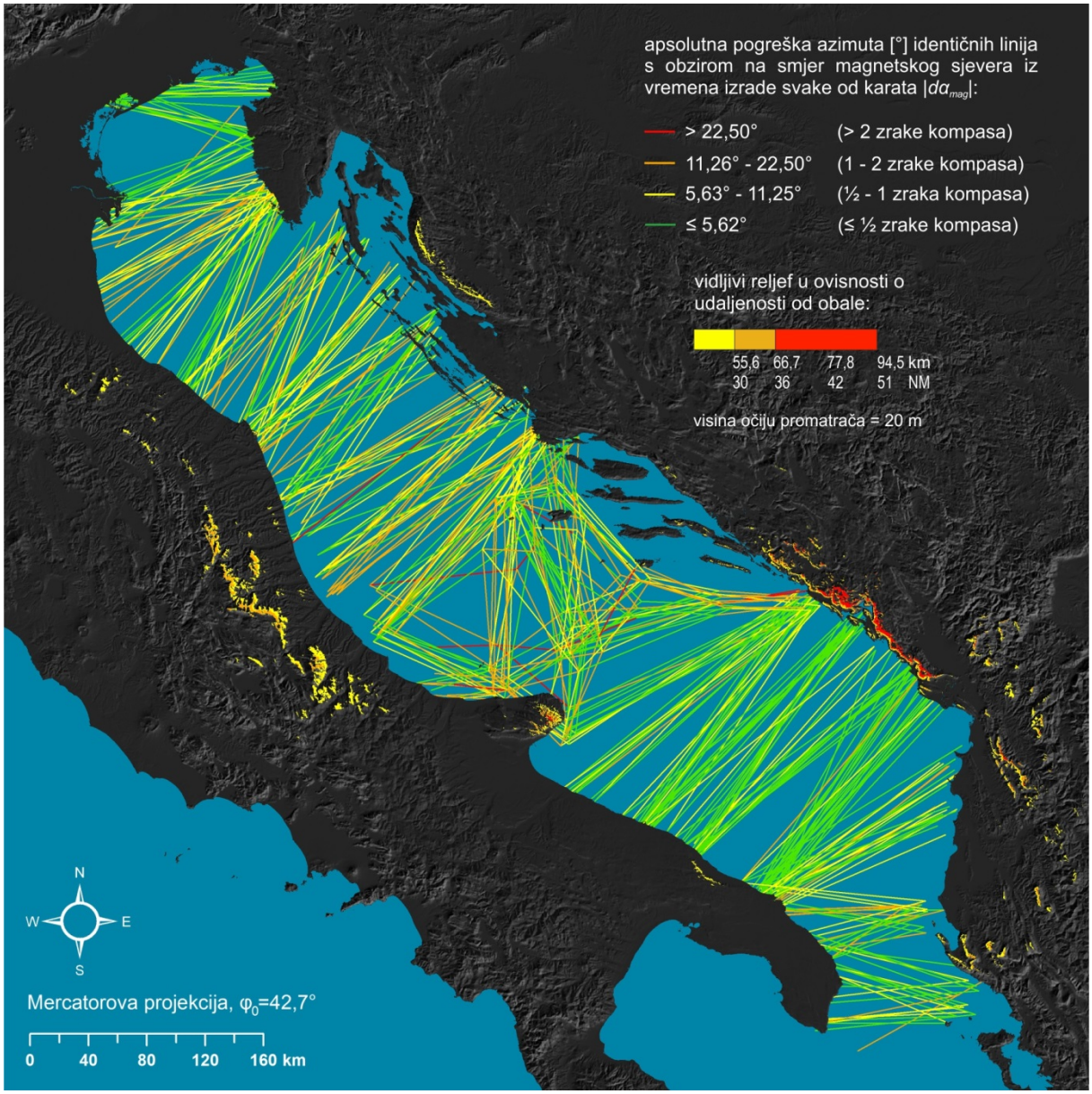
Nastavkom plovidbe, tj. približavanjem broda istočnoj obali na udaljenost od 24 NM, s broda više nije moguće uočiti dijelove reljefa zapadne obale koji su bili vidljivi pri udaljenosti od 24 NM od zapadne obale (Slika 6—24.).



Slika 6—24. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora pri udaljenosti od 44,4 km (24 NM) u ovisnosti o poziciji promatrača.

Na temelju podataka o prostornoj raspodijeli i površini vidljivog reljefa u ovisnosti o udaljenosti od obale, proizlazi da pri plovidbi nekom od prekomorskih ruta na najvećem dijelu Jadranskog mora u vidokrug nije moguće istodobno obuhvatiti reljefne objekte na njegovim nasuprotnim obalama. Također, pučinski dio pri udaljenosti od obale većoj od 30 NM na sjevernom i većoj od 36 NM na srednjem dijelu Jadrana, prostor je na kojem s broda nije moguće vizirati niti jedan reljefni oblik koji se nalazi u relativnoj blizini obale. Na južnom dijelu Jadranskog mora obalni reljef je viši i vidljiv s veće udaljenosti od obale. Međutim, i na

tom dijelu Jadrana, pri plovidbi nekom od prekomorskih ruta, u zoni od 45 NM udaljenosti od zapadne obale do 51 NM udaljenosti od istočne obale, s broda nije moguće uočiti nijedan dio reljefa. Usporedbom točnosti kartiranja prekomorskih azimuta na portulanskim kartama s obzirom na smjer magnetskog sjevera iz vremena njihove izrade, $|d\alpha_{mag}|$ [°] i prostorne raspodijele obalnog reljefa vidljivog s udaljenosti od obale od 30 NM ili većoj, vidljivo je da su oni za prikaz prostora sjevernog i južnog dijela Jadranskog mora s kartirani s razmjerno visokom točnošću, unatoč iznimno slaboj vidljivosti reljefa s otvorenog mora sjevernog Jadrana (Slika 6—25.).



Slika 6—25. Prostorni međuodnos vidljivog reljefa kopna i otoka s mora s udaljenosti od obale od 55,6 km (30 NM) ili većoj i apsolutnih pogrešaka kartiranja azimuta prekomorskih i otočnih linija na portulanskim kartama u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena njihove izrade ($|d\alpha_{mag}|$).

S druge strane, točnost kartiranja azimuta na prostoru srednjeg dijela Jadranskog mora je manja, što se u prvom redu odnosi na točnost kartiranja azimuta linija između pučinskih otoka. Premda je taj regionalno–funkcionalni odnos točnosti kartiranja azimuta prethodno, kartografski i putem dijagrama, prikazan u poglavlju 5.3.2, rezultati tog izračuna odnose se na pogrešku kartiranja azimuta pri rotaciji karata kao produktu georeferenciranja (*MAE* $d\alpha$). Također, u poglavlju 6.2.2 je utvrđeno da prosječna točnost kartiranja azimuta na portulanskim kartama, u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade tih karata, oko 1,6 puta veća od rezolucije ruža vjetrova od 32 smjera prikazanih na samim kartama.

Da bi se točnost kartiranja azimuta prikazala u kontekstu upotrjebljivosti portulanskih karata prilikom navigacije, točnost je potrebno iskazati u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade svake od odabranih karata $|d\alpha_{mag}|$, a iznose točnosti azimuta klasificirati tako da je jednostavno usporediva s rezolucijom ruža vjetrova (Slika 6—25.). Primjenom takvih kriterija, proizlazi da je 39,4 % prekomorskih i otočnih azimuta srednjeg Jadrana kartirano s apsolutnom pogreškom većom od 11,25° u odnosu na magnetski sjever. S druge strane na sjevernom Jadranu toliku pogrešku azimuta ima 18,9 % linija, a na južnom 10,8 %. Drugim riječima, na prikazu sjevernog Jadrana 81,1 % prekomorskih linija je kartirano s apsolutnom pogreškom azimuta manjom ili jednakom 11,25° (43,1 % s $|d\alpha_{mag}| \leq 5{,}62°$), na južnom 89,2 % (64,7 % s $|d\alpha_{mag}| \leq 5{,}62°$), dok na prostoru srednjeg Jadrana za prekomorske i otočne linije taj udio iznosi 60,6 % (32,2 % s $|d\alpha_{mag}| \leq 5{,}62°$).

Usporedbom tih rezultata s rezultatima dobivenim prema modelu vidljivosti proizlazi da je točnost kartiranja azimuta najmanja upravo za prikaz prostora uzduž kojeg je vidljivost kopnenog i otočnog reljefa, prilikom plovidbe prekomorskim rutama, najveća (Slika 6—24.). Prekomorska plovidba metodom zbrojene pozicije najjednostavnija je upravo na području srednjeg Jadrana, budući da se na tom dijelu nalazi najviše objekata koje je prilikom prekomorske plovidbe moguće izravno identificirati na portulanskim kartama. S druge strane, prilikom plovidbe prekomorskim rutama na području sjevernog i južnog dijela Jadranskog mora, istodobno viziranje objekata na nasuprotnim obalama nije moguće, no azimuti takvih ruta su na portulanskim kartama ucrtani točnije.

Na temelju tih podataka jasno je da je upotrebljivost portulanskih karata pri planiranju i izvođenju plovidbe tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka prekomorskim rutama nedvojbena, no oni istodobno otvaraju i pitanje o načinu na koji su te karte izrađene. Naime, ako su portulanske karte izravni grafički produkt objedinjavanja velike količine podatka prikupljenih na temelju brojnih lokalnih mjerenja izvršenih tijekom plovidbe u kasnom srednjem vijeku, iz kojeg razloga su azimuti linija između točaka koje nije moguće istodobno vizirati s broda (0,04°/km za prekomorske linije) točnije kartirani od azimuta linija između točaka koje je s broda moguće istodobno vizirati (0,15°/km za otočne, tj. 0,18°/km za obalne linije)?

6.3.3 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Međuodnos geometrije portulanskih karata i vidljivog reljefa u ovisnosti o udaljenosti od obale, dobiven na temelju modela, nije moguće izravno kvantificirati, budući da oznake priobalnih uzvisina, koje mogu poslužiti kao orijentiri pri navigaciji, na njima nisu ucrtane. Stoga su zaključci o tom međuodnosu izvedeni na temelju interpretacije posrednih pokazatelja, tj. analizom vidljivosti reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale općenito i pretpostavljenim načinom na koji se ona odražava na navigaciju bazenom Jadranskog mora.

U svrhu istraživanja pretpostavljeno je da su ondašnji pomorci, na temelju prethodnih iskustava i zapisa u portulanima, bili u mogućnosti konfiguraciju obalnog reljefa, promatranu iz vlastite perspektive, donekle usporediti s prikazom prostora na portulanskim kartama. Drugim riječima, smatra se da je u slučaju postojanja prethodnog znanja o važnosti određenih obalnih i otočnih vrhova za navigaciju i znanja o njihovom relativnom položaju u odnosu na objekte ucrtane na karti[44], bilo moguće odrediti gdje bi, otprilike, ti vrhovi potencijalno mogli biti ucrtani na portulanskoj karti. Također, pretpostavlja se da su samostalni vrhovi uzvisina u blizini obale i na otocima, poput Monte Conera, Monte Gargana, Televrine (otok Lošinj) ili Huma (otok Vis) korisniji za određivanje pozicije broda od vrhova nanizanih uzduž planinskih hrptova. Postupak određivanja pozicije na karti na temelju raspoznavanja reljefa s mora je, osim nepostojanja oznaka reljefa na samim kartama, otežan i uslijed shematiziranog prikaza obalne crte te vidljivo netočnog prikaza oblika otoka na samim kartama.

Prikazani rezultati analize vidljivosti reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale produkt su primijenjenog modela, čija su temeljna ograničenja odabrana prostorna rezolucija od 500 m te zanemarivanje smanjenja vidljivosti uzrokovanog koncentracijom vodene pare u atmosferi. Također, vidljivost reljefa s mora je, u prikazu rezultata analize, uvjetno regionalno podijeljena na sjeverni, srednji i južni dio Jadrana, iako egzaktno razgraničenje prostora po tom kriteriju nije moguće izvesti. Naime, pojedine istaknute obalne uzvisine koje se nalaze u blizini linija određenih kao granice regionalne podjele prostora u poglavlju 5.3, su vidljive s oba djela prostora razdijeljena tim linijama. Tako je, primjerice, vrh uzvisine Monte Conero vidljiv i s djela sjevernog i s djela srednjeg Jadrana, dok je vrh uzvisine Monte Gargano vidljiv i s dijela srednjeg i s dijela južnog Jadrana.

Najveći dio površine reljefa kopna i otoka po kilometru prijeđenog puta uzduž odabranih pojaseva udaljenosti od obale *AVG ef. ABS A* [km²/km] je, prema primijenjenom modelu, vidljiv s udaljenosti od obale od 6 NM (11,1 km), no gotovo polovicu od ukupne površine vidljivog reljefa moguće je vidjeti i s udaljenosti od obale od 15 NM (27,8 km). Veća ukupna površina vidljivog reljefa ujedno znači i veći broj vidljivih specifičnih samostalnih reljefnih

[44] Primjerice, blizina uzvisine Monte Conero luci Ancona i važnost te uzvisine za navigaciju prema toj luci iz portulana *Compasso de Navegare* (Motzo, 1947.: 29) – spomenuti citat naveden je u poglavlju 6.

oblika, važnih za navigaciju, no s povećanjem udaljenosti od obale, broj takvih objekata, naročito onih koji se nalaze u neposrednoj blizini obale, rapidno opada.

Za sjeverni dio Jadranskog mora pad broja vidljivih samostalnih objekata s povećanjem udaljenosti od obale je najizraženiji. Na području južnog dijela Jadranskog mora reljefne oblike koji se nalaze u blizini obale moguće je uočiti s veće udaljenosti od obale, no duljina prekomorskih ruta koje se pružaju otprilike okomito na longitudinalnu os Jadranskog mora na južnom Jadranu je gotovo upola veća od ekvivalentnih prekomorskih linija na području sjevernog Jadrana[45]. Najveći broj reljefnih objekata koji mogu poslužiti kao orijentiri pri plovidbi na većoj udaljenosti od obale, a koje je moguće s donekle većom sigurnošću identificirati na portulanskim kartama, nalazi se na srednjem Jadranu (Slika 6—24.).

Vidljivost reljefa s mora moguće je usporediti s točnošću kartiranja udaljenosti i točnošću kartiranja azimuta na portulanskim kartama, no ona je u istraživanju uspoređena samo s točnošću kartiranja azimuta. Naime, prijeđenu udaljenost je, na temelju izmjerene brzine broda i trajanja plovidbe, moguće izračunavati i pri plovidbi otvorenim morem. S druge strane, nužan preduvjet za određivanje kursa je poznavanje prostorne konfiguracije odredišnih točaka plovidbe u odnosu na trenutnu poziciju broda, izravno u prostoru ili na pomorskoj karti, ili istodobno i u prostoru i na pomorskoj karti.

S obzirom na izračunanu točnost kartiranja azimuta, jasno je da portulanske karte mogu poslužiti kao iznimno korisno pomagalo prilikom plovidbe, poglavito pri plovidbi nekom od prekomorskih ruta na području sjevernog i južnog dijela Jadrana u uvjetima s nemogućnošću uočavanja reljefnih formi s broda. Pri plovidbi nekom od otočnih ruta na području srednjeg Jadrana, upotrjebljivost portulanskih karata mnogo je manja zbog izrazite neusklađenosti kartiranja položaja pojedinih pučinskih otoka, naročito na kartama starijeg datuma izrade (Slika 6—6.), premda je na tom području mogućnost uočavanja referentnih reljefnih oblika s broda veća, kao i u slučaju dužobalne plovidbe. Pojednostavljeno govoreći, azimuti između točaka koje je s mora moguće jednostavnije uočiti, ucrtani su s manjom točnošću i s većim odstupanjima među pojedinim odabranim kartama od azimuta između čijih je krajnjih točaka međusobna udaljenost mnogo veća i koje nije moguće istodobno vizirati s broda na moru. Razlike u prikazima otoka srednjeg Jadrana, uz neujednačenost prikaza obalne crte na lokalnoj razini na starijim kartama, predstavljaju geometrijski jasno mjerljive intervencije pojedinih kartografa u sadržaj karte, iz čega se može zaključiti da su dijelovi karata na kojima su vidljivi osobni „doprinosi“ kartografa, ujedno i dijelovi na kojima su azimuti kartirani s manjom točnošću.

---

45 Na sjevernom Jadranu, primjerice, linija Pula – Rimini iznosi oko 137 km, a linija Ancona – Veli Rat oko 124 km. Na južnom Jadranu, linija Brindisi – Bar iznosi 180 km, a linija Bari – Dubrovnik 194 km, tj. u prosjeku su dulje od spomenutih linija na sjevernom Jadranu za oko 45 %. Vrijednosti se odnose na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1).

Na temelju tih rezultata, opravdano je posumnjati u hipotezu o izradi portulanskih karata isključivo na temelju mjerenja provedenih tijekom plovidbe iz perspektive pomorca na brodu uz uporabu magnetskog kompasa, koju zastupaju primjerice Winter i Pujades (Winter, 1948.: 24, Pujades, 2007.: 511). Naime, ako su portulanske karte uistinu nastale ucrtavanjem podataka prikupljenih na taj način, logično bi bilo očekivati da će azimuti između objekata koji su međusobno bliže, poput krajnjih točaka razmjerno kraćih obalnih i otočnih linija, a koje je lakše vizirati s broda, na karti biti ucrtani točnije.

Također, stvarna točnost kartiranja udaljenosti uzduž obalnih linija (Slika 5—21.) i izračun prostornog rasporeda vidljivog reljefa pri udaljenosti od obale od 3 NM ili manjoj (Slika 6—16. i Slika 6—17.), u suprotnosti su s prethodno spomenutom hipotezom da su portulanske karte izrađene bez kartografske projekcije na temelju mjerenja azimuta i prijeđene udaljenosti na plohi s konstantnim mjerilom, a čiji su suvremeni zagovornici, primjerice, J. A. Gaspar i D. Turnbull (Turnbull, 1996.: 9; Gaspar, 2007.: 77-78; Gaspar, 2008.: 202; Gaspar, 2010.: 183-198). Naime, s te udaljenosti od obale vidljiv je sav obalni prostor uzduž čitavog bazena Jadranskog mora i stoga ne postoji objektivan razlog zbog kojeg bi obalne linije na sjevernom Jadranu bile sustavno kartirane s većom, a na južnom Jadranu s manjom duljinom, izuzev da je riječ o ciljanoj primjeni kartografske projekcije pri izradi karte.

ZAKLJUČCI

15) *Upotrjebljivost portulanskih karata kao plovidbenih pomagala najviše se ističe pri određivanju kursa prilikom prekomorske plovidbe sjevernim i južnim dijelom Jadranskog mora. Visoka točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija pritom može nadomjestiti nemogućnost viziranja referentnih obalnih objekata s veće udaljenosti od obale.*

16) *Srednji dio Jadranskog mora prostor je s kojeg je moguće uočiti najviše reljefnih oblika koji mogu poslužiti kao referentni objekti prilikom navigacije prekomorskim rutama, no točnost kartiranja prekomorskih azimuta tog dijela prostora je manja. Prostorni raspored točnosti kartiranja azimuta prekomorskih linija (s obzirom na smjer magnetskog sjevera) nije u skladu s hipotezom o izradi portulanskih karata kao grafičkih produkata objedinjavanja velike količine podataka o kursovima izmjerenih tijekom plovidbe.*

6.4 UPOTRJEBLJIVOST PORTULANSKIH KARATA S OBZIROM NA ZAPISE U PORTULANIMA

Ljudsko djelovanje i plovidba Jadranskim morem korijene vuku iz prapovijesti. Najstariji sačuvani trag koji ukazuje na mogućnost plovidbe brodovima na jedra na Jadranskom moru datiran je u sredinu 3. tisućljeća pr. Kr.. Riječ je o dva fragmenta oslikane keramike pronađena u Grapčevoj špilji na Hvaru za koje je G. Novak zaključio da predstavljaju prikaz broda sa zakrivljenim pramcem i jedrima (Novak, 1955., prema Gluščević, 1994.: 27).

Tijekom 8. st. pr. Kr. plovidba Jadranskim morem intenzivirana je osnivanjem grčkih trgovačkih ispostava na ušćima rijeka Jadranskog mora, a u 4. st. pr. Kr. osnovane su najstarije grčke kolonije na Jadranu (Brusić, 1970.: 556; Gluščević, 1994.: 29). U tom razdoblju izrađen je izvornik najstarijeg sačuvanog zapisa o navigaciji Jadranskim morem, Pseudo-Skilakovog *Periplusa* – djela koje sadrži kompilaciju podataka o dužobalnoj plovidbi Sredozemnim i Crnim morem, opisanu u smjeru kazaljke na satu (Suić, 1955.: 122-126; Wilkes, 1995.: 94)[46], koje se može smatrati primitivnom formom suvremenih peljara (Taylor, 1957.: 52). Forma u kojoj je taj zapis sačuvan je, po svoj prilici, rezultat naknadih višestrukih nadopunjavanja, od kojih su posljednje veće nadopune izvršene do 4. st. (Suić, 1955.: 123). Obala Jadranskog mora je u *Periplusu* opisana kao dužobalna plovidba u smjeru kazaljke na satu od juga Italije do obale Epira, podijeljena na 14 poglavlja u kojima su opisani dijelovi prostora naseljeni pojedinim narodima (Slika 6—26.). Duljina plovidbe uzduž teritorija pojedinih naroda je u *Periplusu* prikazana u danima i noćima plovidbe. Jedan dan plovidbe je, prema procjenama, predstavljao duljinu od oko 500 stadija, tj. oko 90 km[47] (Suić, 1955.: 164), no odnos prijeđenog puta i zapisa o njegovom trajanju u danima plovidbe varijabilan je po pojedinim poglavljima (Slika 6—26.).

Uz Pseudo-Skilakov *Periplus*, sačuvani antički periplus je i *Stadiasmus Maris Magni*, nepoznatog autora iz 3. st. (sačuvan je prijepis iz 10. st.) u kojem su udaljenosti izražene u stadijima, no u ta dva zapisa međusobni položaj prostornih objekata nije izražavan u smjerovima vjetra. Najranija poznata uporaba smjerova vjetra za opisivanje prostornih međuodnosa može se utvrditi posredno iz zapisa Strabona (1. st. pr. Kr.), Plinija Starijeg (1. st.) i Agatemerosa (3. st.), koji su, po svoj prilici, podatke preuzeli iz periplusa grčkog pomorca i geografa Timostena (3. st. pr. Kr). Timostenu se pripisuje autorstvo periplusa sačinjenog od 10 knjiga koji nije sačuvan, a u kojem su prostorni međuodnosi iskazivani uz pomoć ruže vjetrova s 12 smjerova (Taylor, 1957.: 52-57).

---

[46] „Pravi Skilaks“, tj. Skilaks iz Karijande, po kojem je spomenuti periplus nazvan, živio je i djelovao gotovo dva stoljeća ranije i bio je fenički kapetan koji je 510. g. pr. Kr. po nalogu perzijskog kralja Darija I. oplovio i dokumentirao obalu od ušća rijeke Ind do Crvenog mora, no ne i Sredozemnog i Crnog mora (Taylor, 1957.: 49-52)

[47] Antički *atički stadij* iznosi oko 185 m (Cardarelli, 1999.: 69).

Slika 6—26. Shematski prikaz odabranih prostornih entiteta i trajanja dužobalnog oplovljavanja Jadranskog mora prema sadržaju Pseudo-Skilakovog *Periplusa* (izvori podataka: Suić, 1955.: 126-166; Wilkes, 1995.: 94-96; Barnett, 2017.: 71.).

6.4.1 PRETHODNA ISTRAŽIVANJA O POVEZANOSTI PORTULANA I PORTULANSKIH KARATA

Izrada periplusa je, koliko je poznato, prakticirana otprilike do 6. st., nakon čega, do kraja srednjeg vijeka i pojave najstarijih sačuvanih portulana, nema pronađenih zapisa o izradi pisanih uputa za plovidbu (Freiesleben, 1983.: 124). Podaci iz periplusa, sačuvani u izvornoj formi ili posredno kao referiranje na izgubljena djela, pojedinim autorima predstavljaju temelj za argumentaciju hipoteze o višestoljetnom kontinuitetu izrade pisanih uputa za plovidbu, koje su u kasnom srednjem vijeku evoluirale u formu portulana. Drugi autori, pak, smatraju da su portulani izvorni produkt kasnosrednjovjekovnog pomorstva.

A. E. Nordenskiöld u razmjerno kratkom osvrtu na portulane kazuje da su upute za plovidbu u tekstualnom obliku prethodile izradi pomorskih karata, tj. kompilaciji „normalne portulanske karte“. Pritom naglašava da je prikaz obale u portulanu Marina Sanuda iz cca. 1306.–1320. g. vrlo sličan redoslijedu prikaza u antičkim tekstovima *Periplus* Pseudo-Skilaksa i *Stadiasmus Maris Magni* (Nordenskiöld, 1897.: 76).

Također, pojedini autori, primjerice T. Fischer i R. Uhden, tekstualne podatke o kursovima i udaljenostima iz portulana dovode u izravnu vezu s izradom portulanskih karata (Fischer, 1886.: 75; Uhden, 1935.: 17). Opsežan tekst o portulanima izradio je 1909. g. K. Kretschmer u djelu u kojem se nalaze i prijepisi sedam portulana (Kretschmer, 1909.: 234-552), od kojih su tri korištena kao sekundarni objekt istraživanja. Kretschmer je njemu poznate portulane prema međusobnoj sličnosti u strukturi grupirao u portulane iz grupe *Parma-Magliabecchi*, grupe *Uzzano* i grupe *Rizo*, dok je portulane Petra de Versija i Gratiosusa Benincase izdvojio kao samostalne forme portulana koje ne pripadaju navedenim grupama (Kretschmer, 1909.: 173). Kretschmer je zagovarao hipotezu da su zapisi u portulanima plod stoljetnih pomorskih iskustava koja su se zapisivala i kontinuirano nadopunjavala još iz vremena antičkih periplusa te da su portulanske karte izrađivane od kasnoga srednjeg vijeka na temelju zapisa iz portulana (Kretschmer, 1909.: 31, 59). Mogućnost izrade portulana na temelju periplusa navodi i E. L. Stevenson, no kazuje da se zbog nepostojanja grčkih toponima i prikazivanja udaljenosti u miljama umjesto u stadijima, portulani mogu smatrati i izvornim talijanskim produktom iz kasnoga srednjeg vijeka. Prema Stevensonu, porast komercijalnih aktivnosti na Sredozemlju tijekom 13. i 14. st. je za posljedicu imao naglu pojavu portulanskih karata kao zamjene za (postojeće) portulane (Stevenson, 1911.: 12, 15-16). Stevenson portulane smatra ključnima za nastanak portulanskih karata, no nije ponudio prijedlog egzaktnog načina na koji su portulanske karte na temelju njih izrađene.

Godine 1947., B. Motzo je u knjizi o najstarijem sačuvanom portulanu *Compasso de Navegare,* datiranog u drugu polovicu 13. st., objavio i prijepis tog portulana (Motzo, 1947.). Izvorni tekst portulana pohranjen je u državnoj knjižnici u Berlinu pod naslovom *Hamilton codex 396* i datiran je u 1296. g., no pretpostavlja se da je riječ o kopiji izvornika koji je mogao biti izrađen najranije 1250. g. (Nicolai, 2014.: 284). B. Motzo smatra da je portulan *Compasso de Navegare* prvi cjeloviti portulan Sredozemnog mora te da je bio temelj za izradu prve portulanske karte uopće, no P. Gautier Dalché tvrdi da je takav pothvat prezahtjevan da bi ga izradila jedna osoba ili nekolicina ljudi. Također, kasnije otkriveni tekstovi, vrlo slični portulanima i datirani u kraj 12. st.; *De viis maris* napisan u Engleskoj te *Liber de Existencia Riveriarum et Forma Maxis nostri Mediterrane*, čiji je autor iz Pise, starijeg su datuma izrade od portulana *Compasso de Navegare* (Gautier Dalché, 2002.: 65-66).

P. Gautier Dalché je 1995. g. objavio knjigu o dokumentu *Liber de Existencia Riveriarum et Forma Maxis nostri Mediterrane*, u kojoj se nalazi i prijepis dokumenta pisanog na latinskom jeziku, kojeg je datirao u 1200. g. i koji je po formi iznimno sličan kasnijim portulanima

(Gautier Dalché, 1995.). U tom dokumentu obalni prostor je opisan u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, udaljenosti su izražene u miljama, a međusobni položaj objekata određen je u odnosu na smjerove vjetra[48] (Gautier Dalché, 1995.: 17-18, 75, 109). Budući da izvorni autor teksta navodi da je uz tekst izradio i kartu, koju naziva *cartula mappe mundi*, a moguće i *forma*[49], Gautier Dalché pretpostavlja da postoji mogućnost da autor zapravo govori o pomorskoj, tj. portulanskoj karti (Gautier Dalché, 1995.: 20, 22, 103-105) te da taj dokument, kao i spomenuti *De viis maris*, otvaraju mogućost da su portulanske karte postojale već u 12. st., iako, moguće, u manje sofisticiranoj formi (Gautier Dalché, 2002.: 66).

PRETHODNA KARTOMETRIJSKA ISTRAŽIVANJA

Najranije detaljno kartometrijsko istraživanje povezanosti portulana s portulanskim kartama je rad J. T. Lanmana *On the Origin of Portolan Charts* iz 1987. g., prikazan u poglavlju 2.1. Lanman je, na temelju zapisa o dužobalnim kursovima iz portulana *Compasso de navegare* i *Parma-Magliabecchi*, izradio pojednostavnjene portulanske karte sačinjene od crta koje predstavljaju odabrane plovidbene rute. Karte je crtao na milimetarskom papiru kao podlozi, po načelu kartiranja na plohi s konstantnim mjerilom (engl. *square grid*), pri čemu je rezultat bio zakrenut u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, kao i portulanske karte (Lanman, 1987.: 6).

Na temelju razmjerno velikog broja udaljenosti u portulanu *Compasso de navegare* zaokruženih na višekratnike broja 10 (65 % ruta), kao alternativni odgovor predlaže i mogućnost nastanka portulana transferom podataka s portulanskih karata (Lanman, 1987.: 6-7), no u konačnici zaključuje da su portulani bili primarni izvor prostornih podataka za izradu portulanskih karata, koje su, također, bile izrađivane crtanjem na plohi s konstantnim mjerilom[50] (Lanman, 1987.: 53). Lanmanov zaključak je i da su podaci iz portulana *Compasso de navegare* i *Pisanske karte* međusobno vrlo slični, da vjerojatno potječu od istog izvora te da je temeljna svrha portulanskih karata bila mogućnost određivanja prekomorskih kursova s visokom točnošću (Lanman, 1987.: 54).

---

48 U dokumentu *Liber de Existencia Riveriarum* glavni vjetrovi su označeni na sljedeći način: *septentrio* (N), *aquilo* (NE), *oriens* (E), *eurus* (SE), *auster* (S), *africus* (SW), *occidens* (W) i *circius* (NW). U portulanima, primjerice u portulanu *Compasso de navegare*, oznake vjetrova su: *tramontana* (N), *greco* (NE), *levante* (E), *sirocco* (SE), *ostro/mezzodi* (S), *libeccio* (SW), *ponente* (W) i *maestro* (NW) (Gautier Dalché, 1995.: 75).

49 Gautier Dalché u svojoj interpretaciji sadržaja dokumenta *Liber de Existencia Riveriarum* nije siguran odnosi li se pojam *forma* na kartografski prikaz ili na stvarni prostor (Gautier Dalché, 1995.: 20).

50 Stupanjska mreža tako izrađene „karte“ bi po čitavom polju karte (za jednake stupanjske intervale), imala oblik kvadrata. Kartografska projekcija s takvim izgledom stupanjske mreže je uspravna ekvidistantna cilindrična projekcija kod koje mjerilo vrijedi uzduž ekvatora ($\varphi_0=0°$) i uzduž svih meridijana, tzv. *plate carrée* projekcija, o čemu je pisano u ranijim poglavljima.

Kartometrijsku analizu podataka iz portulana *Compasso de navegare* izradio je i R. Nicolai u sklopu svoje doktorske disertacije iz 2014. g. (Nicolai, 2014.), pri čemu kritički pristupa Lanmanovim zaključcima, naglašavajući da je njegova interpretacija dobivenih rezultata površna i temeljena na *a priori* promišljanju (Nicolai, 2014.: 275-284, 341). Nicolai je za područje bazena Sredozemnog i Crnog mora u portulanu *Compasso de navegare* identificirao ukupno 1.327 ruta od čega je 958 obalnih (*per starea*) i 369 prekomorskih (*per peleio*), za razliku od Lanmana koji kazuje da je u portulanu zapisano 426 obalnih i 129 prekomorskih ruta (Lanman, 1987.: 5, 19; Nicolai, 2014.: 288).

Na temelju udaljenosti i azimuta između identificiranih točaka, Nicolai je analitički ispitao jesu li pogreške podataka u tekstu portulana *Compasso de navegare* manje kada bi se ti podaci prikupljali s broda prilikom plovidbe (uz zanemarivanje sfernosti Zemljine površine) ili da su preuzeti s portulanske karte pri čemu su duljine na karti bile preračunavane u stvarne udaljenosti na temelju mjerila karte. Rezultati njegove analize pokazali su da su pogreške udaljenosti i azimuta veće za plovidbene rute manje duljine. Zaključuje da je s podacima tako niske razine točnosti za male udaljenosti nemoguće izraditi kartu s razinom točnosti kakvu posjeduju portulanske karte te da je uzrok niske točnosti zapisa u portulanima predimenzioniranost dijelova obale na portulanskim kartama s kojih su ti podaci preuzeti (Nicolai, 2014.: 342). Također, zaključio je da portulanska milja, korištena kao mjera za udaljenost u portulanima, odgovara duljini portulanske milje koju je izračunao na temelju linearnih mjerila prilikom kartometrijske analize odabranih karata. Njegov temeljni zaključak o povezanosti portulanskih karata i portulana jest da su sačuvani portulani nastali preuzimanjem (skaliranjem) podataka s portulanskih karata, tj. da su, općenito, portulanske karte, vjerojatno bile izrađene prije portulana (Nicolai, 2014.: 595-596).

J. A. Gaspar je u recentnom radu prikazao odnos između azimuta prekomorskih ruta u dokumentu *Liber de Existencia Riveriarum* za bazen Sredozemnog mora i njihovih stvarnih azimuta s obzirom na smjer geografskog i s obzirom na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade dokumenta (Gaspar, 2019.). U tom dokumentu za kraće dužobalne rute prikazane su samo udaljenosti u miljama dok su za veće dužobalne rute i za prekomorske rute (*in transfretu*) navedene udaljenosti i azimuti.

Gaspar je na temelju svojih rezultata zaključio da je pogreška azimuta manja u odnosu na geografski sjever te da je dokument vjerojatno pisan na temelju pomorske karte koja je manje sofisticirana od portulanske karte. Takva karta je, prema Gasparu, imala ružu vjetrova s 16 smjerova (rezolucija od 22,5°) i bila orijentirana u odnosu na geografski sjever (Gaspar, 2019.: 16). Gaspar u tom radu, međutim, nije pokušao utvrditi iznos (portulanske) milje u kilometrima na temelju zapisa o udaljenostima iz dokumenta.

6.4.2 ANALIZA PODATAKA O UDALJENOSTIMA I KURSOVIMA IZ PORTULANA

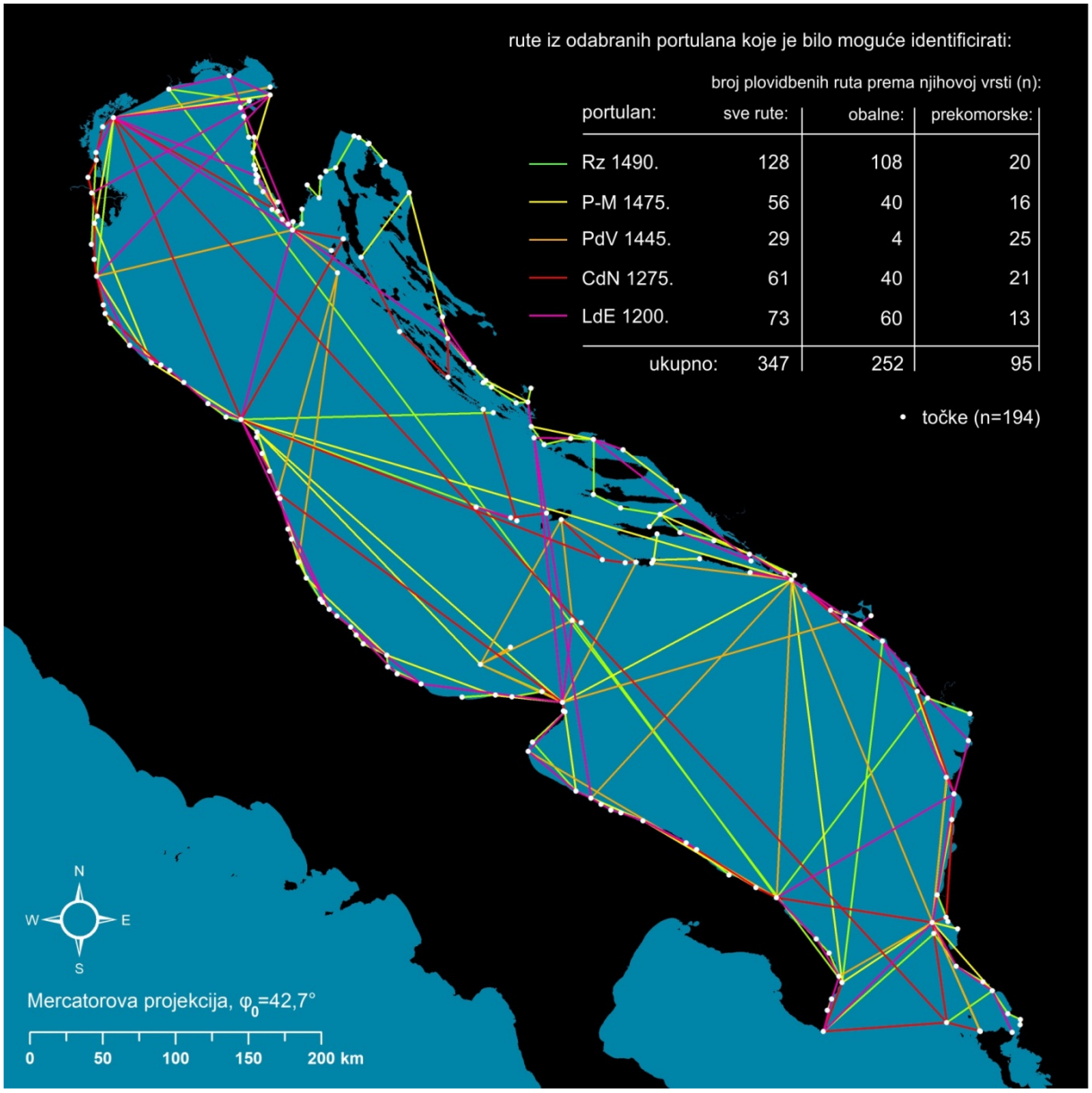
U svrhu određivanja povezanosti portulanskih karata i zapisa u portulanima odabrano je 5 portulana iz kojih su preuzeti zapisi o udaljenostima i kursovima pojedinih plovidbenih ruta za područje Jadranskog mora, a čije je polazišne i odredišne točke bilo moguće identificirati na karti u referentnoj projekciji i za koje postoje podaci o udaljenosti i (ili) kursu. Plovidbenom rutom iz portulana se, u ovom dijelu istraživanja, u pravilu smatra najkraća udaljenost između dvije točke (polazišne i odredišne), s pripadajućom duljinom izraženom u portulanskim miljama (*miglia*, *mia*) i (ili) kursom, izraženim kao smjer vjetra.

Najstariji od odabranih dokumenata, *Liber de Existencia Riveriarum* iz 1200. g. (LdE 1200.), se zbog geografskih sadržaja inkorporiranih u tekst ne smatra portulanom u užem smislu, no odabran je kao izvor podataka jer po formi zapisa svakako predstavlja svojevrsnu preteču kasnijih portulana. Dokument za razliku od tipičnih portulana sadrži kratke historijsko–geografske opise pojedinih regija, a (nepoznati) autor kazuje da je tekst izradio po narudžbi pripadnika klera iz Pise, zbog, po riječima naručitelja, nedovoljno detaljnih prikaza (*forma*) obalnog prostora u raspoloživim izvorima (Gautier Dalché, 1995.: 115; Gaspar, 2019.: 6). Prijepis dokumenta korišten u ovom istraživanju je sastavni dio knjige P. Gautier Dalchéa (Gautier Dalché, 1995.). Podaci iz portulana *Compasso de navegare* (CdN 1275.) preuzeti su iz prijepisa tog dokumenta sadržanog u knjizi B. Motza (Motzo, 1947.). S obzirom na to da je sačuvani dokument datiran u 1296. g., no izvornik je, moguće, bio izrađen 1250. g., kao okvirna godina njegove izrade odabrana je 1275. g.. Podaci iz portulana Pietra de Versija iz 1445. g. (PdV 1445.), *Parma-Magliabecchi* (kompilacija sastavljena od pet portulana datiranih u razdoblje od sredine 15. do sredine 16. st.; 1475. kao godina izrade pridružena je okvirno) (P-M 1475.) i *Rizo* iz 1490. g. (Rz 1490.), preuzeti su iz prijepisa sadržanih u knjizi *Die italienischen Portolane des Mittelalters ...* K. Kretschmera (Kretschmer, 1909.).

U istoj knjizi nalazi se i prijepis portulana Gratiosusa Benincase iz 1470. g. u kojem se nalazi *Toleta de Marteloio* u pisanom obliku i za koji sam autor tvrdi: *I quali porti et senbianze di terre non sono tratte niuna de la charta, ma sono tochate chon mano et vegiute cholli ochi*, tj. da luke i reljefni oblici nisu precrtani s karata već su „dodirnuti rukom i viđeni okom“ (Kretschmer, 1909.: 358). Premda je portulanska karta istog autora korištena kao primarni objekt istraživanja, ovaj portulan izuzet je iz analize. Razlog je tomu što je portulan koncipiran tako da su prikazane rute kratke, a fokus je stavljen na prikaz dubina mora pojedinih uvala i sidrišta, što nije predmet ovog istraživanja.

Iz zapisa u odabranim portulanima je, između ukupno 194 identificirane točke, ucrtano i u bazu podataka uvršteno ukupno 347 ruta s pripadajućim podacima o udaljenostima i (ili) kursu, podijeljenih na 252 obalne rute i 95 prekomorskih ruta (Slika 6—27.). Identificirane i preuzete točke i rute ne predstavljaju ukupnu količinu prostornih podataka za Jadransko more sadržanih u odabranim portulanima. Preuzeti podaci odnose se na rute kojima je bilo moguće s većom sigurnošću odrediti polazišne i odredišne točke i za koje postoji naveden

zapis o njihovoj duljini u (portulanskim) miljama. Naime, u prijepisima dokumenata iz kojih su podaci preuzeti, nisu navedene brojčane vrijednosti duljine svih ruta iako je, prema sintaksi rečenica iz prijepisa, vidljivo da su ti podaci postojali u izvornom dokumentu. Budući da podaci nisu preuzeti iz izvornih dokumenata, razlog izostanka podataka o duljinama za pojedine rute može biti oštećenje tih zapisa u izvornom dokumentu, tj. nemogućnost autora prijepisa izvornih dokumenata da te numeričke vrijednosti egzaktno identificiraju.



Slika 6—27. Prikaz ruta čije je polazišne i odredišne točke bilo moguće identificirati na temelju zapisa iz portulana, prikazane kao najkraća poveznica između točaka – neke rute zapisane su u dva ili više portulana,tj. na karti su u potpunosti preklopljene.

Za određeni dio ruta iz portulana nedostaje podatak o kursu. U pojedinim slučajevima je, kao i za zapise o udaljenostima, vidljivo da su ti podaci postojali, no da ih u suvremeno doba više nije bilo moguće točno očitati. S druge strane, za jedan dio ruta (sudeći po sintaksi rečenica u kojima se u tekstu na njih referira), vrijednosti o kursu po svoj prilici nisu uopće bile navedene u izvornom dokumentu. Vrijednosti o kursu su u pravilu manje zastupljene za obalne rute. Primjerice, u portulanu *Rizo* (Rz 1490.), za velik broj dužobalnih ruta navedena je samo udaljenost, dok je podatak o smjeru opisni, tj. navedeno je samo da je riječ o plovidbi uz obalu (*per staria* ili *per riuera*). Od ukupnog broja identificiranih i preuzetih ruta, podaci o kursovima ustanovljeni su za 88 od 95 prekomorskih ruta (oko 93 %) i za 120 od 252 obalne rute (oko 48 %).

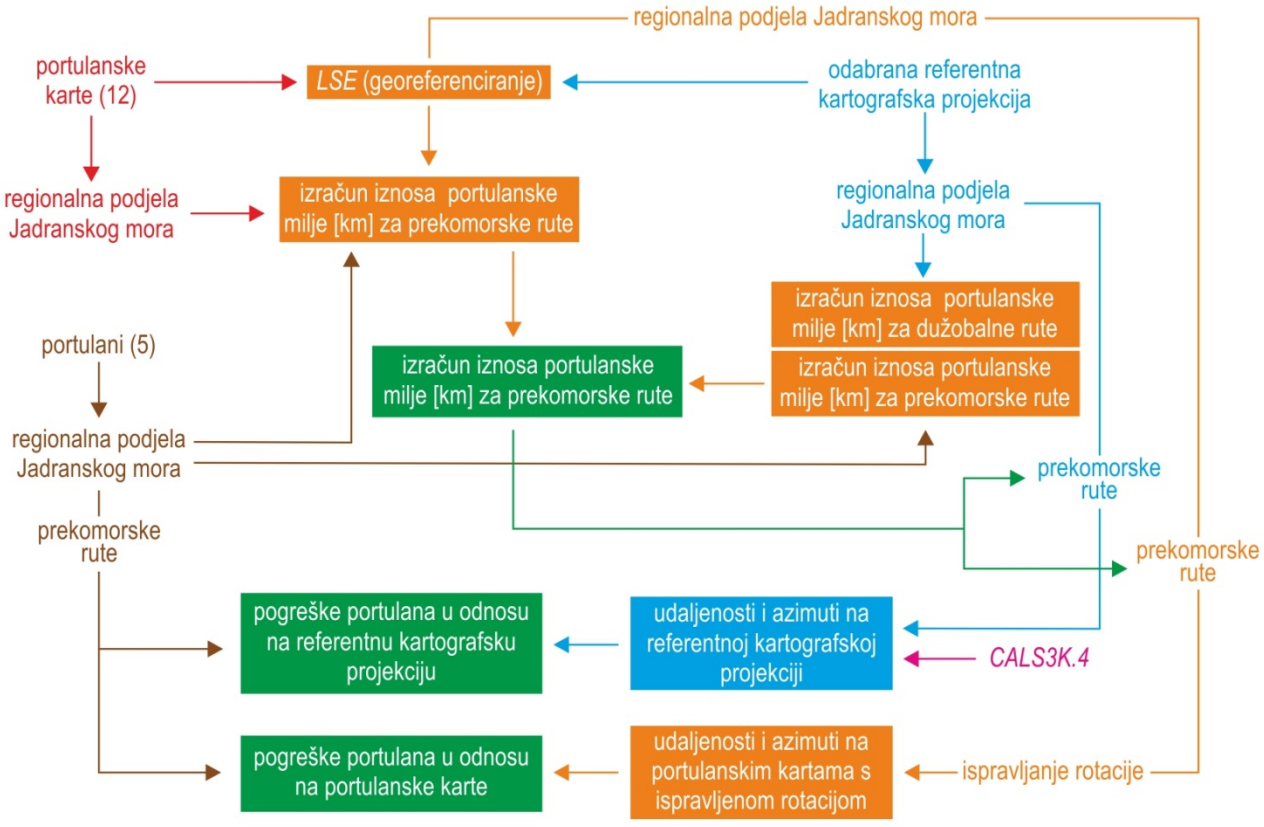
Primarni cilj ovog dijela istraživanja jest određivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na zapise iz portulana. Usporedba tih dvaju plovidbenih pomagala je isključivo kvantitativna i temelji se na analitičkoj usporedbi geometrije portulanskih karata s „geometrijom“ zapisa u portulanima, pri čemu je usporedba izvršena usporedbom kursova i udaljenosti iz zapisa u portulanima s ekvivalentnim vrijednostima na portulanskim kartama.

Azimute na kartama i u portulanima je, zbog poznate mjerne jedinice za kut (izražene kao smjer vjetra), relativno jednostavno međusobno usporediti za razliku od međusobne usporedbe udaljenosti, budući da su zapisi o udaljenostima u portulanima izraženi u portulanskim miljama [PM]. Iz tog razloga, prvi korak postupka odnosi se na izračun iznosa portulanske milje u kilometrima na temelju zapisa u portulanima te usporedba rezultata tog izračuna s prethodno dobivenim rezultatima o iznosu portulanske milje u kilometrima na temelju linearnih mjerila na portulanskim kartama (poglavlje 6.1.4).

Iznos portulanske milje, prema zapisima iz portulana o udaljenosti između točaka, izračunan je usporedbom tih podataka s duljinama ruta na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) kao referentnoj plohi i usporedbom s duljinama identičnih ruta na svakoj od odabranih portulanskih karata georeferenciranih na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°. Pritom su na kartu u referentnoj projekciji ucrtane sve rute identificirane u portulanima, dok su na georeferencirane portulanske karte ucrtane samo prekomorske rute iz nekoliko razloga. Prvi razlog je nemogućnost identificiranja svih obalnih točaka spomenutih u portulanima na svim odabranim portulanskim kartama. Naime, u portulanu Rz 1490. je navedeno preko stotinu lokacija koje je moguće identificirati samo na portulanskim kartama krupnijeg mjerila (karte B). Drugi razlog je taj što je prikaz obalne crte i otoka unutrašnjih morskih voda na portulanskim kartama, poglavito na kartama sitnijeg mjerila (karte A), iznimno shematiziran (Slika 1—6., Slika 1—7.), dok su, istodobno, duljine obalnih ruta u portulanima relativno kratke. Stoga je pretpostavljeno da bi izračun duljine portulanske milje na temelju takvog skupa ulaznih podataka sadržavao prekomjeran broj statističkih pogrešaka. Treći razlog izostavljanja usporedbe obalnih ruta izravno s portulanskim kartama je prethodno izračunana visoka točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija na portulanskim kartama. Termin

prekomorske rute se, u ovom dijelu istraživanja, odnosi na rute iz portulana kojima su povezane točke pozicionirane na obali kopna i na otocima, a podijeljene su u tri podskupine: rute kopno–kopno (K–K), rute kopno–otok (K-O) i rute otok–otok (O–O).

Na temelju određivanja (pretpostavljenog) iznosa portulanske milje moguće je izračunati pogrešku zapisa o duljinama prekomorskih ruta iz portulana u odnosu na odgovarajuće prekomorske udaljenosti na karti u referentnoj projekciji (uzimajući u obzir distorzije u prikazima duljina kao posljedice preslikavanja Zemljine sferne površine u ravninu), kao i u odnosu na odgovarajuće prekomorske udaljenosti na odabranim portulanskim kartama. Također, na isti način, moguće je izvršiti i usporedbu kursova prekomorskih ruta iz portulana s odgovarajućim azimutima na referentnoj projekciji i azimutima na odabranim portulanskim kartama, pri čemu je potrebno uzeti u obzir iznose magnetske deklinacije iz vremena izrade pojedinih portulana. Pojednostavljeni slijed primijenjenih metodoloških postupaka prikazan je na hodogramu (Slika 6—28.), čiji su pojedini elementi detaljnije pojašnjeni u kasnijim odlomcima ovog poglavlja.



Slika 6—28. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na zapise u portulanima.

6.4.3 PORTULANI I PORTULANSKA MILJA

Izračun duljine portulanske milje u kilometrima na temelju tekstualnih zapisa o duljinama ruta preuzetih iz odabranih portulana temeljni je preduvjet kvantitativne usporedbe portulana i portulanskih karata. U poglavlju 6.1.4. utvrđeno je da je iznos portulanske milje, izračunan na temelju linearnih mjerila na portulanskim kartama, u ovisnosti ne samo o kartografskoj projekciji na koju su portulanske karte georeferencirane, već i o geografskoj širini projekcije uzduž koje je mjerilo karte valjano (φ_0). Tako, primjerice, proizlazi da jedna portulanska milja iznosi oko 1,16 km georeferenciranjem portulanskih karata na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° i oko 1,28 km georeferenciranjem na Mercatorovu projekciju φ_0=36° (Tablica 6—4., Tablica 6—5.). Budući da se zapisi o udaljenostima u portulanima po svoj prilici odnose na stvarne dimenzije u prirodi, utvrđivanjem iznosa portulanske milje na temelju zapisa u portulanima, moguće je približno odrediti i geografsku širinu za koju je linearno mjerilo portulanskih karata valjano.

Zapisi o plovidbenim rutama iz portulana s pripadajućim udaljenostima, izraženim u portulanskim miljama, precrtani su na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) kao referentnu plohu, temeljem čega je izračunana, uvjetno rečeno, „stvarna“ duljina tih ruta u kilometrima. Naime, rezultat izračuna njihovih duljina uvjetovan je projiciranjem plohe elipsoida u ravninu, no budući da je Mercatorova projekcija definirana parametrima φ_0=42,7° i M=1 ploha koja najvjernije prikazuje taj prostor u ravnini, a da prikaz kursova pritom ostaje bez deformacija, te vrijednosti su, u svrhu istraživanja, tretirane kao stvarne vrijednosti.

PROBLEM TOČNOSTI DULJINA OBALNIH RUTA U PORTULANIMA

Prosječni iznos portulanske milje izražen u kilometrima, *1 PM calc.,* izračunan je dijeljenjem izmjerene duljine svake pojedine rute [km] na karti u referentnoj projekciji s podatkom o njezinoj duljini preuzetim iz portulana [PM]. Izračunane vrijednosti grupirane su prema vrsti ruta (obalne i prekomorske), a prosječne vrijednosti portulanske milje izračunane su i za svaki od odabranih portulana. Prosječna izračunana vrijednost portulanske milje iznosi 1,40 km za obalne rute i 1,33 km za prekomorske rute (Tablica 6—6.). Razlika u izračunu srednje vrijednosti od oko 70 m (0,07 km) među dvjema vrstama ruta nije velika i mogla bi se pripisati pogreškama pri unosu podataka (pogreškama identificiranja i smještanja pojedinih točaka na referentnu kartu) da ne postoje iznimne razlike u rasponu izračunanih vrijednosti između prekomorskih i obalnih ruta, naročito kada se uzmu u obzir njihove prosječne duljine. Naime, prosječna duljina prekomorskih ruta iz portulana iznosi 129,3 km, pri čemu najmanja izračunana vrijednost portulanske milje iznosi 0,69 km a najveća 3,60 km (ukupni raspon iznosi 2,91 km). Prosječna duljina obalnih ruta, s druge strane, iznosi 29,3 km, a izračunani iznos portulanske milje nalazi se u rasponu od 0,21 km do 10,38 km (ukupni raspon iznosi

10,17 km). Drugim riječima, obalne rute su u prosjeku gotovo 4,5 puta kraće, no imaju oko 3,5 puta veći ukupni raspon izračunane vrijednosti portulanske milje.

U poglavlju 6.4.1 prikazano je da pojedini autori, primjerice K. Kretschmer ili B. Motzo, smatraju da su zapisi u portulanima autentični skup podataka izmjerenih izravno u plovidbi i na temelju kojeg su potom izrađene portulanske karte. Isti zaključak dijeli i J. T. Lanman usprkos provedenom kartometrijskom istraživanju zapisa u portulanima. Međutim, ako su podaci iz portulana izravan produkt mjerenja provedenih tijekom plovidbe, logično je pretpostaviti da će kraće rute biti izmjerene s manjom varijabilnošću naspram duljih ruta, što na uzorku ruta u ovom istraživanju nije slučaj. Do istog zaključka, u svojem istraživanju podataka iz portulana *Compasso de Navegare*, došao je i R. Nicolai, na temelju čega je zaključio da su podaci iz portulana najvjerojatnije nastali skaliranjem s portulanskih karata umjesto izravnim mjerenjima provedenim prilikom navigacije. Iznimne pogreške udaljenosti i kursa, izmjerene za kratke obalne rute, argumentira predimenzioniranošću dijelova obalne crte na portulanskim kartama s kojih su te vrijednosti skalirane (Nicolai, 2014.: 311-316, 319-325).

Prosječna vrijednost portulanske milje za obalne rute od 1,40 km izračunana je tako da su one na referentnu kartu ucrtane kao ravne crte koje predstavljaju najkraću poveznicu između polazišne i odredišne točke (Slika 6—27.), što znači da na pojedinim dijelovima „presijecaju kopno“, tj. da su navigacijski neizvedive. Uz taj izračun, izvršen je i dodatni izračun njihove duljine tako da su ucrtane kao razlomljene crte koje „zaobilaze kopno“ i koje su navigacijski izvedive. S takvim načinom ucrtavanja obalnih ruta, izračunana prosječna vrijednost portulanske milje iznosi 1,51 km (s rasponom vrijednosti od 0,25 km do 10,42 km i *SD* od 0,90 km), a njihova prosječna duljina iznosi 31,5 km, no te vrijednosti nisu korištene u daljnjoj analitičkoj obradi iz nekoliko razloga.

Raspon i varijabilnost izračunanih vrijednosti portulanske milje za obalne rute ucrtane kao navigacijski izvedive veći su u odnosu na iste vrijednosti izračunane iz ruta ucrtanih kao ravne crte. Također, izračunani prosječni iznos portulanske milje [km] je veći za rute ucrtane kao navigacijski izvedive u odnosu na vrijednosti izračunane iz istih ruta ucrtanih kao ravne crte. Naime, udaljavanjem izračunane prosječne vrijednosti portulanske milje od iznosa 1,16 km ili 1,28 km, dobivenog na temelju provedenog izračuna (Tablica 6—4., Tablica 6—5.) te od iznosa 1,34 km (Kelley, 1979.: 18-19), 1,25 km (Campbell, 1987.: 389) i 1,24 km (Nicolai, 2014.: 263-264) iz prethodnih istraživanja, povećava se vjerojatnost da je metoda njezina izračuna pogrešna. Primjerice, izračunani iznos portulanske milje za rute *Signia* – *Zara* (Senj – Zadar) i *Cauo Sesto* – *Spalatro* (Primošten – Split) iz portulana P-M 1475., kada ih se ucrta kao ravne crte, iznosi 1,72 i 1,45 km. Kada se te iste rute ucrtaju kao (najkraće) navigacijski izvedive, izračunana vrijednost portulanske milje iznosi 2,14 km i 1,83 km. R. Nicolai je utvrdio da obalne rute iz portulana, kada ih se ucrta na suvremenu kartu, nerijetko „presijecaju kopno“, no da su ti isti konflikti plovidbenih ruta i kopna često izbjegnuti kada ih se ucrta na pojedine portulanske karte, čime dodatno argumentira svoju tezu o preslikavanju

tih vrijednosti s portulanskih karata (Nicolai, 2014.: 322). Nicolai smatra da zbog sigurnosti plovidbe nema potrebe da se rute koje su (relativno) točno izmjerene prilikom plovidbe i koje su sačinjene od mnogo manjih ruta izvedenih tako da se plovidbom zaobilazi kopno (ako su ta mjerenja postojala), u portulanima naknadno pojednostavni i zamijeni s jednim podatkom o udaljenosti (i kursu) koji je manje točan, a moguće i navigacijski neizvediv (Nicolai, 2014.: 343).

IZNOS PORTULANSKE MILJE S OBZIROM NA VRSTU I DULJINU RUTA

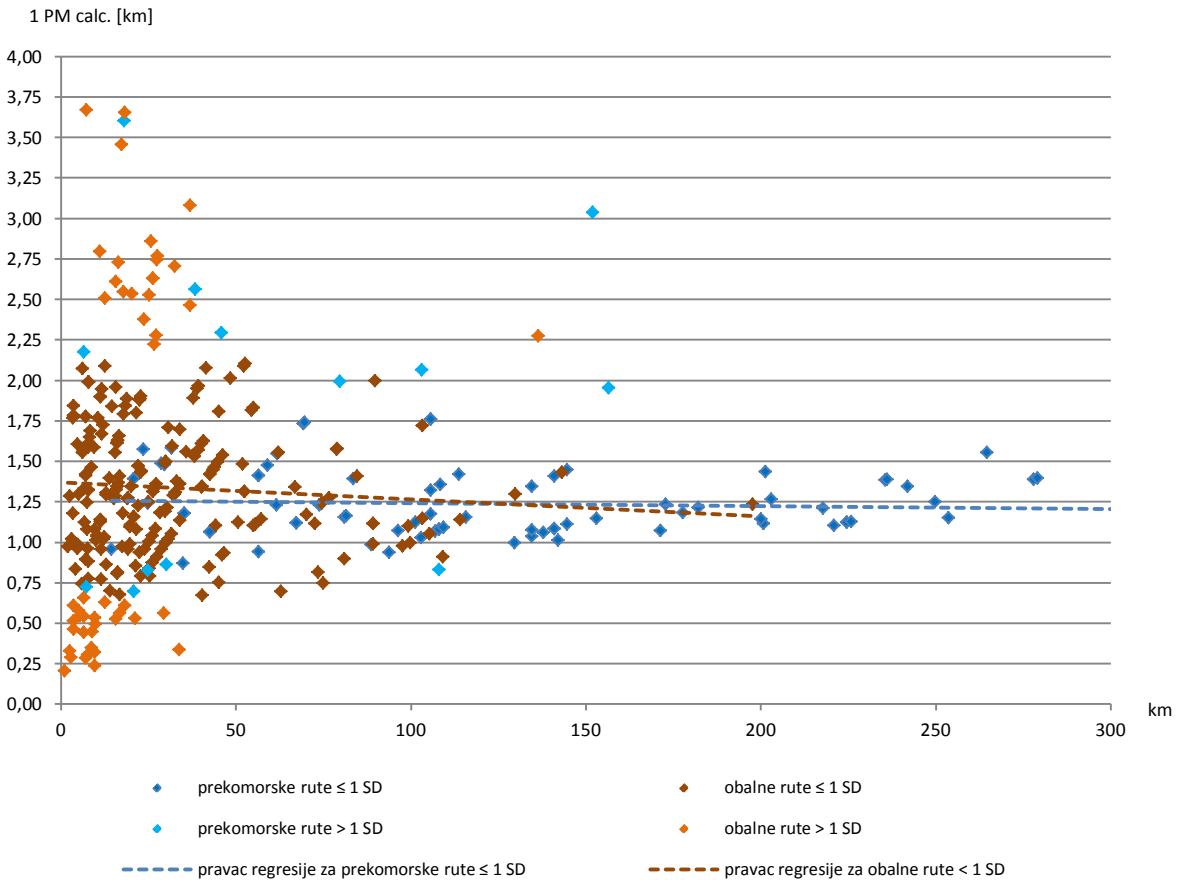
S obzirom na izračun duljine portulanske milje na temelju linearnih mjerila portulanskih karata i na zaključke prethodnih autora o njezinoj duljini, pretpostavljeno je da se njezina vrijednost nalazi u rasponu od 1,15 do 1,35 km. Međutim, rasponi izračunanih vrijednosti na karti u referentnoj projekciji 0,69–3,60 km za prekomorske i 0,21–10,38 km za obalne rute, predstavljaju iznimno disperziran uzorak kojem je u svrhu daljnje statističke obrade potrebno ukloniti ekstremne vrijednosti.

Oslonjeno na prethodne rezultate o iznosu portulanske milje, hipotetski arbitrarni kriterij za uklanjanje ekstremnih vrijednosti mogao bi biti da se njima smatraju one manje od 1,15 km i veće od 1,35 km u strožoj inačici, ili manje od 1,00 km i veće od 1,50 km u blažoj inačici. Kriterij primijenjen u ovom istraživanju određen je statistički, tako da se ekstremnim vrijednostima smatraju one koje se nalaze izvan prve standardne devijacije ukupnog uzorka ruta (> *±1 SD*), iako se iznosi standardne devijacije za pojedine portulane unutar ukupnog uzorka međusobno razlikuju. Također, obalne i prekomorske rute tretirane su kao dva odvojena skupa podataka, tj. za svaki skup izračunana je pripadajuća mu standardna devijacija (Tablica 6—6.).

Tablica 6—6. Izračun duljine portulanske milje (*1 PM calc.*) [km], usporedbom zapisa u portulanima s ekvivalentnim udaljenostima na karti u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1): 1) ukupni uzorak identificiranih ruta, 2) pročišćeni uzorak – rute čija se izračunana vrijednost portulanske milje [km] nalazi unutar ±1 *SD* [km] pripadajućeg ukupnog uzorka.

	1 - sve identificirane rute						2 - rute pod uvjetom: 1 PM ≥ -1 AVG SD i 1 PM ≤ 1 AVG SD					
	LdE 1200.	CdN 1275.	PdV 1445.	P-M 1475.	Rz 1490.	AVG	LdE 1200.	CdN 1275.	PdV 1445.	P-M 1475.	Rz 1490.	AVG
PREKOMORSKE RUTE												
broj ruta	13	21	25	16	20		11	17	23	15	16	
udio ruta (2)							85 %	81 %	92 %	94 %	80 %	**86 %**
1 PM calc. [km]	**1,40**	**1,27**	**1,33**	**1,41**	**1,25**	**1,33**	**1,27**	**1,22**	**1,27**	**1,27**	**1,18**	**1,24**
SD [km]	0,64	0,42	0,30	0,58	0,36	**0,46**	0,23	0,22	0,22	0,15	0,15	**0,19**
OBALNE RUTE												
broj ruta	60	40	4	40	108		52	31	4	32	83	
udio ruta (2)							87 %	78 %	100 %	80 %	77 %	**84 %**
1 PM calc. [km]	**1,35**	**1,65**	**1,21**	**1,39**	**1,40**	**1,40**	**1,28**	**1,37**	**1,21**	**1,40**	**1,34**	**1,32**
SD [km]	0,55	1,55	0,26	0,54	0,76	**0,73**	0,37	0,37	0,26	0,29	0,37	**0,33**

Portulanska milja za ukupni uzorak prekomorskih ruta na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° iznosi 1,33 km sa standardnom devijacijom od 0,46 km (±34,6 %). Analogne vrijednosti za obalne rute su 1,40 km kao iznos portulanske milje sa standardnom devijacijom od 0,73 km (±52 %) (2,6 puta veći uzorak s 1,5 puta većom disperzijom). Drugim riječima, za prekomorske rute raspon izračunanih vrijednosti portulanske milje [km] unutar *SD* iznosi od 0,87 km do 1,79 km, dok za obalne rute taj raspon iznosi od 0,67 km do 2,13 km. Pročišćeni uzorak prekomorskih ruta iznosi 86 % ukupnog uzorka (82 od 95 ruta) s prosječnom vrijednošću portulanske milje od 1,24 km i *SD* od 0,19 km (±15 %). Pročišćeni uzorak obalnih ruta iznosi 84 % ukupnog uzorka (202 od 252 rute) s prosječnom vrijednošću portulanske milje od 1,32 km i *SD* od 0,33 km (±25 %) (2,5 puta veći uzorak s 1,7 puta većom disperzijom) (Tablica 6—6.). Na grafičkom prikazu povezanosti disperzije uzorka i duljine ruta (Slika 6—29.) vidljivo je da disperzija u pravilu opada s povećanjem duljine rute, naročito za obalne rute. Dijagram je, u svrhu preglednosti, prikazan u reduciranom obuhvatu za obje osi – prikaz s punim obuhvatom vrijednosti na osima nalazi se u sekciji priloga (Slika 10—20.)



Slika 6—29. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1) [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak ruta s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi.

U sekciji priloga, povezanost disperzije uzorka i duljine ruta grafički je raščlanjena na dva samostalna dijagrama. Na jednom od njih (Slika 10—18.) taj odnos je prikazan za prekomorske rute, a na dijagramu podno njega (Slika 10—19.) za obalne rute ucrtane kao ravne crte. Usporedbom tih dvaju dijagrama vidljivo je da varijabilnost izračunane vrijednosti portulanske milje za obalne rute, čak i na njihovom pročišćenom uzorku, raste sa smanjenjem njihove duljine mnogo više nego što je to slučaj kod prekomorskih ruta. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima R. Nicolaija o odnosu pogrešaka i duljina ruta u portulanu *Compasso de Navegare* (Nicolai, 2014.: 312, 316). Također, na temelju ovih rezultata vidljivo je da povezanost porasta varijabilnosti izračunane vrijednosti portulanske milje sa skraćivanjem duljine rute nije svojstvena isključivo portulanu *Compasso de Navegare*, već i ostalim (odabranim) portulanima.

Na temelju izračuna duljine portulanske milje od 1,32 km za obalne i 1,24 km za prekomorske rute (na pročišćenom uzorku ruta) iznos portulanske milje nije moguće egzaktno utvrditi. Međutim, zbog mnogo manje disperzije iznosa portulanske milje [km] s obzirom na duljinu rute [km] na uzorku prekomorskih ruta općenito, a naročito na pročišćenom uzorku, moguće je uvjetno zaključiti da ta vrijednost za prostor Jadranskog mora prikazanog u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° iznosi približno 1,24 km.

IZNOS PORTULANSKE MILJE S OBZIROM NA GEOMETRIJU KARTE

Izračunana vrijednost portulanske milje za prekomorske rute valjana je s obzirom na geometriju prikaza Jadranskog mora na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Međutim, postoji objektivna mogućnost da je izračunani iznos portulanske milje različit kada se zapisi o udaljenostima iz portulana usporede s duljinama na portulanskim kartama, ponajprije zbog prethodno utvrđenih pogrešaka prikaza duljina na prikazu Jadranskog mora.

Naime, prema rezultatima analize regionalnih razlika u točnosti kartiranja udaljenosti, provedene u poglavlju 5.3.1, Jadransko more je na portulanskim kartama prikazano širim u odnosu na prikaz na referentnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, i to za oko 6,3 % na južnom i oko 28,9 % na sjevernom dijelu. Logična pretpostavka je, stoga, da takvo „proširenje prikaza od juga prema sjeveru“, tj. izračunana razlika u geometriji karata, utječe na rezultat izračuna portulanske milje u odnosu na pojedine portulanske karte.

Izračun iznosa portulanske milje uvjetovanog geometrijom portulanskih karata temeljen je na pročišćenom uzorku prekomorskih ruta, koji na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° ima prosječnu vrijednost od 1,24 km, s rasponom od 0,87 km do 1,79 km. Pročišćeni uzorak prekomorskih ruta iz 5 odabranih portulana (Tablica 6—6.) ucrtan je na svaku od 12 odabranih portulanskih karata, prethodno georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° korištenjem 4-parametarske konformne transformacije (Slika 4—2.).

S obzirom na to da je najveći dio odabranih portulanskih karata novijeg datuma izrade od odabranih portulana (primjerice, karta VDVb 1593. je izrađena četiri stoljeća nakon portulana LdE 1200. i stoljeće nakon portulana Rz 1490.), potencijalno opravdaniji postupak usporedbe bio bi da se rute iz portulana ucrtaju samo na portulanske karte bliskog im datuma izrade. Analitička usporedba pročišćenog uzorka prekomorskih ruta iz svih odabranih portulana sa svim odabranim portulanskim kartama izvršena je zbog prethodno utvrđene izrazite međusobne sličnosti prikaza obalne crte kopna na portulanskim kartama.

Pročišćeni uzorak prekomorskih ruta je u svrhu dodatne analitičke obrade kategoriziran i prema dijelu prostora uzduž kojeg se pojedine rute većim dijelom protežu na sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. Iz tog uzorka su, u svrhu izračuna, izuzete i rute *Othonoi – Venecija* (CdN 1275.) i *Caorle – Otranto* (Rz 1490.) koje spadaju u longitudinalni tip ruta, tj. nije ih moguće svrstati u nijednu od tri upotrijebljene regionalne kategorije. Granice regionalne podjele iste su kao i za regionalnu podjelu prikaza na portulanskim kartama (Slika 4—1.). Cilj ove podjele je ispitivanje razlika u izračunanom iznosu portulanske milje između različitih dijelova Jadranskog mora na portulanskim kartama i na suvremenim kartama u referentnim projekcijama. Naime, ako je portulanska milja bila jedinstvena mjerna jedinica, a po svoj prilici jest (barem za prostor Jadranskog mora kao cjeline[51]), logično je pretpostaviti da su izračunane vrijednosti njezinog iznosa približno jednake po čitavom polju karte, neovisno o tome nalazi li se određena ruta na sjevernom ili južnom dijelu Jadranskog mora. Regionalna podjela ruta izvršena je za sve odabrane portulanske karte te za dvije referentne projekcije: Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° i kosu gnomonsku projekciju φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0°. Kosa gnomonska projekcija pridodana je ovom izračunu zbog toga što je na karti u toj projekciji (zbog prikaza konvergencije meridijana), prikaz duljina manje deformiran nego na karti u Mercatorovoj projekciji. Budući da su u ovom dijelu izračuna kursovi ruta zanemareni, karta u kosoj gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0° predstavlja vjerniji prikaz „stvarnosti“. Potencijalno najveća izračunana regionalna izjednačenost iznosa portulanske milje u odnosu na prikaz Jadranskog mora u toj projekciji implicirala bi da su podaci o udaljenostima iz portulana, vrlo vjerojatno, autentičan produkt mjerenja izvršenih prilikom plovidbe.

Iznos portulanske milje, *1 PM calc.* [km] izračunan je za svaki pojedini portulan u odnosu na svaku pojedinu kartu te za sve portulane ukupno s obzirom na regionalnu podjelu Jadranskog mora. Putem standardnih devijacija *SD* [m], izražene su varijacije u izračunu iznosa portulanske milje za ukupni uzorak ruta iz portulana (Tablica 10—1.) te za uzorak

[51] Prema rezultatima kartometrijske analize pet portulanskih karata R. Nicolaija, izračunani iznos portulanske milje varijabilan je za različite bazene Sredozemnog mora i za Crno more na različitim odabranim portulanskim kartama, a kreće se u rasponu od 1,16 km do 1,31 km (Nicolai, 2014.: 263). Ti rezultati su produkt metodologije primijenjene prilikom kartometrijske obrade te predstavljaju procijenjeni, no ne nužno i stvarni iznos portulanske milje u kilometrima.

portulana bez portulana LdE 1200. (Tablica 6—7.) s obzirom na dio Jadranskog mora na kojem se rute nalaze. Ovim postupkom utvrđeno je povećanje izračunanog iznosa portulanske milje u odnosu na geometriju portulanskih karata u usporedbi s vrijednostima izračunanim u odnosu na geometrije referentnih kartografskih projekcija.

Prosječna vrijednost *1 PM calc.* u odnosu na geometriju portulanskih karata iznosi oko 1,31 km kada se u obzir uzmu svi portulani, tj. oko 1,29 km ako se iz izračuna prosječne vrijednosti izuzme portulan LdE 1200. Naime, iznos *1 PM calc.* je za taj portulan u odnosu na geometriju portulanskih karata za 164 m veći naspram iznosa *1 PM calc.* u odnosu na geometriju Mercatorove projekcije φ_0=42,7°. U slučaju preostala četiri portulana ta razlika iznosi od 31 do 73 m.

Tablica 6—7. Izračun duljine portulanske milje (*1 PM calc.*) [km] na temelju pročišćenog uzorka prekomorskih ruta na kartama u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0°, M=1 i portulanskih karata georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 te standardne devijacije (*SD*) njezina iznosa [m] između pojedinih portulana, karata i dijelova Jadranskog mora – izračun *1 PM calc.* na temelju regionalne podjele Jadranskog mora izvršen je bez podataka iz portulana LdE 1200.

KARTA	PORTULAN 1 PM calc. [km]						JADRAN 1 PM calc. [km] bez LdE 1200.			
	LdE 1200.	CdN 1275.	PdV 1445.	P-M 1475.	Rz 1490.	AVG [km]	sjeverni	srednji	južni	SD [m]
Mercator ϕ_0=42,7°	1,27	1,22	1,27	1,27	1,18	1,23	1,09	1,38	1,22	120
gnomonska ϕ_0=+42,7° λ_0=+16,0°	1,26	1,22	1,27	1,27	1,19	1,24	1,06	1,38	1,26	134
PK 1290.	1,25	1,20	1,14	1,35	1,23	1,29	1,13	1,23	1,29	65
PV 1318.	1,42	1,30	1,26	1,34	1,18		1,22	1,38	1,23	73
KA 1375.	1,45	1,33	1,29	1,36	1,21		1,34	1,36	1,23	58
AB 1436.	1,42	1,32	1,38	1,39	1,28		1,30	1,48	1,29	86
GB 1466.	1,44	1,22	1,23	1,28	1,24		1,25	1,28	1,21	31
AN 1482.	1,47	1,26	1,45	1,30	1,32		1,34	1,43	1,30	51
AVG A1 [km]	1,41	1,27	1,29	1,34	1,24		1,26	1,36	1,26	61
BA a 1538.	1,47	1,23	1,38	1,27	1,27	1,29	1,38	1,36	1,21	76
DH a 1570.	1,53	1,28	1,41	1,33	1,31		1,34	1,41	1,30	47
VDV a 1593.	1,42	1,12	1,31	1,29	1,27		1,31	1,34	1,16	78
AVG A2 [km]	1,48	1,21	1,36	1,30	1,29		1,34	1,37	1,22	67
BA b 1538.	1,47	1,29	1,43	1,29	1,26	1,29	1,35	1,43	1,26	67
DH b 1570.	1,41	1,21	1,35	1,23	1,24		1,18	1,36	1,26	73
VDV b 1593.	1,41	1,20	1,40	1,26	1,23		1,24	1,40	1,25	75
AVG B [km]	1,43	1,24	1,40	1,26	1,25		1,26	1,40	1,26	72
AVG [km]	1,43	1,25	1,34	1,31	1,26		1,28	1,37	1,25	65
AVG [km]		1,29					1,29			

Iz rezultata je vidljivo i da izračunani iznosi portulanske milje svakog od portulana ne variraju mnogo između pojedinih portulanskih karata, neovisno o datumu njihove izrade. Primjerice, portulanska milja za rute iz portulana LdE 1200. ima približno istu vrijednost 1,42–1,47 km u odnosu na karte izrađene u 14. st. (PV 1318. i KA 1375.), kao i u odnosu na one izrađene u 16. st. (BAa 1538. i VDVa 1593.). Također, prosječni iznos portulanske milje za rute iz portulana Rz 1490. ima približno isti iznos od oko 1,26 km u odnosu na karte A1 i na

karte B, za koje je izračunana približno ista točnost kartiranja udaljenosti (Slika 5—16.). Na temelju podataka iz tablice moguće je pretpostaviti da su ne samo portulanske karte, već i portulani temeljeni na jedinstvenoj „bazi prostornih podataka“ koja se nije značajno mijenjala tijekom razdoblja od nekoliko stoljeća.

Prema rezultatima izračuna iznosa portulanske milje s obzirom na regionalnu podjelu ruta iz portulana, nedvojbeno je da je on prostorno više ujednačen za portulanske karte, tj. varijacije iznosa portulanske milje na regionalnoj razini (prikazane kao *SD*) u prosjeku su oko dva puta manje u odnosu na geometriju portulanskih karata nego u odnosu na geometriju referentnih karata (Tablica 6—7.).

Prevagu u izračunu koja ide u korist povezanosti portulanske milje iz portulana s geometrijom portulanskih karata predstavlja sjeverni dio Jadranskog mora. Sjeverni dio Jadranskog mora dio je na kojem je izračunana najveća pozitivna pogreška u stvarnoj točnosti kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama (Slika 5—22.) i zbog koje postoje najveće razlike u geometriji prikaza na portulanskim kartama u odnosu na prikaz u referentnim projekcijama. Ta razlika je još izrazitija usporedbom geometrije portulanskih karata s geometrijom kose gnomonske projekcije φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0°, kod koje je, zbog prikaza konvergencije meridijana, sjeverni dio Jadranskog mora prikazan „užim“ nego na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Prikaz udaljenosti na kosoj gnomonskoj projekciji je među odabranim kartama najvjerniji, no izračunane regionalne varijacije u iznosu portulanske milje su za tu projekciju najveće (1,09 km za sjeverni i 1,28 km za južni Jadran, tj. 1,06 km i 1,26 km bez portulana LdE 1200.). Da su podaci iz portulana uistinu prikupljani mjerenjima u plovidbi, regionalne varijacije iznosa portulanske milje bile bi najmanje upravo u odnosu na geometriju te projekcije. S obzirom na to da je, prema podacima iz tablice, vidljivo da pozitivna pogreška udaljenosti za sjeverni dio Jadranskog mora, osim na portulanskim kartama postoji i u tekstualnim podacima u portulanima, može se pretpostaviti da je ona, vrlo vjerojatno, produkt izravnog transfera prostornih podataka s portulanskih karata na portulane. Drugim riječima, zapisi iz portulana ne predstavljaju udaljenosti koje su izravno izmjerene tijekom plovidbe, već su rute u tekstualnom obliku iz portulana „projicirane“ na isti način kao i njihovi ekvivalenti na portulanskim kartama.

U svrhu daljnjih analitičkih postupaka, kao iznos portulanske milje arbitrarno je odabrana vrijednost *1 PM calc.* od 1,29 km izračunana ne uzevši u obzir portulan LdE 1200. Razlog odbacivanja vrijednosti 1,31 km, dobivene iz ukupnog uzorka ruta iz portulana, su izrazite razlike u iznosu *1 PM calc.* za portulan LdE 1200. u ovisnosti o geometriji karte u odnosu na koju je izračunana – naime, na ovoj razini obrade podataka nije moguće utvrditi predstavlja li portulanska milja u portulanu LdE 1200. i u ostalim portulanima istu mjernu jedinicu ili ne. Također, prosječna vrijednost *1 PM calc.* od 1,43 km za rute iz portulana LdE 1200. je po iznosu razmjerno bliska antičkoj rimskoj milji (1.472 m) (Cardarelli, 1999.: 253).

6.4.4 TOČNOST PODATAKA U ODABRANIM PORTULANIMA

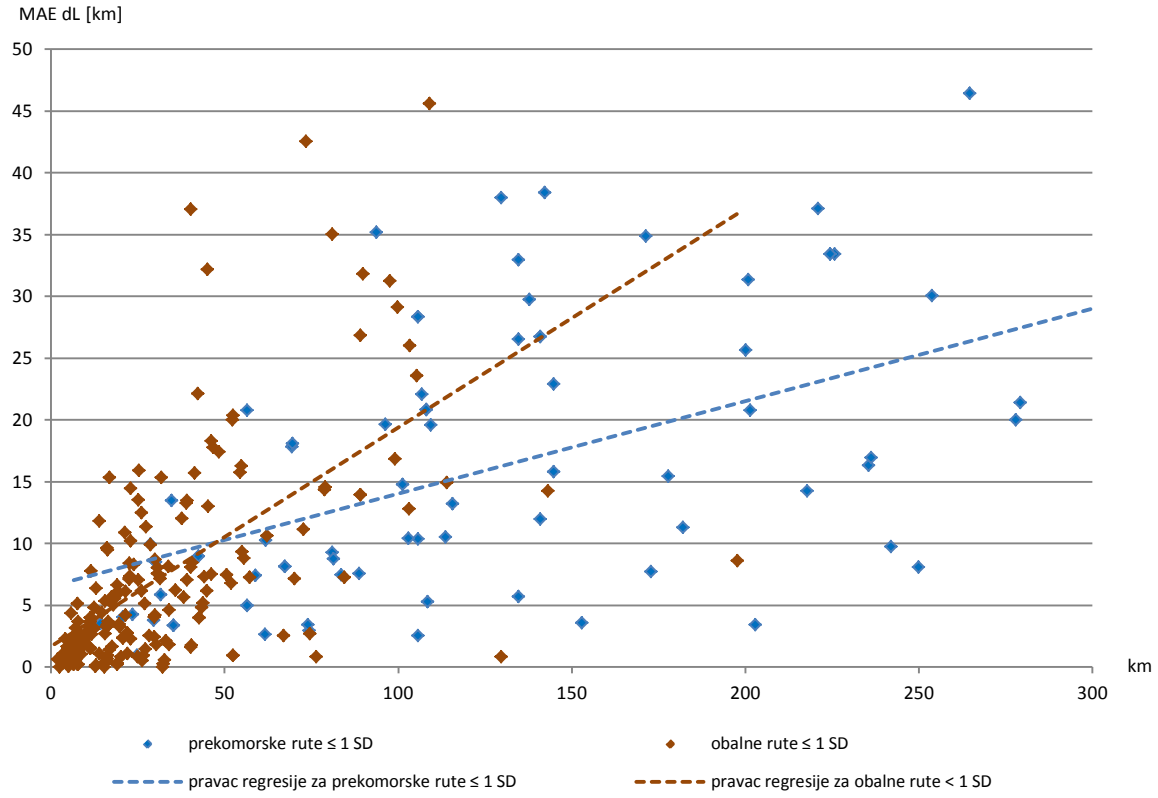
Određivanjem pretpostavljenog iznosa portulanske milje od približno 1,29 km (Tablica 6—7.) i pretvorbom vrijednosti kursova (izraženih u portulanima kao smjerovi vjetra) u stupnjeve, moguće je izračunati točnost zapisa u portulanima. Točnost zapisa u portulanima određena je izračunom srednjih apsolutnih pogrešaka udaljenosti, *MAE dL* [km], i srednjih apsolutnih pogrešaka kursa (azimuta), *MAE* $d\alpha_{(mag)}$ [°], u odnosu na njihov prikaz na karti u referentnoj projekciji i u odnosu na njihov prikaz na odabranim portulanskim kartama.

TOČNOST PODATAKA O UDALJENOSTIMA

Točnost podataka o udaljenostima iz odabranih portulana za područje Jadranskog mora izražena je kao prosječni iznos srednje apsolutne pogreške udaljenosti, *AVG MAE dL* [km], a izračunana je u odnosu na ukupno 14 karata; kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, kartu u kosoj gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0° te u odnosu na 12 odabranih portulanskih karata georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° korištenjem 4-parametarske konformne transformacije. Izračun pogrešaka udaljenosti izvršen je na pročišćenom uzorku prekomorskih i obalnih ruta s obzirom na geometriju karte u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, dok je u regionalnoj usporedbi pogrešaka udaljenosti s obzirom na geometriju karata korišten isključivo pročišćeni uzorak prekomorskih ruta s izuzetkom longitudinalnih ruta *Othonoi – Venecija* (CdN 1275.) i *Caorle – Otranto* (Rz 1490.).

Na temelju odabira iznosa portulanske milje u vrijednosti od 1,29 km, izmjereni podaci o udaljenostima na svakoj od 14 karata (izraženi u kilometrima) pretvoreni su u ekvivalentne vrijednosti izražene u portulanskim miljama. Pretvorbom tih udaljenosti u portulanske milje, izračunana je srednja apsolutna pogreška udaljenosti zapisa iz portulana, *MAE dL*, izražena u portulanskim miljama [PM]. Izračunane apsolutne pogreške potom su, množenjem s izračunanim iznosom portulanske milje od 1,29 km, pretvorene u apsolutne pogreške udaljenosti izražene u kilometrima.

U odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 i pod uvjetom *1 PM calc.*=1,29 km, *AVG MAE dL* na ukupnom pročišćenom uzorku ruta iz portulana iznosi 12,8 km (*SD*=20,9 km). Točnost prekomorskih ruta pritom iznosi 16,0 km (*SD*=11,2 km), a obalnih ruta 7,4 km (*SD*=9,3 km), tj. točnost obalnih ruta je, iskazano u apsolutnim iznosima, više od dvostruko veća od točnosti prekomorskih ruta i približno jednako disperzirana. Međutim, prosječna duljina obalnih ruta iz uzorka iznosi 32,3 km, a prekomorskih 140,1 km, što znači da prosječna efektivna pogreška (iznos pogreške po kilometru duljine rute) za obalne rute iznosi 0,13 km/km a za prekomorske rute 0,03 km/km, tj. prekomorske rute su, kada ih se promatra na taj način, u portulane upisane 4,3 puta točnije od obalnih ruta. Također, za obalne rute, postoji i izrazitiji trend povećanja pogreške s povećanjem njihove duljine nego što je to slučaj s prekomorskim rutama (Slika 6—30.).



Slika 6—30. Odnos apsolutne pogreške udaljenosti iz portulana ucrtanih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ0=42,7°, M=1 i pripadajuće duljine ruta [km] s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi.

Slično kao i u slučaju manjih devijacija *1 PM calc.* u odnosu na geometriju portulanskih karata (Tablica 6—7.), „projiciranost" tekstualnih podataka iz portulana u skladu s geometrijom portulanskih karata moguće je uvidjeti i iz razlika u regionalnim iznosima *MAE dL* [km] u ovisnosti o geometriji kartografske podloge. U odnosu na karte u referentnim projekcijama, točnost podataka o udaljenostima prekomorskih ruta iz portulana iznosi 15,8 km, odnosno 16,3 km, dok *MAE dL* u odnosu na ukupni uzorak portulanskih karata iznosi 15,5 km, tj. podaci o udaljenostima točniji su u odnosu na portulanske karte (Tablica 6—8.). Također, *MAE dL* podataka iz portulana za sjeverni Jadran u odnosu na portulanske karte, kojima je „proširenje" sjevernog dijela Jadrana sastavni dio geometrije, iznosi 16,8 km (12,8 km bez portulana LdE 1200.). U odnosu na referentnu kartu u kosoj gnomonskoj projekciji (s prikazom konvergencije meridijana i na kojoj takvo „proširenje" ne postoji), *MAE dL* prekomorskih ruta za sjeverni Jadran iznosi 23,0 km (24,7 km bez LdE 1200.). Varijabilnost regionalnih iznosa *MAE dL* za sjeverni, srednji i južni dio Jadrana je u odnosu na geometriju portulanskih karata s prosječnim iznosom od 1,9 km, dvostruko do gotovo trostruko manja, naročito odnosu na kosu gnomonsku projekciju gdje *SD MAE dL* iznosi 4,5 km (5,5 km bez LdE 1200.). Izuzimanjem LdE 1200., točnost preostalih portulana odnosu na portulanske karte po kriteriju *MAE dL* iznosi 13,7 km, tj. veća je za 1,8 km, dok je u odnosu na referentne projekcije gotovo jednaka.

Rute iz portulana iskorištene su i za dodatnu provjeru rezultata o stvarnim pogreškama kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama, izračunanih u poglavlju 5.3.1. Na svaku od (otprije georeferenciranih) portulanskih karata naknadno je ucrtan uzorak ruta iz portulana korišten u ovom poglavlju, koji je potom uspoređen s preslikama tih istih ruta na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Iz tog izračuna proizašlo je da prosječna stvarna pogreška udaljenosti tih linija (*AVG ME dL*) iznosi +8,1 km, od čega +24,9 km za sjeverni, +2,3 km za srednji i +0,5 km za južni Jadran (Slika 10—22.). Ovdje valja naglasiti da je riječ o linijama ucrtanima na prethodno georeferencirane karte, tj. da krajnje točke ruta iz portulana nisu korištene kao referentno-identični parovi točaka pri georeferenciranju karata. Zbog toga ih je potrebno tretirati kao podatke *drugog reda točnosti*[52], no rezultati izračuna na bazi tih linija poslužili su kao dodatna potvrda geometrijskog trenda sve većeg „proširenja" bazena Jadranskog na portulanskim kartama u smjeru od jugoistoka prema sjeverozapadu izračunanom u poglavlju 5.3.1.

Tablica 6—8. Ukupne i regionalne razlike u srednjim apsolutnim iznosima pogreške podataka o udaljenostima portulana (kumulativni uzorak) za prekomorske rute (pod uvjetom *1 PM calc.*=1,29 km) u odnosu na udaljenosti na kartama u referentnim projekcijama (M=1) i u odnosu na udaljenosti na portulanskim kartama georeferenciranim na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1.

KARTA	UKUPNI UZORAK sjeverni Jadran	srednji Jadran	južni Jadran	AVG [km]	SD [km]
Mercator ϕ_0=42,7°	20,5	12,5	15,2	15,8	3,4
gnomonska ϕ_0=+42,7° λ_0=+16,0°	23,0	12,6	14,4	16,3	4,5
PK 1290.	18,2	19,0	17,9	18,3	0,4
PV 1318.	18,4	11,8	17,5	15,9	2,9
KA 1375.	19,4	13,8	13,8	15,4	2,6
AB 1436.	12,3	14,8	13,4	13,5	1,0
GB 1466.	17,7	12,1	15,4	15,0	2,3
AN 1482.	16,8	15,7	13,5	15,2	1,4
AVG A1 [km]	17,2	14,5	15,4	15,6	1,8
BA a 1538.	19,4	11,5	18,1	16,3	3,4
DH a 1570.	23,3	13,3	16,9	17,5	4,1
VDV a 1593.	15,5	16,4	15,7	15,9	0,4
AVG A2 [km]	19,4	13,7	16,9	16,6	2,7
BA b 1538.	15,1	12,2	15,9	14,5	1,6
DH b 1570.	11,8	14,4	14,7	13,8	1,3
VDV b 1593.	13,2	16,0	15,2	14,9	1,2
AVG B [km]	13,4	14,1	15,4	14,4	1,4
AVG [km]	16,8	14,2	15,7		1,9
AVG [km]	15,5				

KARTA	UZORAK BEZ LdE 1200. sjeverni Jadran	srednji Jadran	južni Jadran	AVG [km]	SD [km]
Mercator ϕ_0=42,7°	21,3	12,4	14,9	15,7	3,8
gnomonska ϕ_0=+42,7° λ_0=+16,0°	24,7	12,6	13,8	16,3	5,5
PK 1290.	16,0	15,8	18,1	16,8	1,0
PV 1318.	14,4	11,2	15,5	13,8	1,8
KA 1375.	16,0	11,0	12,0	12,7	2,2
AB 1436.	7,8	14,8	11,8	11,8	2,9
GB 1466.	13,6	12,0	13,9	13,2	0,8
AN 1482.	11,8	16,0	11,3	13,0	2,1
AVG A1 [km]	13,3	13,5	13,8	13,5	1,8
BA a 1538.	14,7	11,4	16,9	14,5	2,2
DH a 1570.	18,8	13,8	14,7	15,5	2,2
VDV a 1593.	11,0	17,4	15,7	15,0	2,7
AVG A2 [km]	14,8	14,2	15,7	15,0	2,4
BA b 1538.	9,7	12,3	14,0	12,3	1,8
DH b 1570.	9,1	14,5	13,3	12,6	2,3
VDV b 1593.	10,4	16,5	13,9	13,8	2,5
AVG B [km]	9,7	14,5	13,7	12,9	2,2
AVG [km]	12,8	13,9	14,3		2,0
AVG [km]	13,7				

52 Detaljnije pojašnjenje nalazi se u poglavlju 4.3.

Apsolutne pogreške udaljenosti podataka iz portulana LdE 1200. predstavljaju svojevrsnu atipičnost u odnosu na iznose pogrešaka *MAE dL* preostala četiri kasnije izrađena portulana – u odnosu na duljine ekvivalentnih ruta na kartama u referentnim projekcijama, ali i u odnosu na njihove preslike ucrtane na portulanskim kartama. Iznos *1 PM calc.* za portulan LdE 1200., izračunan u odnosu na referentne projekcije iznosi 1,26, tj. 1,27 km, a isti iznos *1 PM calc.* u odnosu na karte u referentnim projekcijama izračunan je i za portulane PdV 1445. i P-M 1475., izrađene dva i pol stoljeća kasnije (Tablica 6—6., Tablica 6—7.). Međutim, kada se rute iz tih portulana ucrtaju na portulanske karte prethodno georeferencirane na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, AVG *1 PM calc.* (u odnosu na svih 12 portulanskih karata) za portulan LdE 1200. iznosi 1,43 km, dok je za portulane PdV 1445. i P-M 1475. izračunan iznos od 1,34 km tj. 1,31 km (razlika iznosi od 90 do 120 m). Prosječna apsolutna pogreška udaljenosti *MAE dL* [km] podataka iz portulana LdE 1200. je, u odnosu na geometriju portulanskih karata, neovisno o odabranom iznosu portulanske milje, veća od prosječnih pogrešaka podataka iz preostala četiri portulana. Na temelju toga moguće je pretpostaviti da je točnost podataka o udaljenostima iz LdE 1200., u usporedbi s preostalim portulanima, veća u odnosu na geometriju karata u referentnim projekcijama. Međutim, *MAE dL* tog portulana se promjenom (odabranog) iznosa portulanske milje u odnosu na geometriju referentne karte mijenja mnogo više nego u odnosu na prosjek geometrije portulanskih karata (Tablica 6—9.). Ta pogreška u odnosu na geometriju referentne karte u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° iznosi 23,8 km (pri *1 PM calc.*=1,43 km) ili 16,6 km (pri *1 PM calc.*=1,29 km, kao arbitrarno odabran iznos jedne portulanske milje u kilometrima), što čini razliku od 7,2 km. S druge strane, u odnosu na geometriju portulanskih karata ta razlika iznosi 2,1 km – pogreške udaljenosti pritom iznose 24,5 km (pri *1 PM calc.*=1,43 km), tj. 26,6 km (pri *1 PM calc.*=1,29 km). Također, prosječna „stvarna“ pogreška udaljenosti, *AVG ME dL* [km], podataka iz LdE 1200. u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° za sjeverni i južni dio Jadranskog mora iznosi +5,1 km i –9,0 km (*SD*=7,1 km) pri *1 PM calc.*=1,29 km i +19,1 km i +3,1 km (*SD*=8,0 km) pri *1 PM calc.*=1,43 km. U odnosu na prosjek geometrije portulanskih karata te pogreške iznose –24,0 km i –10,0 km (*SD*=7,0 km) (pri *1 PM calc.*=1,29 km), tj. –10,2 km i +2,0 km (*SD*=6,1 km) (pri *1 PM calc.*=1,43 km).

Unatoč tome što postoji mogućnost da *miglia* u portulanu LdE 1200. i *miglia* u preostalim portulanima nije ista mjerna jedinica za duljinu, vidljivo je da je geometrija podataka iz LdE 1200. razmjerno „stabilnija“ s obzirom na geometriju portulanskih karata, no da na podaci o udaljenostima za sjeverni dio Jadranskog mora impliciraju postojanje manjeg „proširenja“ tog dijela prostora naspram onog izračunanog iz geometrije prikaza na portulanskim kartama. Primjerice, *ME dL* podataka iz LdE 1200. (pri *1 PM calc.*=1,29 km) za sjeverni Jadran u odnosu na kartu PK 1290. (na kojoj je to „proširenje“ manje) iznosi –0,5 km, a –27,7 km u odnosu na kartu KA 1375. Pri *1 PM calc.*=1,43 km. Analogne vrijednosti su +13,4 km i -13,7 km.

Tablica 6—9. Razlike u srednjim apsolutnim pogreškama podataka o udaljenostima za prekomorske rute (pod uvjetom *1 PM calc.*=1,29 km) iz svakog pojedinog portulana u odnosu na udaljenosti na kartama u referentnim projekcijama (M=1) i u odnosu na udaljenosti na svaku pojedinu portulansku kartu georeferenciranu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1.

			KARTA		PORTULANSKA KARTA														
			Mercator ϕ_m=42,7°	Gnom. ϕ_0=+42,7° λ_0=+16,0°	PK 1290.	PV 1318.	KA 1375.	AB 1436.	GB 1466.	AN 1482.	AVG A1	BA a 1538.	DH a 1570.	VDV a 1593.	AVG A2	BA b 1538.	DH b 1570.	VDV b 1593.	AVG B	AVG
PORTULAN MAE dL [km]	LdE	1200.*	23,8	23,5	32,2	27,9	25,5	21,7	26,5	25,7	26,6	24,8	27,7	20,8	24,4	27,1	17,0	17,4	20,5	24,5
	LdE	1200.	16,6	16,5	27,9	29,2	32,6	24,5	26,3	28,7	28,2	27,8	30,4	21,5	26,6	27,8	21,1	21,7	23,5	26,6
	CdN	1275.	17,2	17,9	17,5	10,5	11,9	12,3	13,1	10,7	12,7	13,5	14,4	17,7	15,2	11,6	12,8	12,8	12,4	13,2
	PdV	1445.	14,8	14,5	18,4	15,3	14,3	14,0	14,3	17,9	15,7	18,1	16,9	16,6	17,2	17,2	15,0	17,8	16,7	16,3
	P-M	1475.	13,2	15,0	15,3	16,1	14,0	9,9	14,3	11,3	13,5	12,0	13,6	9,1	11,6	10,0	9,8	10,1	10,0	12,1
	Rz	1490.	18,1	18,6	15,3	12,6	9,8	9,6	10,6	9,7	11,3	12,4	16,3	15,6	14,7	7,7	11,7	12,6	10,6	12,0
	AVG		15,7	16,3	16,6	13,6	12,5	11,5	13,1	12,4	13,5	14,0	15,3	14,8	15,0	11,6	12,3	13,3	12,9	13,8

*ovaj izračun MAE dL [km] za portulan LdE 1200. izvršen je za vrijednost 1 PM calc. od 1,43 km

TOČNOST PODATAKA O KURSOVIMA

Točnost podataka o kursovima iz portulana izražena je kao srednja apsolutna pogreška azimuta *MAE dα* [°]. U pet odabranih portulana za prostor Jadranskog mora vrijednosti kursa navedene su za 120 od 252 obalne rute i za 88 od 95 prekomorskih ruta. Zapisi o kursovima, izraženi kao smjerovi vjetra, pretvoreni su u njihove ekvivalente izražene u stupnjevima [°] i pridruženi su pripadajućim im prekomorskim i obalnim rutama ucrtanim kao ravne crte na referentnoj karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°[53]. Analiza točnosti podataka iz portulana izvedena je tako da je točnost zapisa o udaljenostima i točnost zapisa o kursovima izračunavana samostalno. Uzorak ruta koji je korišten u ovom dijelu izračuna je stoga sačinjen od svih identificiranih ruta iz portulana za koje postoji podatak o kursu, neovisno o pripadajućem im prethodno izračunanom iznosu portulanske milje.

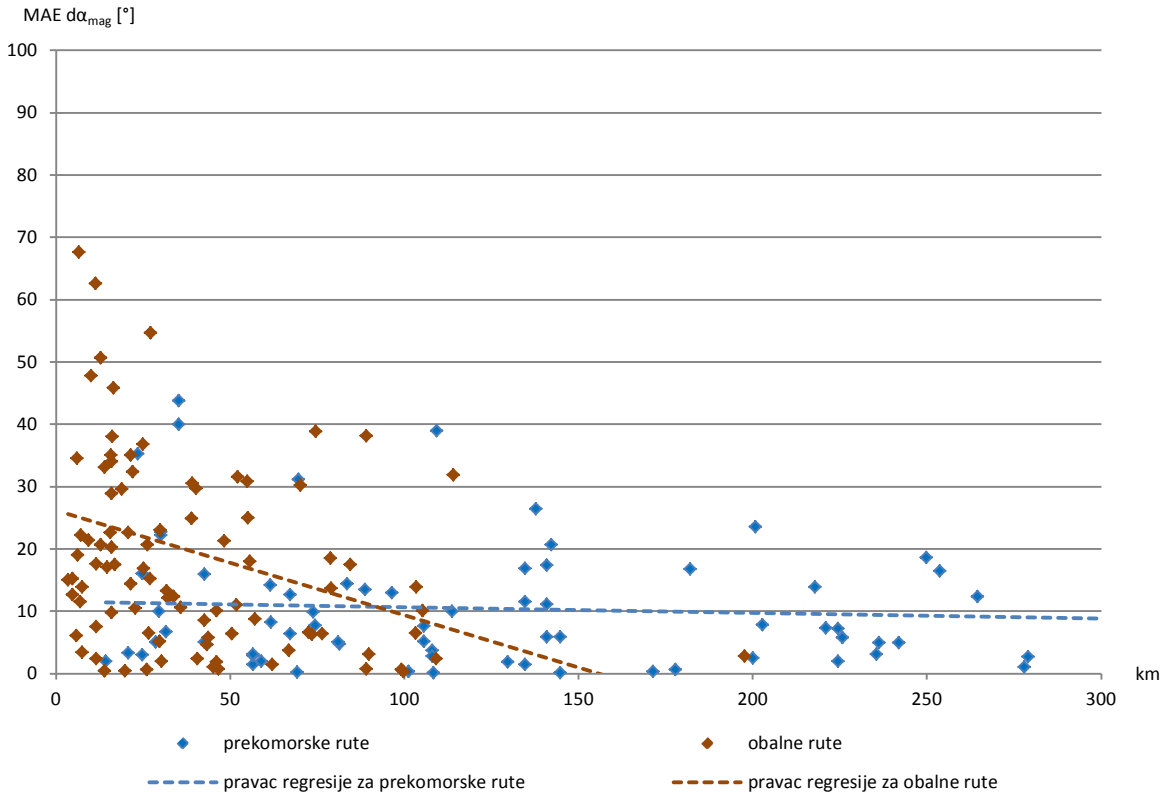
Rutama ucrtanim na kartu u referentnoj projekciji izmjeren je njihov azimut u odnosu na geografski sjever. Iz azimuta ruta u odnosu na smjer geografskog sjevera, potom je, prema vrijednostima iz modela *CALS3K.4* (Korte i Constable, 2011.), izračunan iznos azimuta tih ruta u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena izrade svakog od portulana[54]. Izračunane vrijednosti azimuta obalnih i prekomorskih ruta na karti u Mercatorovoj projekciji (s korekcijom iznosa u odnosu na magnetski sjever) uspoređene su sa zapisima o kursu preuzetih iz portulana, na temelju čega je izračunana srednja apsolutna pogreška kursa u odnosu na smjer magnetskog sjevera, *MAE* $d\alpha_{mag}$ [°]. Ona za ukupan uzorak ruta (za koji

53 Izvršena je manualna korekcija kursa dviju ruta iz portulana CdN 1275., koji su vidljivo pogrešno upisani. Ruta Venecija – Pula korigirana je iz smjera *levante ver lo greco* (ENE, 67,5°) u smjer *levante ver lo sirocco* (ESE, 112,5°), a pogreška rute o. Vis – o. Sušac, o kojoj je pisano u poglavlju 6.1.5, korigirana je iz smjera *garbino* (SW, 225°) u smjer *sirocco* (SE, 135°).

54 Prema modelu *CALS3K.4*, iznosi magnetske deklinacije su δ=9,5° E (LdE 1200.), δ=8,9° E (CdN 1275.), δ=5,3° E (PdV 1445.), δ=5,1° E (P-M 1475.) i δ=3,7° E (Rz 1490.) (izvor: GMAG).

postoji zapis o kursu) s obzirom na prikaz Jadranskog mora u Mercatorovoj projekciji i s korekcijom azimuta prema magnetskom sjeveru iznosi 17° (*SD*=18,1°), pri čemu *MAE* $d\alpha_{mag}$ obalnih ruta iznosi 20,7° (*SD*=20,4°), a prekomorskih 12,8° (*SD*=12,6°).

Usporedbom iznosa pogreške kursa svake od ruta s njezinom duljinom na Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° vidljivo je da, slično kao i u odnosu izračunanog iznosa portulanske milje i duljine rute, postoji i porast iznosa pogreške kursa sa smanjenjem njihove duljine. Također, slično kao kod odnosa pogrešaka udaljenosti i duljine ruta, efektivna pogreška kursa (po kilometru duljine rute) veća je za obalne nego za prekomorske rute (Slika 6—31.). Drugim riječima, pogreška kursa najveća je za obalne rute najmanje duljine. Prosječna duljina prekomorskih ruta za koje postoji podatak o kursu iznosi 129,6 km, a obalnih 35,7 km (prekomorske rute prosječno su oko 3,5 puta dulje od obalnih). Efektivna pogreška kursa prekomorskih ruta iz uzorka (*ef. MAE* $d\alpha$) iznosi 0,09°/km, a obalnih ruta 0,58°/km, tj. prekomorske kursevi prekomorskih ruta su u portulane, kada se uzmu u obzir njihove duljine, od obalnih upisane u portulane 6,2 puta točnije, dok je u apsolutnim iznosima (neovisno o duljini ruta) točnost kursa prekomorskih ruta oko 1,6 puta veća.



Slika 6—31. Odnos apsolutne pogreške kursova iz portulana ucrtanih na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 s korekcijom smjera sjevera prema iznosu magnetske deklinacije iz godine izrade svakog pojedinog portulana [°] i pripadajuće duljine ruta [km] s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi.

Slične rezultate o međuodnosu točnosti zapisa o kursovima i duljina pripadajućih ruta u portulanu *Compasso de Navegare* dobio je i R. Nicolai. Pogreška obalnih ruta za središnji dio Sredozemnog mora (kojem prema regionalizaciji koju je koristio pripada i Jadransko more) iznosi -5,9°, a standardna devijacija 28,7° (Nicolai, 2014.: 315). Visoki iznos standardne devijacije usporediv je s rezultatima ovog istraživanja, no ne i iznos pogreške kursa. Nicolai je točnost kursa izračunavao kao srednju pogrešku (*ME*), primjenom koje se iste vrijednosti, ali s nasuprotnim predznacima, međusobno poništavaju, za razliku od apsolutne pogreške (*MAE*), korištene u ovom izračunu, primjenom koje se svi iznosi pogreške, neovisno o predznaku, tretiraju kao pozitivne vrijednosti. U kontekstu izračuna pogreške kursa, pozitivne vrijednosti odnose se na pogrešku u smjeru kazaljke na satu, a negativne na pogrešku kursa u smjeru obrnutom od kazaljke na satu.

Pogreške kursa prekomorskih ruta su, prema iznosu pogreške i disperzije, statistički ocijenjene kao pouzdaniji skup vrijednosti za utvrđivanje točnosti podataka o kursovima iz portulana naspram pogrešaka kursa obalnih ruta. S obzirom na to da je u rezultatima prethodnog izračuna iznosa portulanske milje vidljivo da je povezanost zapisa u portulanima geometrijski usko vezana uz prikaz obalne crte na portulanskim kartama, kursovi prekomorskih ruta iz portulana uspoređeni su s njihovim vrijednostima na portulanskim kartama georeferenciranim na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°.

Za svaku od portulanskih karata potom je izvršena korekcija azimuta tako da je ukupna rotacija karata pri *min. RMSE Re*, nastala uslijed georeferenciranja, ispravljena. Ispravljanjem rotacije karata, njihovi azimuti imaju vrijednosti sukladne onima prilikom rukovanja tim kartama u fizičkom obliku, tj. azimuti na portulanskim kartama očitavaju se u odnosu rumb N–S paralelan s Y-osi. Pogreške kursa prekomorskih ruta svakog od portulana izračunane su u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji s obzirom na smjer geografskog sjevera i na smjer magnetskog sjevera (iz vremena izrade svakog od portulana) te u odnosu na svaku od portulanskih karata s ispravljenom rotacijom (Tablica 6—10.).

Tablica 6—10. Apsolutne pogreške prekomorskih kursova u portulanima [°] u odnosu na azimute referentnih ruta na karti u Mercatorovoj projekciji i u odnosu na azimute identičnih ruta na portulanskim kartama.

			KARTA		PORTULANSKA KARTA															
			Merc. ϕ_0=42,7° N_{geo}	Merc. ϕ_0=42,7° N_{mag}	PK	PV	KA	AB	GB	AN	AVG A1	BA a	DH a	VDV a	AVG A2	BA b	DH b	VDV b	AVG B	AVG
					1290.	1318.	1375.	1436.	1466.	1482.		1538.	1570.	1593.		1538.	1570.	1593.		
PORTULAN MAE dα [°]	LdE	1200.	**16,0**	**21,9**	22,7	20,8	24,8	23,4	21,9	26,3	**23,3**	22,5	21,3	20,3	**21,4**	23,5	22,8	23,2	**23,2**	**22,8**
	CdN	1275.	**16,0**	**14,2**	24,6	16,5	14,5	16,7	16,1	16,2	**17,4**	18,6	17,2	15,5	**17,1**	16,3	16,0	16,4	**16,2**	**17,1**
	PdV	1445.	**14,2**	**12,5**	12,7	11,2	17,0	13,1	17,2	12,6	**14,0**	14,6	12,3	14,1	**13,6**	13,2	12,7	12,0	**12,6**	**13,5**
	P-M	1475.	**8,6**	**8,7**	16,9	9,4	6,7	13,4	10,3	14,0	**11,8**	9,8	12,3	9,2	**10,4**	11,7	12,6	12,9	**12,4**	**11,6**
	Rz	1490.	**9,4**	**6,6**	10,9	8,3	5,0	6,9	8,4	6,2	**7,6**	9,1	5,8	8,7	**7,8**	5,1	7,7	6,7	**6,5**	**7,4**
	AVG		**12,8**	**12,0**	17,1	12,5	13,1	13,8	14,5	13,7	**14,1**	14,2	13,1	13,1	**13,5**	13,1	13,5	13,3	**13,3**	**13,8**
AVG bez LdE 1200.			**12,5**	**10,9**	**16,3**	**11,5**	**11,6**	**12,7**	**13,6**	**12,3**	**13,0**	**13,3**	**12,1**	**12,2**	**12,5**	**11,9**	**12,4**	**12,1**	**12,1**	**12,7**

U odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji pogreške kursa u portulanima u pravilu su manje s obzirom na smjer magnetskog sjevera nego s obzirom na smjer geografskog sjevera (Tablica 6—10.). Iznimku pritom predstavlja portulan LdE 1200. za čije su prekomorske rute izračunane manje pogreške s obzirom na smjer geografskog sjevera. Manji iznos pogreške kursova u portulanu LdE 1200. u odnosu na geografski sjever izračunao je i J. A. Gaspar (Gaspar, 2019.: 16). Također, pogreška kursa za portulan LdE 1200. je u odnosu na portulanske karte vrlo slična pogrešci kursa u odnosu na Mercatorovu projekciju s obzirom na smjer magnetskog sjevera. Za preostala četiri portulana izračunana pogreška kursa u odnosu na Mercatorovu projekciju s obzirom na smjer magnetskog sjevera u pravilu je manja nego u odnosu na smjer geografskog sjevera (izuzev P-M 1475. kod kojeg je podjednaka), no prosječne pogreške kursa su, u odnosu na pojedine portulanske karte, ponešto veće.

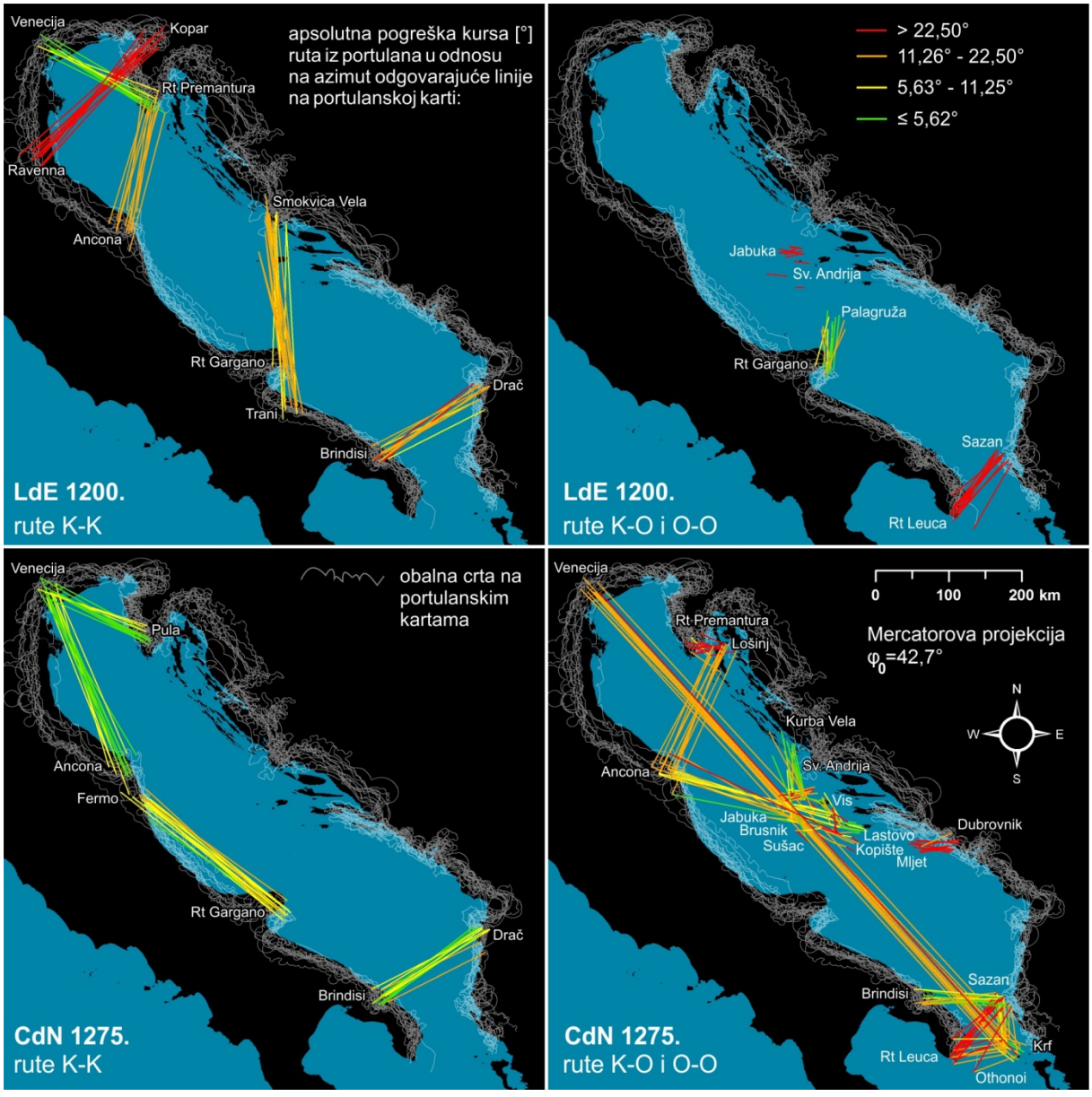
Zbog prethodno ustanovljene geometrijske korelacije iznosa portulanske milje i distribucije pogreške *MAE dL* u odabranim portulanima i na odabranim portulanskim kartama, očekivani ishod ovog izračuna bio je manji prosječni iznos pogrešaka kursa u odnosu na portulanske karte. Pojava relativno visokih pogrešaka kursa u odnosu na azimute na portulanskim kartama (ali i na azimute na karti u Mercatorovoj projekciji) je, moguće, uzrokovana pogreškama kursova prekomorskih ruta tipa kopno–otok (K-O) i otok–otok (O–O). Naime, za ta dva tipa prekomorskih ruta (koje su u kartometrijskoj analizi funkcionalno objedinjene i kategorizirane kao *otočne rute*) je na portulanskim kartama izračunana razmjerno visoka prosječna pogreška kartiranja azimuta u odnosu na magnetski sjever, *MAE* $d\alpha_{mag}$ (Slika 6—25.). Pretpostavljeni uzrok te pojave je transfer pogreške kartiranja azimuta otoka u odnosu na susjedno kopno i otoka međusobno, s portulanskih karata na zapise u portulanima. U svrhu ispitivanja te hipoteze izvršeni su samostalni izračuni točnosti kursova prekomorskih ruta tipa kopno–kopno (K–K) i točnosti kursova prekomorskih ruta tipa kopno–otok (K–O) i otok–otok (O–O). Pogreška *MAE dα* portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji, izračunana iz naknadno ucrtanih ruta iz portulana (podaci *drugog reda točnosti*) iznosi 8,4°, tj. 4,6° za rute K–K i 10,5° za rute K–O i O–O (Slika 10—23).

Tablica 6—11. Apsolutne pogreške prekomorskih kursova tipa K–K u portulanima [°] u odnosu na azimute linija na karti u Mercatorovoj projekciji i u odnosu na azimute linija na portulanskim kartama.

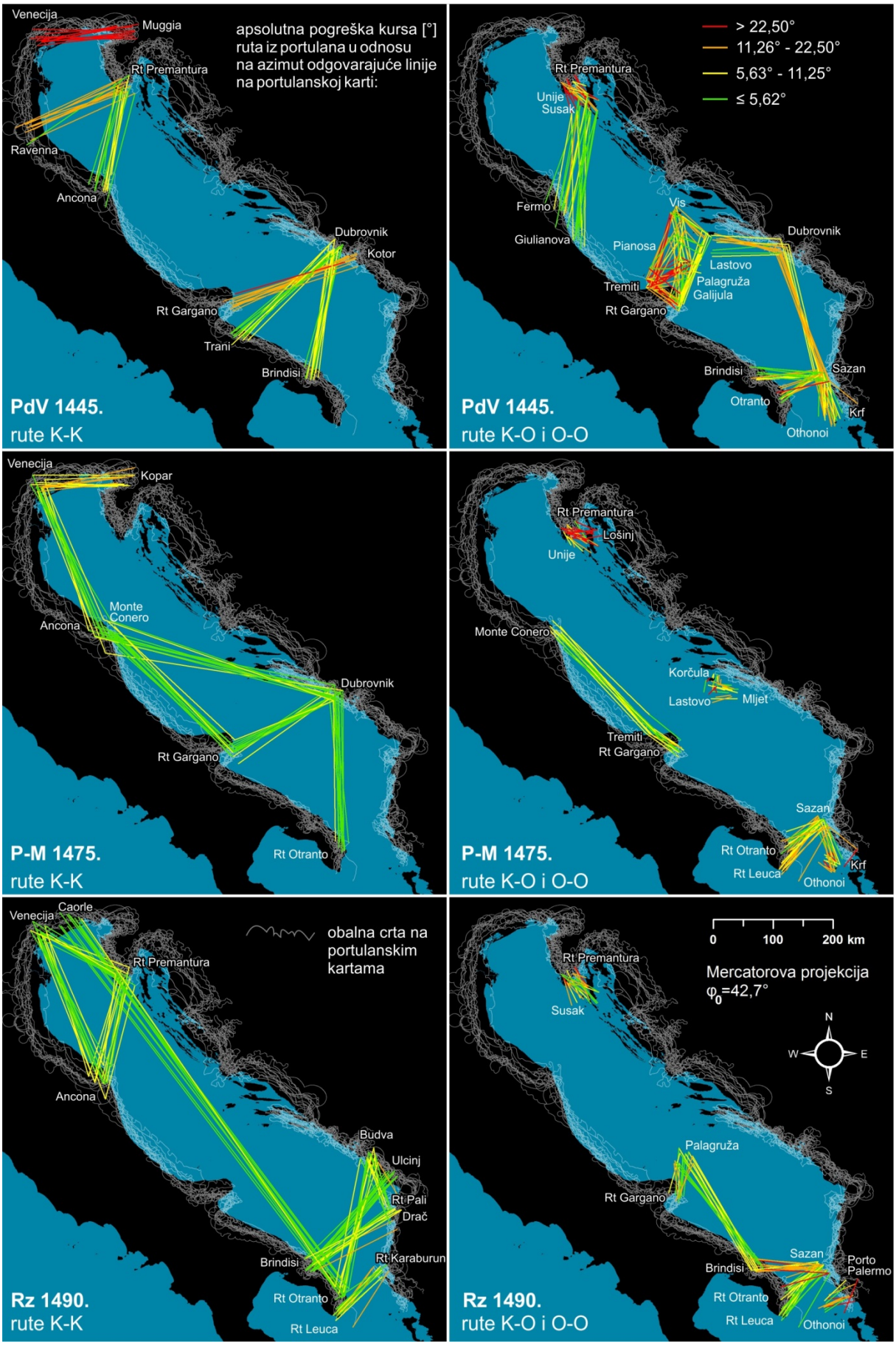
			KARTA		PORTULANSKA KARTA															
			Merc. ϕ_0=42,7° N_{geo}	Merc. ϕ_0=42,7° N_{mag}	PK 1290.	PV 1318.	KA 1375.	AB 1436.	GB 1466.	AN 1482.	AVG A1	BA a 1538.	DH a 1570.	VDV a 1593.	AVG A2	BA b 1538.	DH b 1570.	VDV b 1593.	AVG B	AVG
PORTULAN MAE dα [°]	LdE	1200.	**10,8**	**17,1**	15,4	15,3	15,7	13,7	14,3	15,8	**15,0**	16,3	14,3	11,8	**14,1**	14,7	16,9	16,9	**16,2**	**15,1**
	CdN	1275.	**11,6**	**3,6**	10,5	9,4	3,4	6,9	4,3	6,4	**6,8**	7,7	5,1	7,8	**6,9**	5,4	4,5	2,9	**4,3**	**6,2**
	PdV	1445.	**18,2**	**18,6**	15,9	13,2	14,4	13,1	13,5	13,6	**13,9**	13,7	12,4	13,9	**13,3**	13,3	13,7	14,6	**13,9**	**13,8**
	P-M	1475.	**6,9**	**3,9**	9,6	3,4	2,5	6,3	3,6	7,9	**5,5**	4,7	5,2	6,3	**5,4**	4,5	4,2	4,0	**4,2**	**5,2**
	Rz	1490.	**8,3**	**5,5**	8,9	6,5	2,8	4,5	3,8	4,9	**5,2**	3,7	4,8	5,3	**4,6**	4,0	4,2	4,1	**4,1**	**4,8**
	AVG		**10,9**	**9,7**	11,8	9,3	7,7	8,4	7,7	9,0	**9,0**	8,3	8,1	8,6	**8,3**	7,9	8,6	8,3	**8,3**	**8,7**
	AVG bez LdE 1200.		**10,9**	**8,0**	**10,7**	**7,7**	**5,4**	**7,1**	**6,0**	**7,3**	**7,3**	**6,4**	**6,5**	**7,8**	**6,9**	**6,2**	**6,5**	**6,1**	**6,3**	**7,0**

Tablica 6—12. Apsolutne pogreške prekomorskih kursova tipa K–O i O–O u portulanima [°] u odnosu na azimute linija na karti u Mercatorovoj projekciji i u odnosu na azimute linija na portulanskim kartama.

			KARTA		PORTULANSKA KARTA															
			Merc. ϕ_0=42,7° N_{geo}	Merc. ϕ_0=42,7° N_{mag}	PK	PV	KA	AB	GB	AN	AVG A1	BA a	DH a	VDV a	AVG A2	BA b	DH b	VDV b	AVG B	AVG
					1290.	1318.	1375.	1436.	1466.	1482.		1538.	1570.	1593.		1538.	1570.	1593.		
PORTULAN MAE dα [°]	LdE	1200.	26,5	31,5	40,8	31,7	43,1	42,6	37,1	47,3	40,4	34,9	35,4	37,2	35,8	41,2	34,7	36,0	37,3	38,5
	CdN	1275.	17,0	16,7	27,9	18,3	17,1	19,0	18,9	18,5	20,0	21,2	20,1	17,3	19,5	18,9	18,7	19,6	19,1	19,6
	PdV	1445.	12,9	10,5	11,6	10,5	17,8	13,2	18,4	12,3	14,0	14,8	12,2	14,1	13,7	13,2	12,3	11,1	12,2	13,5
	P-M	1475.	9,6	10,8	21,3	13,0	9,2	17,6	14,3	17,6	15,5	12,8	16,5	10,9	13,4	16,0	17,6	18,2	17,3	15,4
	Rz	1490.	10,7	7,9	13,1	10,3	7,5	9,7	9,4	7,7	9,6	11,1	6,9	12,5	10,2	6,4	11,5	10,0	9,3	9,7
	AVG		13,9	13,3	20,1	14,3	16,0	16,7	18,1	16,3	16,9	17,5	15,8	15,5	16,2	15,9	8,6	8,3	10,9	15,3
	AVG bez LdE 1200.		13,2	12,3	18,9	13,3	14,9	15,3	17,1	14,6	15,7	16,5	14,7	14,3	15,2	14,5	15,2	14,9	14,9	15,3



Slika 6—32. Prostorni raspored apsolutnih pogrešaka kursova prekomorskih ruta iz portulana LdE 1200. i CdN 1275. prema tipu u odnosu na azimute odgovarajućih linija na odabranim portulanskim kartama.



Slika 6—33. Prostorni raspored apsolutnih pogrešaka kursova prekomorskih ruta iz portulana PdV 1445., P-M 1475. i Rz 1490. prema tipu u odnosu na azimute odgovarajućih linija na odabranim portulanskim kartama.

Od ukupno 88 prekomorskih ruta iz portulana s navedenim podatkom o kursu, u tip K–K spada 31 ruta (6 ruta iz LdE 1200.[55], 4 rute iz CdN 1275., 6 ruta iz PdV 1445., 6 ruta iz P-M 1475. i 9 ruta iz Rz 1490.), a u tipove K–O i O–O (objedinjeno) 57 ruta (3 rute iz LdE 1200., 17 ruta iz CdN 1275., 19 ruta iz PdV 1445., 10 ruta iz P-M 1475. i 8 ruta iz Rz 1490.) (Slika 6—32.: Slika 6—33.).

Najistaknutije razlike u podacima o točnosti kursa u portulanima vidljive su pri usporedbi prosječnih vrijednosti pogrešaka ruta tipa K–K (Tablica 6—11.) i ruta tipova K–O i O–O (Tablica 6—12.). Pogreške kursa za rute tipa K–K u su vidljivo manjih iznosa od pogrešaka kursa za rute tipa K–O i O–O. Prosječna *MAE* $d\alpha_{mag}$ u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji ima vrijednost 9,7° (8,0° bez portulana LdE 1200.) za rute tipa K–K, i 13,3° (12,3 ° bez portulana LdE 1200.) za rute tipa K–O i O–O. U odnosu na portulanske karte, pogreška kursa *MAE* $d\alpha$ ima prosječnu vrijednost 8,7° (7,0° bez portulana LdE 1200.) za rute tipa K–K i 15,3° (15,3° bez portulana LdE 1200.) za rute tipa za rute tipa K–O i O–O. Pojednostavljeno govoreći, prosječni iznosi pogrešaka kursa su za rute tipa K–K otprilike 1,5 puta manje od prosječnih iznosa pogrešaka kursa za rute tipa K–O i O–O, neovisno o geometriji kartografske podloge u odnosu na koju su izračunane. Drugim riječima, podaci o prostornom međuodnosu točaka na obali kopna izraženi putem kursa u portulane su upisani točnije od podataka o prostornom međuodnosu otočnih točaka. Međutim, pogreške kursa su u najvećem broju slučajeva manje u odnosu na ekvivalentne rute ucrtane na kartu u Mercatorovoj projekciji, koje se tretiraju tako da prikazuju „stvarno stanje“, nego u odnosu na ekvivalentne rute ucrtane na odabranim portulanskim kartama.

S obzirom na geometriju karte u odnosu na koju je točnost kursa izračunana vidljivo je da su rute tipa K–O i O–O u pravilu točnije u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji nego u odnosu na portulanske karte (Tablica 6—12.). Pogreška kursa je za rute tog tipa u prosjeku veća oko 2,0° u odnosu na portulanske karte naspram pogrešaka u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji – najveća je za portulan LdE 1200. (+7,0°), a najmanja za portulan Rz 1490. (+1,8°). S druge strane, iznos pogreške kursa za rute tipa K–K prosječno je manji od iznosa pogreške u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji. Međutim, u portulanima LdE 1200., PdV 1445. i Rz 1490. pogreška kursa za rute tipa K–K u odnosu na portulanske karte je manja, a u portulanima CdN 1275. i P-M 1475. veća od pogreške u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (Tablica 6—11.).

Veća točnost kursova za rute tipa K–O i O–O u cijelosti i za rute K–K u portulanima CdN 1275. i P-M 1475. u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji implicira veću točnost zapisa iz portulana naspram točnosti podataka u portulanskim kartama i samim time na njihov nastanak na temelju izravnih mjerenja prilikom plovidbe. Međutim, postavljanjem tih

[55] Iznimka u kategorizaciji urađena je za rute o. Smokvica Vela – Trani i o. Smokvica Vela – Rt Gargano iz portulana LdE 1200. koje su zbog male površine tog otoka i blizine obali tretirane kao rute tipa K–K. Površina Smokvice Vele iznosi oko 0,173 km² (Duplančić Leder i dr., 2004.: 17).

rezultata u širi kontekst prethodno utvrđene geometrije prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, moguće je dodatno argumentirati hipotezu o izravnom transferu podataka s portulanskih karata iz najmanje četiri razloga.

Prvo, prosječna duljina ruta tipa K–O i O–O na karti u Mercatorovoj projekciji iznosi 90,3 km, dok prosječna duljina ruta tipa K–K iznosi 201,6 km, tj. oko 2,2 puta kraće rute imaju dvostruko veću pogrešku kursa[56] (2,2 puta veću bez LdE 1200.). Ako su zapisi u portulanima produkt izvornih mjerenja provedenih tijekom plovidbe, kraće rute trebale bi biti izmjerene s većom točnošću kursa od duljih ruta.

Drugo, u prethodnim poglavljima izračunano je da je točnost kartiranja azimuta otočnih linija odabranih portulanskih karata, s pogreškom *MAE dα* od 10,8° u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji, manja od prosječne točnosti kartiranja azimuta na kartama kao cjelini s prosječnom pogreškom od 8,7°. Točnost kartiranja azimuta otočnih linija je i oko 1,8 puta (za 4,9°) manja od točnosti azimuta prekomorskih linija, s *MAE dα* od 5,9° (Slika 5—26.). Također, *MAE dα* portulanskih karata, izračunana iz ruta iz portulana naknadno ucrtanih na već georeferencirane karte iznosi 8,4°, tj. 4,6° za rute K–K i 10,5° za rute K–O i O–O (razlika od 5,9°) (Slika 10—23). Budući da je manja točnost azimuta linija kojima je otok jedna ili obje krajnje točke geometrijski inkorporirana u prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama, pogreška portulana u odnosu na portulanske karte predstavlja svojevrsnu „pogrešku u odnosu na pogrešku“. Ako su zapisi u portulanima produkt izvornih mjerenja provedenih tijekom plovidbe, prosječno povećanje pogrešaka kursa za rute tipa K–O i O–O u odnosu na portulanske karte naspram pogrešaka u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji[57] bi po svoj prilici trebalo biti veće od izračunanih 2,0° (3,0° bez portulana LdE 1200.).

Treće, izračunano je da su pojedini lučki bazeni i otoci na portulanskim kartama prikazani u većem mjerilu naspram prosječnog mjerila karte (Tablica 6—3., Slika 6—7.). Na kartama sitnijeg mjerila (karte A) prosječni indeks lokalnih povećanja mjerila (*ILPM*) iznosi 5,9 za prikaz lučkih bazena i 4,3 za prikaz otoka. Na kartama krupnijeg mjerila (karte B) taj indeks za prikaz lučkih bazena iznosi 3,8, a za prikaz otoka 3,7. Pri izravnom transferu mjerenja izvršenih na portulanskim kartama u tekstualni zapis u portulanima, varijacije u očitanju azimuta (kursa) mogu nastati nestandardiziranim odabirom polazišnih i odredišnih točaka ruta. S obzirom na lokalna povećanja mjerila u postupku određivanja polazišnih i odredišnih točaka, vrijednosti kursa razlikovat će se ako se za te točke odaberu krajnji rubovi lučkog bazena ili njihovi geometrijski centri, kao i ako se za krajnje točke rute odaberu geometrijski centri otoka prikazanih na karti ili neka od uvala ili rtova na prikazu tih otoka. Utjecaj

---

[56] Longitudinalne rute Venecija – Othonoi (tip K–O, iz portulana CdN 1257.) duljine 840 km i ruta Caorle – Rt Otranto (tip K–K iz portulana Rz 1490.) duljine 766 km, nisu uvrštene u izračun prosječnih duljina različitih tipova prekomorskih ruta.

[57] Prosječna *MAE* $d\alpha_{mag}$ kursova u portulanima u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji iznosi 15,5°, a prosječna *MAE dα* u odnosu na portulanske karte 19,3°.

pozicioniranja polazišnih i odredišnih točaka na očitanje kursa s portulanskih karata izraženiji je za otoke nego za lučke bazene zbog stiliziranog prikaza obalne crte otoka koja nije u skladu s njezinim stvarnim izgledom (Slika 6—6.).

Četvrto, maksimalna pogreška očitanja kursa na portulanskim kartama uvjetovana lokalnim povećanjem mjerila veća je za kraće plovidbene rute, što je moguće demonstrirati jednostavnim primjerom. Pri određivanju kursova iz Venecije i iz Rta Leuca prema otoku Othonoi na karti VDVb 1593. (pod uvjetom da su obje polazišne točke egzaktno utvrđene), maksimalna moguća pogreška očitanja kursa za rutu Venecija – Othonoi (0,87°) je 5,8 puta manja od maksimalne moguće pogreške očitanja kursa za rutu Rt Leuca – Othonoi (5,07°) (Slika 6—34.). Ruta Venecija – Othonoi je oko 10 puta dulja od rute Rt Leuca – Othonoi. Omjer njihovih duljina je 840: 86 km (9,8: 1) na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, no na karti VDVb 1593. on iznosi oko 461: 38 mm (12,1: 1). Da su vrijednosti kursova u portulanima produkt izravnih mjerenja, od 10 do12 puta kraća ruta imala bi po svoj prilici točnije izmjeren kurs, između ostalog i zbog toga što pri mjerenju u stvarnosti predimenzioniranost objekata, svojstvena prikazu na portulanskim kartama, ne postoji.

Slika 6—34. Maksimalne pogreške očitanja kursa na karti VDVb 1593. za rute Venecija – Othonoi (duljine oko 461 mm na karti) i Rt Leuca – Othonoi (duljine oko 38 mm na karti).

Prosječni iznosi točnosti kursa u odnosu na azimute tih ruta na portulanskim kartama različiti su za pojedine odabrane portulane ukupno, ali i podjelom ruta na tip K–K i tipove K–O i O–O. Vrijednosti pogrešaka kursa na kartografskim prikazima (Slika 6—32., Slika 6—33.) klasificirane su u skladu s podjelom kruga na smjerove vjetra, tj. zrake kompasa. Primjerice, točnost od 11,25° ili veća (tj. pogreška kursa od 11,25° ili manja) predstavlja točnost od jedne zrake kompasa ili veću.

U portulanu **LdE 1200.** za prostor Jadranskog mora zapis o kursu postoji za ukupno 9 prekomorskih ruta, od kojih 6 ruta spada u tip K–K, a kursovi iz tog portulana su (s obzirom na ukupni uzorak odabranih portulana) najmanje točni u odnosu na portulanske karte. Temeljni razlog je veća izračunana točnost kursova iz tog portulana u odnosu na geografski sjever, zbog čega je točnost u odnosu na portulanske karte za najveći dio kursova manja od jedne zrake kompasa, a za rute Kopar – Ravenna i Rt Leuca – Sazan manja i od dvije zrake kompasa. S obzirom na to da je točnost kursa za rute tipa K–K veća u odnosu na portulanske karte nego u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji s korekcijom azimuta u odnosu na magnetski sjever, moguće je pretpostaviti da se geometrija karte koja je u skladu sa zapisima iz ovog portulana po pitanju azimuta ne razlikuje mnogo od geometrije portulanskih karata, izuzev vjerojatnog nepostojanja rotacije prikaza prostora u smjeru obrnutom od kazaljke na satu.

U portulanu **CdN 1275.** za prostor Jadranskog mora zapis o kursu postoji za ukupno 21 prekomorsku rutu, od kojih 4 rute spadaju u tip K–K. Točnost ruta tipa K–K je u pravilu veća od jedne zrake kompasa, no točnost ruta tipa K–O i O–O iznosi između jedne i dvije zrake kompasa. Također, točnost kursa za rute tipa K–K iz tog portulana je u prosjeku dvostruko veća u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji s korekcijom azimuta prema magnetskom sjeveru nego u odnosu na portulanske karte. Međutim, točnost kursova tipa K–K je od svih portulanskih karata najmanja odnosu na kartu PK 1275., a najveća u odnosu na kartu KA 1375. Također, pogreška u odnosu na kartu KA 1375. je najmanja i za rute tipa K–O i O–O. Portulan CdN 1275. (*Compasso de Navegare*) je zbog bliskog datuma i lokacije izrade, od strane pojedinih autora, primjerice B. Motza i J. T Lanmana, doveden u usku vezu s kartom PK 1275. (*Pisanska karta*). Lanman smatra da su talijanski portulani i talijanske portulanske karte izravan produkt istih mjerenja provedenih tijekom plovidbe te da su portulanske karte po svojoj svrsi služile kao nadopuna tekstualnim podacima iz portulana (Lanman, 1987.: 40). U ovom dijelu istraživanja, osim što je prema rezultatima izglednije da su podaci u portulanima nastali skaliranjem s portulanskih karata, vidljivo je i da su podaci iz talijanskog portulana najtočniji u odnosu na kartu KA 1375. (*Katalonski atlas*) koja je katalonskog, a ne talijanskog porijekla.

U portulanu **PdV 1445.** za prostor Jadranskog mora zapis o kursu postoji za ukupno 25 prekomorskih ruta od, kojih 6 ruta spada u tip K–K. Prema tabličnom prikazu rezultata s prosječnom pogreškom kursa u odnosu na portulanske karte od 13,8° za rute tipa K–K ovaj

portulan uz portulan LdE 1200. ima najnižu točnost kursa, a za rute tipa K–O i O–O njegova točnost je manja jedino od točnosti portulana Rz 1490. Uzrok razmjerno visoke pogreške kursa je u prvom redu ruta Venecija – Muggia s točnošću manjom od dvije zrake kompasa te rute Rt Premantura – Ravenna i Rt Gargano – Kotor s točnošću između jedne i dvije zrake kompasa. Ako se ruta Venecija – Muggia izuzme, prosječna pogreška kursa prekomorskih ruta kao cjeline u portulanu PdV 1445., u odnosu na portulanske karte, iznosi 12,7° (i dalje je veća od jedne zrake kompasa), a za rute tipa K–K pogreška kursa iznosi 9,8° (umjesto 13,8°).

U portulanu **P-M 1475.** za prostor Jadranskog mora zapis o kursu postoji za ukupno 16 prekomorskih ruta, od kojih 6 ruta spada u tip K–K. Točnost kursa za rute tipa K–K veća je od polovice zrake kompasa (5,62°) u odnosu na portulanske karte, pri čemu su varijacije u točnosti između pojedinih ruta tog tipa vrlo niske. Točnost kursa najveća je u odnosu na kartu KA 1375., a u odnosu na istu kartu najveća je i točnost kursova za rute tipa K–O i O–O. Kao i u slučaju portulana CdN 1275., točnost kursova u portulanu P-M 1475., koji je također izrađen na prostoru današnje Italije, najveća je u odnosu na kartu KA 1375. koja je katalonskog porijekla. Osim toga, pogreške kursa u portulanu P-M 1475. manje su u odnosu na kartu KA 1375. nego u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji s korekcijom azimuta prema magnetskom sjeveru. Podatke iz portulana P-M 1475. (*Parma-Magliabecchi*), uz portulan CdN 1275. (*Compasso de Navegare*), kartometrijski je analizirao J. T. Lanman. Lanman je na temelju izrade pojednostavljenih portulanskih karata sačinjenih od dužobalnih ruta u ta dva portulana izračunao da su podaci iz portulana P-M 1475. točniji te na temelju toga zaključio da se točnost podataka u portulanima s vremenom poboljšavala (Lanman, 1987.: 12). Izravnu usporedbu s rezultatima tog istraživanja nije moguće izvršiti, pošto su u ovom istraživanju detaljno analizirane samo prekomorske rute u portulanima, i to unutar razmjerno uskog prostornog obuhvata. No, vidljivo je da je točnost podataka o udaljenostima u ta dva portulanima približno jednaka (Tablica 6—9.), dok je točnost podataka o kursu portulana P-M 1475. veća oko 1° za rute tipa K–K (Tablica 6—11.) i oko 4° za rute tipa K–O i O–O (Tablica 6—12.).

U portulanu **Rz 1490.** za prostor Jadranskog mora zapis o kursu postoji za ukupno 17 prekomorskih ruta, od kojih 9 ruta spada u tip K–K. Točnost kursa u ovom portulanu u odnosu na portulanske karte je s točnošću većom od jedne zrake kompasa za prekomorske rute kao cjelinu i prema podjeli na tipove ruta najveća među odabranim portulanima. Također, varijacije točnosti među pojedinim rutama tipa K–K su za rute u ovom portulanu izrazito niske, a po broju ruta (toponima) sadržanih u tekstu, poglavito za obalne rute, moguće je pretpostaviti da su podaci skalirani s portulanske karte krupnijeg mjerila.

6.4.5 RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Ovo istraživanje je, barem koliko je autoru poznato, uz radove J. T. Lanmana (Lanman, 1987.), R. Nicolaija (Nicolai, 2014.) i J. A. Gaspara (Gaspar, 2019.) jedino detaljno kartometrijsko istraživanje povezanosti podataka u portulanima i portulanskih karata, no dobivene rezultate nije moguće izravno i u cijelosti usporediti s rezultatima spomenutih autora. J. T. Lanman je u svojem radu obradio portulane *Compasso de Navegare* i *Parma-Magliabecchi*, R. Nicolai portulan *Compasso de Navegare*, no mnogo detaljnije od Lanmana, J. A. Gaspar portulan *Liber de Existencia Riveriarum* i to samo po pitanju točnosti kursa, a svaki od autora istraživanje je izvršio za cijeli bazen Sredozemnog (i Crnog) mora. Podatke iz portulana Pietra de Versija i portulana *Rizo* sažeto je prikazao J. E Kelley (Kelley, 1995.: 10), no pritom nije izvršio njihovu detaljnu kartometrijsku analizu. Temeljna razlika u odnosu na spomenuta istraživanja jest, osim prostorne ograničenosti na obuhvat bazena Jadranskog mora, kartometrijska obrada podataka iz portulana Pietra de Versija i portulana *Rizo* te detaljna kartometrijska obrada prekomorskih ruta, i to tako da su ucrtavane izravno na sve odabrane portulanske karte, neovisno o njihovoj godini izrade.

S obzirom na to da je velik dio dobivenih rezultata prethodno interpretiran, u nastavku teksta težište je stavljeno na raspravu o izračunanom iznosu portulanske milje prema zapisima iz portulana, upotrjebljivost portulanskih karata s obzirom na zapise u portulanima, argumentaciju hipoteze o transferu podataka s portulanskih karata na portulane i na (ne)mogućnost izrade portulanskih karata isključivo na temelju podataka iz portulana.

Međusobne razlike u izračunanom iznosu portulanske milje za sjeverni i južni dio Jadranskog mora gotovo su dvostruko manje pri izračunu njezine duljine u odnosu na geometriju portulanskih karata georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° nego u odnosu na geometriju karata u referentnim kartografskim projekcijama (Tablica 6—7.). Veća ujednačenost iznosa svakako više upućuje na portulansku milju kao konstantu, neovisno o dijelu prostora na kojem se pojedina ruta nalazi. Stoga je iznos portulanske milje izračunan u odnosu na geometriju portulanskih karata od 1,29 km ocijenjen kao pouzdaniji rezultat od iznosa od 1,24 km, izračunanog u odnosu na geometriju referentnih projekcija. Pri georeferenciranju portulanskih karata (za koje je prethodno utvrđeno da su geometrijski temeljno konformne) na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (koja je geometrijski također konformna) korištenjem konformne 4-parametarske transformacije, pogreške prikaza duljina su na tim kartama za područje Jadranskog mora najmanje. Logična je pretpostavka, stoga, da je iznos portulanske milje od 1,29 km, izračunan u odnosu na portulanske karte georeferencirane na taj način, bliži njezinom stvarnom iznosu.

Prosječni iznos portulanske milje prema zapisima u portulanima, izračunan u odnosu na portulanske karte georeferencirane na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, blizak je iznosu portulanske milje izračunane prema linearnim mjerilima portulanskih karata georeferenciranim na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=36° (Tablica 6—5.). Na temelju toga

moguće je pretpostaviti da je linearno mjerilo portulanskih karata određeno tako da vrijedi za geografsku širinu φ=36° (N), koja je imala važnost tijekom antike. Na toj geografskoj širini nalaze se, primjerice, Gibraltar i Rodos, koji su bili kartografski značajni antičkim kartografima poput Dikearha i Eratostena (3. st. pr. Kr.) (Harley i Woodward, prema Aujac, 1987.: 152-153, 157), a prema Klaudiju Ptolemeju, φ=36° N je kao geografsku širinu na kojoj je mjerilo karte valjano, koristio Marin iz Tira (Dilke, 1987.: 179, Breggren i Jones, 2000.: 82-83). Budući da je hipoteza o valjanosti linearnog mjerila na portulanskim kartama za geografsku širinu φ=36° dobivena samo na temelju prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, potrebno ju je uzeti sa zadrškom. U slučaju da se vrijednost izračuna za ostale bazene Sredozemnog mora i za Crno more, bilo bi moguće s razmjeno većom sigurnošću učvrstiti hipotezu o antičkom porijeklu inicijalnog predloška portulanskih karata.

Ono što u prethodnim odlomcima nije eksplicitno navedeno (a izravno je vezano uz naslov poglavlja) je interpretacija upotrjebljivosti portulanskih karata u odnosu na podatke o udaljenostima i kursu u portulanima. Taj odnos je najjednostavnije izraziti usporedbom rezultata o točnosti portulanskih karata u odnosu na podatke u referentnoj projekciji i rezultata o točnosti portulana, također u odnosu na podatke u referentnoj projekciji. Točnost portulanskih karata *MAE dL*, izračunana na temelju ruta iz portulana ucrtanih naknadno na otprije georeferencirane karte iznosi 16,6 km (26,2 km za sjeverni, 12,0 km za srednji i 13,2 km za južni Jadran) (Slika 10—21.), dok *MAE dL* prekomorskih ruta iz portulana, ovisno o referentnoj projekciji karte, iznosi 15,8–16,3 km (12,2–12,6 PM). Prosječna točnost kartiranja azimuta na portulanskim kartama *MAE dα*, izračunana na temelju ruta iz portulana ucrtanih naknadno na otprije georeferencirane karte iznosi 8,4° (0,07°/km) (4,6° rute, tj. 0,2°/km K–K te 10,5°, tj. 0,11°/km rute K–O i O–O) (Slika 10—23., Slika 10—24). Prosječna točnost kursa podataka u portulanima u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji i s obzirom na smjer magnetskog sjevera iznosi 12,0° (10,9° bez LdE 1200.) za prekomorske rute kao cjelinu, tj. 9,7° za rute tipa K–K (8,0° bez LdE 1200.) i 13,3° za rute tipa K–O i O–O (12,3° bez LdE 1200.).

Točnost kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama i podataka o udaljenostima u portulanima, približno je jednaka. Točnost kursa u portulanima (u odnosu na Mercatorovu projekciju) neznatno je manja od jedne zrake kompasa za rute čije krajnje točke uključuju otoke, no za rute između kopnenih točaka točnost je veća od jedne zrake kompasa, što je po kriteriju vrste ruta slično odnosu točnosti izračunanim za portulanske karte. Samostalna upotrjebljivost portulanskih karata i portulana, pri plovidbi prekomorskim rutama je, iz geometrijskog aspekta približno ista, no temeljnu razliku u upotrjebljivosti tih dvaju navigacijskih pomagala predstavlja sadržana količina prostornih podataka u portulanima i njihova rezolucija. Broj prekomorskih ruta u odabranim portulanima je ograničen (Slika 6—27.), za razliku od portulanskih karata na kojima je broj potencijalnih prekomorskih ruta, koje je moguće proizvoljno odrediti, mnogostruko veći. J. E. Kelley Jr., primjerice, kazuje da tipična portulanska karta iz 14. ili 15. st. sadrži oko 20 puta više prostornih podataka nego

najopširniji sačuvani portulan (Kelley, 1995.: 10). Također, podaci o udaljenostima i kursu u portulanima su pretežito prikazani u zaokruženim vrijednostima, koje se u kontekstu točnosti mogu tretirati kao manja rezolucija podataka. U ukupnom uzorku podataka iz odabranih portulana, udaljenost je, od ukupno 347 identificiranih ruta za koje postoji podatak o udaljenosti, za 199 ruta (57 %) prikazana višekratnikom broja 10, a za 59 ruta (17 %) višekratnikom broja 5. Od ukupno 95 prekomorskih ruta, duljina 85 ruta (89 %) je prikazana višekratnikom broja 10, a duljina 9 ruta (9 %) višekratnikom broja 5. U ukupnom uzorku od 208 ruta, za koje postoji podatak o kursu, kurs je za 158 ruta (76 %) prikazan u rezoluciji od dvije zrake kompasa (ruža vjetrova s 16 smjerova), a za 49 ruta (23,5 %) u rezoluciji od jedne zrake kompasa. Od ukupno 88 prekomorskih ruta sa zapisom o kursu, kurs je za 62 rute (70 %) prikazane u rezoluciji od dvije zrake kompasa, a za 25 ruta (28 %) u rezoluciji od jedne zrake kompasa. S obzirom na to, moguće je zaključiti da se upotrjebljivost portulanskih karata za određivanje udaljenosti i kursa ne mijenja s usporednim korištenjem portulana, već upravo suprotno – upotrjebljivost portulana je potencijalno veća uz usporedno korištenje portulanskih karata. Međutim, upotrjebljivost portulana, kao i portulanskih karata, rapidno opada pri obalnoj navigaciji, poglavito plovidbom obalnim rutama manje duljine.

Usmjerenost istraživanja na prekomorske rute utemeljena je na rezultatima izračuna iznosa portulanske milje u kilometrima prema podacima iz portulana i na rezultatima izračuna pogrešaka udaljenosti i kursa podataka u portulanima, u kojima su obalne rute ocijenjene kao nedovoljno pouzdan skup podataka s niskom razinom točnosti. No, na temelju tih rezultata poduprta je i hipoteza o transferu podataka s portulanskih karata na portulane, čiji je jedan od prvih idejnih zagovornika J. E. Kelley (Kelley, 1995.: 10), a koju je argumentirao i R. Nicolai na primjeru portulana *Compasso de Navegare* (Nicolai, 2014.: 322). Prvi argument potvrdi hipoteze o transferu podataka s portulanskih karata na portulane je izračunano povećanje varijabilnosti iznosa portulanske milje sa skraćivanjem duljine obalnih ruta (Slika 6—29.). Pri mjerenju udaljenosti tijekom plovidbe metodom pješčanog sata i procjene brzine broda, duljine kraćih ruta trebale bi biti određene s manjim međusobnim varijacijama. To se poglavito odnosi na obalne rute uzduž kojih je s broda moguće pratiti izgled obale i prijeđenu udaljenost usporediti s dimenzijama pojedinih obalnih objekata vidljivih s broda. Drugi argument u korist hipotezi dobiven je indirektno, na temelju izračuna iznosa portulanske milje te pogreška udaljenosti za prekomorske rute, čije su regionalne razlike manje u odnosu na portulanske karte nego u odnosu na karte u referentnim projekcijama na kojima je prikaz udaljenosti točniji (Tablica 6—7., Tablica 6—8.). Također ako se iz uzorka izuzme LdE 1200., točnost podataka o udaljenostima (*MAE dL*) veća je u odnosu na portulanske karte nego u odnosu na krate u referentnim projekcijama (Tablica 6—9.), poglavito u odnosu na kartu u kosoj gnomonskoj projekciji na kojoj je prikaz udaljenosti manje deformiran. Na temelju tih rezultata zaključeno je da podaci o udaljenostima iz portulana ne prikazuju stvarne vrijednosti, već su njihove pogreške u skladu s pogreškama udaljenosti na portulanskim

kartama, tj. da su podaci iz portulana, u tekstualnom obliku, „projicirani“ u skladu s geometrijom portulanskih karata. Za obalne rute iz portulana izračunane su i veće apsolutne pogreške kursa u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji. Njihov iznos također raste sa smanjenjem duljine obalnih ruta, pri čemu ona za najkraće rute iznosi više od dvije zrake kompasa (*MAE* $d\alpha$ > 22,5°) (Slika 6—31.). Kraće obalne rute bi pri mjerenju kursa trebale, po svoj prilici, biti izmjerene točnije od ruta veće duljine, poglavito zbog mogućnosti viziranja mnogo većeg broja referentnih objekata potrebnih za određivanje kursa. Također, prekomorske rute tipa K–O i O–O su oko 2,2 puta kraće od ruta K–K, a pogreška kursa za te rute je veća. S obzirom na to da je odnos pogreške kursa i duljine ruta obrnuto proporcionalan vrijednostima očekivanim pri mjerenjima u plovidbi, a prikazano je da je porast pogreške kursa za kraće udaljenosti u skladu s hipotezom o transferu podataka s portulanskih karata (Slika 6—34.), ovi rezultati tretirani su kao treći argument u korist toj hipotezi.

Kako je prethodno spomenuto, pojedini autori s početka i sredine 20. st., primjerice T. Fischer, K. Kretschmer i B. Motzo, su smatrali da su portulani i portulanske karte izrađeni na temelju iste baze prostornih podataka izmjerenih izravno prilikom plovidbe, pri čemu u redoslijedu izrade prednost daju portulanima. Mišljenja suvremenih istraživača po pitanju mogućnosti izrade portulanske karte na temelju podataka iz portulana međusobno se razlikuju. Primjerice, J. A. Gaspar smatra da količina podataka sadržanih u portulanu *Liber de Existencia Riveriarum* nije dovoljna da bi se samostalno na temelju njih izradila karta. Gaspar je pobornik ideje da su portulanske karte izravan produkt mjerenja izvršenih tijekom plovidbe u kasnom srednjem vijeku, no ne isključivo na podacima u portulanima već na temelju objedinjavanja skica manjih pojedinih morskih bazena (Gaspar, 2019.: 16, 20). J. T. Lanman je, pokušavajući konstruirati portulansku kartu na temelju podataka iz portulana *Compasso de Navegare* i *Parma-Magliabecchi* metodom crtanja obalnih ruta na plohi s konstantnim mjerilom, zaključio da je nastanak portulanskih karata iz podataka u portulanima moguć uz dodatak određenog broja obalnih ruta. Lanman smatra da je produkt izrade portulanske karte na temelju portulana ponajviše ovisio o podacima o obalnim rutama, dok su podaci o prekomorskim rutama služili samo za grubo određivanje dimenzija karata (Lanman, 1987.: 6, 14, 53-54). R. Nicolai je, na temelju repliciranja Lanmanovog rada, no s većim brojem ruta i detaljnijim metodološkim pristupom, demantirao Lanmanove zaključke o mogućnosti izrade karte s točnošću svojstvenom portulanskim kartama iz podataka u portulanima metodom crtanja na plohi s konstantnim mjerilom (Nicolai, 2014.: 338-341). Nicolai je osim toga, demonstrirao da je izrada karte s razinom točnosti svojstvene portulanskim kartama na temelju mreže izmjerenih udaljenosti i kursa i s razinom tehnologije iz tog razdoblja neizvediva, čak i pod uvjetom da je baza mreže izmjerena bez pogrešaka (Nicolai, 2014.: 387).

Prema rezultatima ovog istraživanja zaključeno je da je vjerojatnost izrade portulanske karte na kojoj je prikazano Jadransko more isključivo na temelju podataka iz bilo kojeg od

odabranih portulana (pod uvjetom da su uistinu izmjereni prilikom plovidbe), izrazito niska. Prije svega, broj ruta, naročito prekomorskih (od 13 do 25 prekomorskih ruta po portulanu, Slika 6—27.) je za takav pothvat, općenito, nedovoljan, a njihova prostorna raspodjela je u ponekim portulanima izrazito neujednačena. Obalne rute su, s druge strane, zastupljenije, no njihova točnost je naspram točnosti prekomorskih ruta izrazito niska. Također, zaokruživanje podataka u portulanima, tj. njihova razmjerno niska rezolucija, ne pogoduje izradi karte tolike razine točnosti – većina udaljenosti, poglavito prekomorskih, prikazana je višekratnikom broja 10, a većina kursova u rezoluciji od dvije zrake kompasa, tj. 22,5°. Vrlo niska do nepostojeća mogućnost izrade portulanskih karata na temelju podataka iz portulana može se tretirati i kao četvrti argument u korist hipotezi o transferu podataka s karata.

ZAKLJUČCI

17) *Točnost podataka o udaljenostima i kursu prekomorskih ruta u portulanima približno je jednaka točnosti kartiranja udaljenosti i azimuta na portulanskim kartama. Zbog manjeg broja prostornih podataka i njihove razmjerno niske rezolucije, upotrjebljivost portulana veća je uz upotrebu usporedno s portulanskim kartama, no ne i obrnuto – upotrjebljivost portulanskih karata ne povećava se uz upotrebu usporedno s portulanima.*

18) *Pogreške kursa u portulanima za obalne rute povećavaju se sa smanjenjem njihove duljine. Pogreške kursa su veće za prekomorske rute koje povezuju otok s kopnom ili otoke međusobno nego za prekomorske rute između točaka na obali kopna. Regionalna distribucija pogrešaka udaljenosti iz portulana i varijabilnosti izračunanog iznosa portulanske milje usklađena je s geometrijom prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama.*

19) *Prekomorske rute iz portulana Liber de Existencia Riveriarum orijentirane su prema geografskom sjeveru i geometrijski su donekle slične prikazu Jadranskog mora na Pisanskoj karti.*

20) *Najvjerojatniji izvor podataka o udaljenostima i kursovima iz portulana je izravni transfer s portulanskih karata.*

21) *Pretpostavljeni iznos portulanske milje za prostor Jadranskog mora, izračunan na temelju prekomorskih ruta iz portulana, je oko 1,29 km, što je blisko iznosu izračunanom na temelju linearnih mjerila portulanskih karata, georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=36°. Postoji mogućnost da su portulanske karte projicirane tako da je mjerilo karte valjano upravo za tu geografsku širinu.*

7 RASPRAVA

Rukopis je tematski raščlanjen na dvije cjeline tako da se prva sastoji od tri, a druga od četiri poglavlja s pripadajućim podpoglavljima. Svako od sedam poglavlja moguće je, uvjetno, tretirati kao samostalnu cjelinu. Međutim, izuzev poglavlja 5.1, svako od kasnijih poglavlja je i sadržajno i metodološki u određenoj mjeri oslonjeno na rezultate iz jednog ili više poglavlja koja mu prethode. Zbog toga su rezultati analize iz pojedinih poglavlja jasniji kada se ono tretira kao sinteza umjesto kao skup objedinjenih istraživanja manjeg obuhvata.

Kartometrijska analiza portulanskih karata nužan je preduvjet za utvrđivanje njihove točnosti, a samim time i njihove upotrjebljivosti. Odlomci o fizičkim dimenzijama karata, iznosu magnetske deklinacije ili vidljivosti reljefa u ovisnosti o udaljenosti od obale, nisu uvjetovani prethodnom kartometrijskom analizom te mogu postojati i kao samostalni prikazi.

Istraživanje je u cijelosti izrađeno u georeferenciranom virtualnom okruženju uz korištenje pripadajućih (suvremenih) mjernih jedinica, koje je prilikom interpretacije upotrjebljivosti karata i portulana u plovidbenoj praksi potrebno transformirati u analogne vrijednosti iz „stvarnog svijeta“, tj. u mjerne jedinice za udaljenost i kut koje su bile u upotrebi u pomorstvu tijekom kasnoga srednjeg i ranoga novog vijeka. Neusklađenost mjernih jedinica ujedno je i jedan od razloga zbog kojeg poglavlja o kartometrijskoj analizi karata prethode poglavljima o njihovoj upotrjebljivosti.

U poglavljima o upotrjebljivosti karata suvremene mjerne jedinice za udaljenost [km] i kut [°] postupno su nadopunjene mjernim jedinicama iz razdoblja izrade karata kao što su četvrtina vjetra, tj. zraka kompasa (11,25°), kao mjera za azimut (kurs) i (portulanska) milja [PM] kao mjerna jedinica za duljinu u navigaciji. Primjerice, izražavanje točnosti kartiranja azimuta na portulanskim kartama u zrakama kompasa metodološki je opravdano tek nakon određivanja njihove točnosti s obzirom na smjer magnetskog sjevera, tj. točnosti uz uporabu magnetskog kompasa. Također, pretpostavljeni iznos portulanske milje je utvrđen u posljednjem poglavlju, zbog čega točnost kartiranja duljina na portulanskim kartama prethodno nije bilo moguće izraziti u toj mjernoj jedinici, već samo u kilometrima.

Temeljni zaključak o geometrijskim obilježjima prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama jest da one nisu „neprojicirane“, tj. da nisu izrađene metodom kartiranja na plohi s konstantnim mjerilom pri zanemarivanju sfernosti Zemljine površine. Naprotiv, rezultati istraživanja potvrđuju hipotezu da su prilikom njihove inicijalne izrade primijenjene metode kartografskog projiciranja tako da se kursne linije (loksodrome) prikažu kao ravne crte. Pojednostavljeno govoreći, kartografska projekcija koja je temeljno cilindrična i konformna predstavlja matematičku osnovu izrade portulanskih karata.

Tumačenja o upotrjebljivosti portulanskih karata izvedena su iz izračuna točnosti karata, no s obzirom na parametre koji obuhvaćaju strukturne geometrijske elemente karata i odabrane vanjske čimbenike vezane uz navigaciju metodom zbrojene pozicije. Fizičke dimenzije karata i rotacija prikaza u smjeru obrnutom od kazaljke na satu strukturni su

geometrijski elementi karata. S druge strane, iznos magnetske deklinacije, iako po svoj prilici usko vezan uz rotaciju prikaza, zapravo je vanjski čimbenik, jednako kao i vidljivost reljefnih oblika s broda u ovisnosti o udaljenosti od obale. Portulani koji su fizički neovisni i po formi prikaza prostornih podataka različiti od portulanskih karata su uz njih, pak, izravno vezani i to tako da čine svojevrsnu geometrijsku ekstenziju karata u tekstualnom obliku.

Stvarnu upotrjebljivost karata s obzirom na odabrane parametre nije moguće utvrditi, ponajprije zbog toga što su mjerenja i izračuni točnosti izvršeni u istraživanju mnogo točniji od ekvivalentnih mogućnosti u razdoblju uporabe tih karata. Primjerice, u virtualnom georeferenciranom okruženju u kojem su izračuni izvršeni, točnost karata je moguće odrediti u rezoluciji većoj od jednog milimetra ili jednog stupnja. Također, kartografske projekcije, model magnetske deklinacije i digitalni model visina korišteni kao referentne vrijednosti u istraživanju, nisu postojali u razdoblju uporabe portulanskih karata – upravo su portulanske karte bile medij koji je predstavljao najtočniji (poznati) raspoloživi prikaz obalne crte u tom razdoblju. U kojoj mjeri su njihovi korisnici bili svjesni razine točnosti prikaza Jadranskog mora na tim kartama, u ovom istraživanju nije moguće egzaktno utvrditi, već samo partikularno pretpostaviti.

U poglavlju 1.3, navedeno je da sačuvani primjerci portulanskih karata, zbog razmjerno visoke cijene njihove izrade i nepostojanja tragova korištenja u navigacijske svrhe, po svoj prilici nisu bili namijenjeni za korištenje na brodu (Campbell, 1987.: 440; France i dr., 2018.: 4-5). Također, dimenzije prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, poglavito na kartama iz skupine A, od približno 130 mm × 130 mm (Slika 6—2.), ne upućuju na izglednu mogućnost njihove uporabe u navigacijske svrhe, naročito u usporedbi s dimenzijama suvremenih pomorskih karata. Budući da sačuvani zapisi o upotrebi karata na brodu u navigacijske svrhe iz tog razdoblja postoje (Kotruljević, 1464. (2005.): 217, 219), a da je istraživanje izvršeno na uzorku karata koje (u fizičkom smislu) nisu bile korištene na brodu kao pomorske karte, zaključci o njihovoj potencijalnoj navigacijskoj upotrebljivosti su prije svega neizravni. Rezultati istraživanja i zaključci o upotrjebljivosti karata valjani su jedino pod (pretpostavljenim) uvjetom da su karte, koje su na brodovima uistinu bile korištene u svrhu navigacijskih pomagala, bile geometrijski istovjetne sačuvanim kartama.

Temeljnu prednost portulanskih karata u kontekstu upotrjebljivosti u navigaciji predstavlja mogućnost razmjerno točnog očitanja kursa prekomorskih ruta izravno s karata. Točnost određivanja kursa na temelju portulanskih karata veća je i manje varijabilna od njihove upotrjebljivosti za određivanje duljine ruta, budući da je prikaz duljina manje ujednačen po polju karte (Slika 6—3.). Također, portulanske karte mogu poslužiti kao navigacijsko pomagalo pri plovidbi prekomorskim rutama uzduž kojih s polazišne točke nije moguće vizirati odredišnu točku plovidbe, pa ni, analogno tomu, izravno očitati njezin azimut uz pomoć kompasa (Slika 6—25.). S obzirom na sadržanu količinu prostornih podataka, mogućnost uvida u oblik čitavoga morskog bazena odjednom i točnost kartiranja

prekomorskih azimuta, portulanske karte su korisnije pomagalo za određivanje kursa u odnosu na podatke u portulanima. Iako su sačinjeni od prostornih podataka koji su po svoj prilici preuzeti izravno s karata, portulani su u odnosu na portulanske karte manje pregledni te sadrže podatke razmjerno niske rezolucije.

Rezultati istraživanja podupiru hipotezu o portulanskim kartama kao iznimno korisnim navigacijskim pomagalima za plovidbu pučinskim dijelom Jadranskog mora u kasnom srednjem i ranom novom vijeku. Međutim, rezultati istodobno ukazuju i na iznimno nisku mogućnost njihovoga inicijalnog nastanka tijekom srednjeg vijeka, uvjetovanog pojavom i širenjem magnetskog kompasa na području Sredozemlja – hipotezu koja predstavlja svojevrsni konsenzus u znanosti i koju su se tek pojedini istraživači, poput R. Nicolaija, odlučili argumentirano izazvati. Primjerice, sofisticirana metoda kartografskog projiciranja, poglavito konformnog, prema poznatim podacima svakako nije bila odlika srednjovjekovne europske kartografije. Zatim, postoji izvjesna mogućnost da je prikaz prostora na portulanskim kartama ili kartama koje su im prethodile bio inicijalno orijentiran u odnosu na geografski sjever. Veći iznosi pogrešaka i međusobna neusklađenost azimuta obalnih i otočnih linija (ruta), čije je krajnje točke u to vrijeme bilo moguće vizirati uz pomoć kompasa, svakako ne upućuje na visoku sofisticiranost srednjovjekovnih mjerenja i izvjesnost njihove izravne egzaktne primjene u kartografske svrhe, kao ni niska točnost razmjerno kratkih obalnih ruta u portulanima. Također, fiksirani prostorni obrazac pogrešaka kartiranja udaljenosti i općenito nepostojanje povećanja točnosti kartiranja (neovisno o godini izrade i mjerilu karte) ukazuju na nemogućnost da su te karte izravni produkti autentičnih plovidbenih mjerenja kursova i udaljenosti u srednjem vijeku.

Najveći dio rezultata istraživanja interpretiran je u prethodnim poglavljima. U ovom poglavlju, koje predstavlja objedinjenu raspravu, prikazana je sinteza postojećih rasprava, no u reduciranom obliku i međusobno povezanih na način koji nužno nije u skladu sa slijedom poglavlja u rukopisu. Također, ovo poglavlje predstavlja i sintezu rezultata koji ukazuju na nedosljednosti hipoteze o inicijalnom nastanku portulanskih karata tijekom srednjeg vijeka, a koji su u prethodnim poglavljima prikazani fragmentirano i bez detaljne kontekstualizacije.

7.1 METODOLOŠKE RAZLIKE U ODNOSU NA SRODNA ISTRAŽIVANJA

S obzirom na primijenjenu metodu kartometrijske analize karata i portulana te na razmjerno malen broj radova ove vrste općenito, rezultati istraživanja su, u određenoj mjeri, usporedivi s rezultatima iz tek nekoliko opširnijih prethodnih kvantitativnih istraživanja. Riječ je o doktorskim disertacijama S. A. Loomera (Loomer, 1987.) i R. Nicolaija (Nicolai, 2014.) te knjizi *On the Origin of Portolan Charts* J. T. Lanmana (Lanman, 1987.). Zaključak o izrazitoj sličnosti geometrije portulanskih karata i karte u Mercatorovoj projekciji, u skladu je s Loomerovim i Nicolaijevim zaključcima, dok je hipoteza o transferu podataka s portulanskih karata na portulane u skladu sa zaključcima R. Nicolaija, no ne i sa zaključcima J. T. Lanmana, koji je zagovaratelj hipoteze o transferu podataka s portulana na portulanske karte. Premda su istraživanja S. A. Loomera i R. Nicolaija, metodološki najrelevantnija za ovaj rad, prethodno raspravi potrebno je istaknuti strukturne razlike zbog kojih rezultati ovog istraživanja s rezultatima objavljenim u tim radovima nisu izravno usporedivi.

S. A. Loomer je ustanovio da je točnost portulanskih karata najveća u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=40°, no da je vrlo visoka i u odnosu na kartu u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji φ_0=40°. Referentnu kartu sastavio je vektoriziranjem četiri fizička izvornika, od kojih je karta s prikazom Sredozemlja (temeljna) izvorno izrađena u Mercatorovoj projekciji φ_0=40° u mjerilu 1: 2.849.300 (Loomer, 1987.: 191). Njegov primarni zaključak jest da su portulanske karte temeljno konformne (Loomer, 1987.: 144-146). Točnost Loomerovog uzorka portulanskih karata za bazen Jadranskog mora kao samostalnu cjelinu, iskazana kao *AVG RMSE Re M* [mm], iznosi 1,8 mm u donosu na Mercatorovu projekciju φ_0=40°. Iznos je skalirao u odnosu na izračunano prosječno mjerilo portulanskih karata iz svojeg uzorka s (*ef. M* od 5,2 km/mm) (Loomer, 1987.: 148). Točnost prikaza Jadranskog mora na kartama A (karte B po mjerilu nisu usporedive s kartama iz Loomerovog uzorka) kao *AVG RMSE Re M* u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7°, tj. pri *ef. M* od 4,8 km/mm (Tablica 6—1.), iznosi 3,3 mm. U odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36°, s *ef. M* od 5,3 km/mm, *AVG RMSE Re M* također iznosi 3,3 mm.

Uzrok postojanja tolike razlike u prosječnom iznosu pogreške u odnosu na njegovo istraživanje, u kojem je također koristio Helmertovu transformaciju, svakako nije parametar φ_0. Mogući uzrok mogao bi biti razlika u korištenoj tehnologiji, ili izbor parova referentno–identičnih točaka. Za svoje istraživanje koristio je uređaj *Kern MK-2 monocomparator* (Loomer, 1987.: 90), dok je ovo istraživanje izvršeno na suvremenom računalu. Također, koristio je 38 parova referentno-identičnih točaka, od kojih se sve odabrane točke nalaze na obali kopna (ne uključuju otoke), a poneke nalaze razmjerno blizu jedna drugoj (npr. Pula i Rt Premantura, Rijeka i Novi Vinodolski, Rt Rodon i Drač)(Loomer, 1987.: 200-201). U ovom istraživanju, primarni kriterij za odabir 40 referentnih točaka bila je mogućnost razmjerno neometane pravocrtne navigacije između susjednih prekomorskih točaka.

R. Nicolai je također ustanovio iznimnu sličnost geometrije portulanskih karata s geometrijom Mercatorove projekcije i uspravne ekvidistantne cilindrične projekcije, pri čemu je obje projekcije zadao s parametrom φ_0=39°57′ (Nicolai, 2014.: 263-264). Također, Nicolai je kartometrijsku analizu izvršio primjenom afine 6-parametarske transformacije, dok je u ovom istraživanju primijenjena konformna 4-parametarska transformacija.

U ovom istraživanju su na svakoj od odabranih portulanskih karata identificirane i ucrtane iste identične točke, za razliku od Nicolaijevog istraživanja gdje je broj identičnih točaka za isti morski bazen između karata različit (Nicolai, 2014.: 234-237). Također, R. Nicolai je, prethodno kartometrijskoj analizi točnosti pet odabranih portulanskih karata u odnosu na referentne projekcije, iz izračuna izdvojio dio točaka koje, po kriteriju normalne distribucije, predstavljaju ekstremne vrijednosti (Nicolai, 2014.: 240-243). Ekstremi pogrešaka identičnih točaka na kartama u ovom istraživanju nisu izdvojeni zbog razmjerno malog uzorka točaka (40) te u svrhu ispitivanja potencijalnih razlika u tim vrijednostima između pojedinih karata.

Izravna usporedivost s Nicolaijevim rezultatima nije moguća i zbog toga što je on Jadransko more tretirao kao sastavni dio veće prostorne cjeline, za razliku od S. A. Loomera, koji je, koristeći regionalnu podjelu Sredozemlja F. Braudela, Jadransko more izdvojio kao samostalni morski bazen (Braudel, 1972.: 125-133; Loomer, 1987.: 29, 160). Nicolai je na temelju izračuna granica kompozitnih karata od kojih su sačinjene portulanske karte s prikazom Sredozemnog i Crnog mora te dijela atlantskog pročelja Europe i Afrike, prikaz Jadranskog (i Jonskog) mora identificirao kao sastavni dio karte „središnjeg Sredozemlja“ (engl. *Central Mediterranean*) (Nicolai, 2014.: 213, 217, 223, 225, 229, 261-26). Prema njegovim podacima, točnost prikaza središnjeg Sredozemlja na 5 karata iz uzorka po kriteriju *RMSE dX* iznosi: 11,6, 9,0, 9,0, 11,2 i 9,5 km (prosječno 10,06 km), a po kriteriju *RMSE dY*: 12,6, 10,2, 8,4, 9,9 i 9,6 km (prosječno 10,14 km) (Nicolai, 2014.: 235). Nicolaijevi rezultati svakako su bliži rezultatima ovog istraživanja, s *AVG RMSE dY* od 12,1 km i *AVG RMSE dX* od 9,9 km (Tablica 7—1.), a manji iznosi pogrešaka koje je izračunao očekivani su zbog korištene afine 6-parametarske transformacije.

Uz doktorsku disertaciju S. A. Loomera, ovo je drugo istraživanje u kojem su kvantitativno izračunane „prosječne portulanske karte“, koje je Loomer nazvao „kompozitne karte“ (Loomer, 1987.: 126-131), no prvo u kojem su izračunane i devijacije kartiranja u odnosu na „prosječnu kartu“ prikazane uz pomoći elipsi standardnih devijacija. Naime, Loomer je u svojem radu odstupanja pojedinih karata od „kompozitne karte“ prikazao tabelarno kao standardne devijacije izražene u centimetrima na karti s obzirom na izračunano mjerilo „kompozitne karte“ od 1: 5.205.300 (Loomer, 1987.: 152). Elipse standardnih devijacija u svojoj doktorskoj disertaciji prethodno je koristio R. Nicolai, upotrijebivši ih u svrhu ispitivanja mogućosti izrade portulanske karte na temelju mjerenja kursa i udaljenosti prilikom plovidbe (Nicolai, 2014.: 368, 376, 378-379).

7.1.1 IZVORNI ZNANSTVENI DOPRINOSI ISTRAŽIVANJA

Prema saznanjima autora ovog rada, pojedini metodološki postupci primijenjeni u ovom istraživanju primijenjeni su prvi put u kontekstu kvantitativne obrade portulanskih karata, ne samo na primjeru prikaza Jadranskog mora na tim kartama, već i u svrhu proučavanja portulanskih karata općenito. Zbog toga mnoge rezultate ovog istraživanja nije moguće usporediti s prethodnim rezultatima. Rukopis je koncipiran tako da su svi primijenjeni metodološki postupci prikazani jasno i transparentno u svrhu njihove replikabilnosti i potencijalne daljnje primjene u budućnosti.

Temeljnu metodološku razliku, na temelju koje su dobiveni neki od ključnih rezultata, predstavlja regionalno-funkcionalna podjela bazena Jadranskog mora. U dosadašnjim kartometrijskim istraživanjima autora koji smatraju da su portulanske karte kompoziti, prikaz obale je u pravilu bio fragmentiran na pojedine morske bazene, no dodatna podjela morskih bazena nije bila izvršena.

Izuzev spomenutog istraživanja C. Boutoure (Boutoura, 2006.: 44), u kojem su uspoređene portulanske karte različitog mjerila, ovo je prvi rad kojem je toj problematici pristupljeno razmjerno detaljno te prvi rad u kojem je izračunana razlika u točnosti prikaza prostora na portulanskim kartama različitog mjerila izrađenih od istih autora. Također, ovo je, uz rad R. Nicolaija, prvi rad u kojem je kvantitativno pristupljeno lokalnim povećanjima mjerila na portulanskim kartama.

Mnogi prethodni autori, spomenuti u poglavlju 6.2, nastojali su utvrditi kvantitativnu poveznicu iznosa magnetske deklinacije iz vremena izrade portulanskih karata i zakrenutosti prikaza u smjeru obrnutom od kazaljke na satu na tim kartama. Međutim, u ovom istraživanju su po prvi put izračunane lokalne razlike između točnosti kartiranja azimuta u odnosu na magnetski i u odnosu na geografski sjever.

Prikaz vidljivosti reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale do sada je izvršio jedino J. A. Gaspar (Gaspar, 2019.: 12), no ograničena je na prikaz najmanje udaljenosti od obale uzduž kojeg s broda nije moguće uočiti nijednu reljefnu formu. U okviru ovog istraživanja po prvi put je detaljno analizirana vidljivost reljefa u ovisnosti o udaljenosti od obale, na temelju koje je (u skladu s točnošću modela) moguće jasno diferencirati obalne i otočne geomorfološke elemente ključne za terestričku navigaciju te utvrđena niska mogućnost da su portulanske karte inicijalno izrađene u srednjem vijeku viziranjem objekata s broda.

U ovom radu po prvi su put geometrijski ispitani podaci iz portulana Pietra de Versija (1445.) i portulana *Rizo* (1490.). Također, ovdje je po prvi put ustanovljena „projiciranost“ tekstualnih podataka iz portulana u skladu s geometrijom portulanskih karata na temelju manjih regionalnih devijacija izračunanog iznosa portulanske milje i regionalne distribucije pogrešaka udaljenosti iz portulana te je pretpostavljena valjanost mjerila portulanskih karata uzduž paralele φ_0=36° (N).

7.2 PREGLED PODATAKA O TOČNOSTI PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA

Točnost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, iskazivana u pravilu kao *MAE* (i dodatno kao *ME* za stvarnu točnost kartiranja udaljenosti), utemeljena je na iznosima reziduala (od 40 referentno-identičnih parova točaka) pri *min. RMSE Re* u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji kao referentnoj plohi. Vrijednosti dobivene iz tih izračuna, koje se odnose na virtualno georeferencirano okruženje, naknadno su transformirane u vrijednosti koje su u skladu s načinom uporabe portulanskih karata – pogreške udaljenosti pretvorene su u pogreške duljina na samim kartama, a azimuti su preračunani u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz godine izrade svake od karata. Budući da je prikaz podataka o točnosti karata fragmentiran po pojedinim poglavljima, ti su podaci u ovom poglavlju objedinjeni u preglednu cjelinu. Pogreške udaljenosti su, osim u kilometrima, prikazane i u portulanskim miljama (pod pretpostavkom 1 PM = 1,29 km), a pogreške azimuta su, uz iznos u stupnjevima, prikazane i u zrakama kompasa (ZK), 1 ZK = 11,25°, tj. ±5,625°.

7.2.1 TOČNOST PRIKAZA PRI *min. RMSE Re*

Kriteriji odabira kartometrijskog parametra za izražavanje „stvarnog“ iznosa pogreške karte kojoj se određuje točnost su različiti. S. A. Loomer je, primjerice, točnost portulanskih karata u odnosu na referentne projekcije izračunavao po kriteriju *RMSE Re* (Loomer, 1987.: 113). S druge strane, R. Nicolai je *RMSE Re* podijelio na pogreške uzduž svake od osi; *RMSE dX* i *RMSE dY*, a kao mjeru točnosti karte odredio veću od te dvije vrijednosti (Nicolai, 2014.: 209-210). Točnost kartiranja položaja je u ovom istraživanju uz *RMSE Re*, prikazana i kao njezine sastavnice *RMSE dX* i *RMSE dY.*

U glavnini rukopisa temelj izračuna točnosti prikaza predstavljaju reziduali identičnih točaka [km] u odnosu na ekvivalente referentne točke na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) pri *min. RMSE Re*. Zbog mogućnosti da je mjerilo karata valjano uzduž paralele φ=36°, ustanovljene u posljednjem poglavlju, svi parametri točnosti kartiranja naknadno su izračunani i u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=36° (M=1) (Tablica 7—1.). Nakon „fiksiranja“ portulanske karte u odnosu na referentnu kartu po kriteriju *min. RMSE Re*, pogreške kartiranja udaljenosti i azimuta linija u mreži izračunane su kao srednje apsolutne pogreške (*MAE*). Točnost kartiranja udaljenosti dodatno je izražena i putem stvarne pogreške udaljenosti (*ME*). Pogreške kartiranja položaja i udaljenosti portulanskih karata u odnosu na Mercatorovu projekciju imaju najmanji iznos kada je ona zadana s parametrom φ_0=42,7°, dok je pogreška azimuta, zbog konformnosti te projekcije, neovisna o parametru φ_0. Prosječni iznosi pogrešaka *AVG MAE* za ukupan uzorak karata izračunani su kao aritmetička sredina pojedinačnih *MAE* svake od karata. S obzirom na to da su sve vrijednosti iz tablice

uvjetovane rotacijom karata pri *min. RMSE Re*, izražavanje točnosti kartiranja azimuta putem zraka kompasa valjano je isključivo iz aspekta pretvorbe mjernih jedinica, no ne i iz aspekta točnosti prilikom uporabe, budući da rotacija karata nije u skladu sa smjerom magnetskog sjevera.

Tablica 7—1. Pregled točnosti kartiranja položaja, udaljenosti i azimuta na odabranim portulanskim kartama u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji (u ovisnosti o parametru φ_0) (Slika 4—3.).

REFERENTNA K. PROJEKCIJA	KRITERIJ TOČNOSTI	PK 1290.	PV 1318.	KA 1375.	AB 1436.	GB 1466.	AN 1482.	BA a 1538.	DH a 1570.	VDV a 1593.	BA b 1538.	DH b 1570.	VDV b 1593.	AVG [km]	AVG [PM]
		***RMSE* KARTIRANJA POLOŽAJA – ukupna i po sastavnicama [km]**													
Mercator φ_0=42,7°	*RMSE Re*	16,2	17,9	14,5	14,5	15,2	16,1	16,5	18,4	15,5	15,8	13,5	14,1	**15,7**	**12,2**
	RMSE dX	8,1	11,1	8,0	9,9	9,8	9,8	9,5	12,9	10,3	11,0	9,1	9,6	**9,9**	**7,7**
	RMSE dY	**14,0**	**14,1**	**12,1**	**10,5**	**11,6**	**12,8**	**13,5**	**13,1**	**11,6**	**11,3**	**10,0**	**10,3**	**12,2**	**9,4**
Mercator φ_0=36°	*RMSE Re*	17,8	19,7	16,0	15,9	16,7	17,7	18,1	20,2	17,1	17,4	14,9	15,5	**17,3**	**13,4**
	RMSE dX	8,9	12,2	8,8	10,9	10,8	10,8	10,5	14,2	11,4	12,1	10,0	10,6	**10,9**	**8,5**
	RMSE dY	**15,4**	**15,5**	**13,4**	**11,6**	**12,8**	**14,1**	**14,8**	**14,4**	**12,7**	**12,4**	**11,0**	**11,4**	**13,3**	**10,3**
		APSOLUTNA POGREŠKA KARTIRANJA UDALJENOSTI – ukupna i regionalna [km]													
Mercator φ_0=42,7°	*MAE dL*	**14,3**	**16,5**	**13,7**	**14,6**	**12,4**	**16,6**	**16,4**	**21,4**	**14,6**	**17,3**	**15,6**	**15,6**	**15,8**	**12,2**
	sjeverni	12,2	25,0	21,1	22,4	20,1	24,5	30,8	34,9	23,5	27,8	22,0	21,1	**23,8**	**18,4**
	srednji	15,5	12,6	13,1	12,2	9,7	13,8	13,4	15,2	12,9	13,7	14,0	15,3	**13,5**	**10,4**
	južni	15,9	15,0	9,2	11,8	9,9	14,3	8,7	18,6	10,0	13,7	13,3	12,3	**12,7**	**9,9**
Mercator φ_0=36°	*MAE dL*	**15,7**	**18,2**	**15,1**	**16,1**	**13,6**	**18,2**	**18,0**	**23,5**	**16,1**	**19,0**	**17,2**	**17,2**	**17,3**	**13,4**
	sjeverni	13,4	27,5	23,2	24,7	22,1	26,9	33,9	38,4	25,8	30,6	24,2	23,2	**26,2**	**20,3**
	srednji	17,0	13,9	14,4	13,5	10,6	15,2	14,7	16,7	14,2	15,1	15,4	16,9	**14,8**	**11,5**
	južni	17,5	16,5	10,1	13,0	10,9	15,7	9,5	20,4	11,0	15,1	14,6	13,5	**14,0**	**10,8**
		STVARNA POGREŠKA KARTIRANJA UDALJENOSTI – ukupna i regionalna [km]													
Mercator φ_0=42,7°	*ME dL*	**-1,5**	**6,7**	**6,7**	**8,7**	**6,5**	**10,7**	**8,9**	**14,5**	**8,0**	**11,4**	**8,5**	**8,2**	**+ 8,1**	**6,3**
	sjeverni	6,2	21,8	20,3	21,8	18,1	22,9	27,4	32,4	21,9	25,5	20,0	19,5	**+ 21,5**	**16,7**
	srednji	-7,6	-1,5	3,3	5,6	2,3	5,1	4,4	7,0	6,6	6,5	5,0	6,2	**+ 3,6**	**2,8**
	južni	-1,1	3,7	-0,6	1,7	1,6	7,5	-1,3	8,7	-2,0	5,9	3,5	1,2	**+ 2,4**	**1,9**
Mercator φ_0=36°	*ME dL*	**-1,7**	**7,3**	**7,4**	**9,6**	**7,1**	**11,7**	**9,8**	**15,9**	**8,7**	**12,6**	**9,4**	**9,0**	**+ 8,9**	**6,9**
	sjeverni	6,8	24,0	22,4	24,0	19,9	25,2	30,1	35,6	24,0	28,1	22,0	21,5	**+ 23,6**	**18,3**
	srednji	-8,4	-1,7	3,6	6,2	2,6	5,6	4,8	7,8	7,3	7,1	5,5	6,9	**+ 3,9**	**3,0**
	južni	-1,2	4,1	-0,6	1,8	1,8	8,2	-1,4	9,6	-2,3	6,5	3,8	1,4	**+ 2,6**	**2,1**
		APSOLUTNA POGREŠKA KARTIRANJA AZIMUTA – ukupna i funkcionalna [°]												**AVG [°]**	**AVG [ZK]**
Mercator	*MAE dα*	**10,6**	**8,8**	**8,6**	**7,9**	**8,8**	**9,6**	**9,0**	**9,2**	**8,6**	**8,3**	**7,2**	**7,5**	**8,7**	**0,8**
	obalne	10,8	10,6	10,6	8,8	11,9	13,2	11,0	10,9	11,6	10,3	8,4	9,1	**10,6**	**0,9**
	prekomorske	8,7	6,3	5,5	4,8	5,0	5,4	6,5	6,5	4,8	6,1	5,6	6,1	**5,9**	**0,5**
	otočne	15,1	10,6	11,5	12,5	10,7	11,3	10,3	11,8	10,4	9,3	8,5	7,9	**10,8**	**1,0**

Točnost kartiranja položaja za prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama, izražena kao *RMSE Re* je za oko 1,6 km (1,2 PM) veća u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Ako se točnost izrazi putem većeg iznosa pogreške položaja podijeljene po osima, kao što je to uradio R. Nicolai, točnost je u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° veća za 1,2 km (0,9 PM) – vrijednost se odnosi na pogrešku po kriteriju *MAE dY*.

Izražavanje točnosti kartiranja položaja putem pogreške većeg iznosa uzduž jedne od osi primjerenije je u svrhu iskazivanja točnosti u odnosu na referentu kartografsku projekciju. Parametri pogreške *dX* i *dY* predstavljaju projicirane vrijednosti (ukupne) pogreške *Re* na X-os i na Y-os u kartezijevom koordinatnom sustavu u ravninskoj geometriji. Budući da parametar *Re* predstavlja hipotenuzu pravokutnog trokuta kojem su parametri *dX* i *dY* katete, pogreške *dX* i *dY* su uvijek manjeg iznosa od pogreške *Re*. R. Nicolai je, stoga, u pravu kada tvrdi da to nije primjeren način za iskazivanje pogrešaka u odnosu na suvremene karte u referentnoj projekciji na kojima se dimenzije (koje korespondiraju s odgovarajućim iznosima φ i λ na kugli ili referentnom elipsoidu) iskazuju kao duljine uzduž X-osi i Y-osi (Nicolai, 2014.: 209-210).

Točnost kartiranja udaljenosti, izražena kao *MAE dL*, je u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° veća za 1,5 km (1,2 PM). Stvarna točnost kartiranja udaljenosti, *ME dL*, također je veća za na kartu zadanu s parametrom φ_0=42,7° – u odnosu na referentnu kartu u tako zadanoj projekciji povećanje prikaza udaljenosti je +0,8 km (+0,6 PM) manje. Stvarna pogreška primjereniji je kriterij za izračun točnosti kartiranja udaljenosti naspram apsolutne pogreške. Po kriteriju *MAE dL* pogreške su prikazane kao apsolutne vrijednosti zbog čega nije moguće odrediti jesu li identične linije ucrtane duljima ili kraćima od referentnih linija. Primjerice, „skraćivanje“ južnog dijela Jadranskog mora po (približno) longitudinalnoj osi (Slika 5—21.) nije moguće ustanoviti izračunom po kriteriju *MAE dL* (Slika 5—18.).

Za razliku od točnosti kartiranja udaljenosti, točnost kartiranja azimuta nije primjereno iskazivati kao *ME dα*, već isključivo kao *MAE dα*, budući da je negativni predznak pogreškama kuta pridodan arbitrarno, u svrhu razlikovanja smjera pogreške kuta u odnosu na referentnu liniju. Ukupni rezultat izračuna pogreške kuta kao *ME dα*, u kojem pogreške u smjeru obrnutom od kazaljke na satu imaju negativan predznak, bio bi manjeg iznosa i neprimjenjiv u plovidbenoj praksi. Naime, pogreška azimuta na karti uvjetovat će pogrešku kursa u plovidbi[58], neovisno o tome je li ona nastala u smjeru kazaljke na satu ili ne, zbog čega je pogreške azimuta potrebno prikazivati isključivo putem apsolutnih vrijednosti, tj. kao *MAE dα*.

[58] U radu je, općenito, pojam *azimut* (otklon u odnosu na smjer geografskog ili magnetskog sjevera na karti) upotrijebljen u slučajevima kada se u tekstu referira na segmente pravaca ucrtane na karti u konformnoj Mercatorovoj projekciji i kada se referira na otklon linija iz mreža identičnih linija ucrtanih na portulanskim kartama. U slučajevima kada se u radu razmatra (zamišljena) plovidba broda uzduž nekog ili nekih od tih pravaca te pri referiranju na tekstualne podatke preuzete iz portulana, otklon u odnosu na smjer sjevera imenovan je kao *kurs*.

7.2.2 TOČNOST PRIKAZA U KONTEKSTU UPOTRJEBLJIVOSTI KARATA

Točnost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama, iz aspekta njihove upotrjebljivosti kao plovidbenih pomagala također se temelji na izračunu točnosti karata pri *min. RMSE Re*. Nužan preduvjet za izračun upotrjebljivosti je pretvorba dimenzija koje vrijede za karte u virtualnom georeferenciranom okruženju u dimenzije relevantne za korištenje karata u plovidbenoj praksi (Tablica 7—2.).

Tablica 7—2. Pregled upotrjebljivosti odabranih portulanskih karata u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji (u ovisnosti o parametru φ_0) i iznos magnetske deklinacije (δ) iz vremena izrade svake karte prema modelu *CALS3K.4* (Slika 4—3.).

		PORTULANSKA KARTA													
REFERENTNA K. PROJEKCIJA	KRITERIJ TOČNOSTI	PK 1290.	PV 1318.	KA 1375.	AB 1436.	GB 1466.	AN 1482.	BA a 1538.	DH a 1570.	VDV a 1593.	AVG A [mm]	BA b 1538.	DH b 1570.	VDV b 1593.	AVG B [mm]
		APSOLUTNA POGREŠKA DULJINA NA KARTI – ukupna i regionalna [mm]													
Mercator φ_m=42,7°	ef. M [km/mm]	4,1	4,9	5,9	4,3	4,6	3,8	4,4	5,3	6,2		1,7	1,8	1,8	
	MAE dL M	**3,5**	**3,4**	**2,3**	**3,4**	**2,7**	**4,4**	**3,7**	**4,0**	**2,4**	**3,3**	**10,2**	**8,7**	**8,7**	**9,2**
	sjeverni	3,0	5,1	3,6	5,2	4,4	6,4	7,0	6,6	3,8	**5,0**	16,4	12,2	11,7	**13,4**
	srednji	3,8	2,6	2,2	2,8	2,1	3,6	3,0	2,9	2,1	**2,8**	8,1	7,8	8,5	**8,1**
	južni	3,9	3,1	1,6	2,8	2,1	3,8	2,0	3,5	1,6	**2,7**	8,1	7,4	6,8	**7,4**
Mercator φ_m=36°	ef. M [km/mm]	4,5	5,4	6,5	4,8	5,0	4,2	4,9	5,8	6,8		1,8	1,9	1,9	
	MAE dL M	**3,5**	**3,4**	**2,3**	**3,4**	**2,7**	**4,3**	**3,7**	**4,1**	**2,4**	**3,3**	**10,6**	**9,1**	**9,0**	**9,6**
	sjeverni	3,0	5,1	3,6	5,1	4,4	6,4	7,0	6,6	3,8	**5,0**	17,0	12,7	12,2	**14,0**
	srednji	3,8	2,6	2,2	2,8	2,1	3,6	3,0	2,9	2,1	**2,8**	8,4	8,1	8,9	**8,5**
	južni	3,9	3,1	1,5	2,7	2,2	3,7	2,0	3,5	1,6	**2,7**	8,4	7,7	7,1	**7,7**
		STVARNA POGREŠKA DULJINA NA KARTI – ukupna i regionalna [mm]													
Mercator φ_m=42,7°	ef. M [km/mm]	4,1	4,9	5,9	4,3	4,6	3,8	4,4	5,3	6,2		1,7	1,8	1,8	
	ME dL M	**-0,4**	**1,4**	**1,1**	**2,0**	**1,4**	**2,8**	**2,0**	**2,7**	**1,3**	**+ 1,6**	**6,7**	**4,7**	**4,6**	**+ 5,3**
	sjeverni	1,5	4,5	3,4	5,1	3,9	6,0	6,2	6,1	3,5	**+ 4,5**	15,0	11,1	10,8	**+ 12,3**
	srednji	-1,9	-0,3	0,6	1,3	0,5	1,3	1,0	1,3	1,1	**+ 0,5**	3,8	2,8	3,5	**+ 3,3**
	južni	-0,3	0,8	-0,1	0,4	0,4	2,0	-0,3	1,6	-0,3	**+ 0,5**	3,5	1,9	0,7	**+ 2,0**
Mercator φ_m=36°	ef. M [km/mm]	4,5	5,4	6,5	4,8	5,0	4,2	4,9	5,8	6,8		1,8	1,9	1,9	
	ME dL M	**-0,4**	**1,4**	**1,1**	**2,0**	**1,5**	**3,1**	**2,0**	**2,7**	**1,3**	**+ 1,6**	**7,0**	**4,9**	**4,7**	**+ 5,6**
	sjeverni	1,5	4,4	3,4	5,0	4,3	6,6	6,2	6,1	3,5	**+ 4,6**	15,6	11,6	11,3	**+ 12,8**
	srednji	-1,9	-0,3	0,6	1,3	0,6	1,5	1,0	1,3	1,1	**+ 0,6**	3,9	2,9	3,6	**+ 3,5**
	južni	-0,3	0,8	-0,1	0,4	0,4	2,2	-0,3	1,7	-0,3	**+ 0,5**	3,6	2,0	0,7	**+ 2,1**
		APSOLUTNA POGREŠKA KARTIRANJA AZIMUTA S OBZIROM NA SMJER MAGNETSKOG SJEVERA – ukupna i funkcionalna [°]												AVG [°]	AVG [ZK]
Mercator	δ [°]	+ 8,9	+ 8,6	+ 7,3	+ 6,1	+ 5,3	+ 5,1	+ 3,7	+ 2,1	+ 2,8		+ 3,7	+ 2,1	+ 2,8	
	MAE $d\alpha_{mag}$	**11,9**	**9,0**	**8,7**	**7,8**	**8,9**	**10,4**	**9,7**	**10,1**	**9,2**		**8,8**	**8,6**	**8,4**	**9,3**	**0,8**
	obalne	12,8	10,9	10,6	8,7	12,6	13,4	11,9	11,2	12,5		10,3	9,2	9,5	**11,1**	**1,0**
	prekomorske	8,1	6,7	5,5	4,7	5,0	7,6	7,7	9,0	6,1		7,0	8,2	7,6	**6,9**	**0,6**
	otočne	18,6	10,5	11,4	12,5	9,7	10,8	10,0	11,3	9,6		10,0	9,3	8,6	**11,0**	**1,0**

Pogreške kartiranja udaljenosti, *MAE dL* i *ME dL* su, u skladu s oznakama na linearnim mjerilima portulanskih karata i u odnosu na duljine na referentnim projekcijama, pretvorene u milimetre pogrešaka prikaza duljina na portulanskim kartama. Parametar *ef. M* [km/mm], uz pomoć kojeg je pretvorba izvršena, izračunan je iz ukupnog prostornog obuhvata prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama i odnosi se na njihovo prosječno mjerilo u odnosu na referentnu projekciju (Tablica 6—1., Tablica 6—2.). Portulanske karte pritom zadržavaju

iznos rotacije θ [°] uvjetovan georeferenciranjem, s obzirom na to da je pogreška kartiranja udaljenosti u odnosu na referentne projekcije (zbog skaliranja kao dijela postupka *LSE*) najmanja. Pri iskazivanju točnosti azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera karte nemaju iznos rotacije uvjetovan *min. RMSE Re*, već je iznos rotacije u skladu s iznosom magnetske deklinacije δ [°], dobivenim prema modelu *CALS3K.4.* Rumb N–S na portulanskim kartama je u tom slučaju poravnan sa smjerom magnetskog sjevera iz godine izrade svake od odabranih karata. Također, pri rotaciji karata u skladu sa smjernom magnetskog sjevera, točnost kartiranja azimuta je i s geometrijske i s funkcionalne strane opravdano prikazati u zrakama kompasa (ZK).

Točnost prikaza duljina na samim kartama približno je ista za obje referentne projekcije, neovisno o parametru φ_0, a razlog tomu je sljedeći. Prosječna stvarna razlika u točnosti kartiranja udaljenosti (AVG *ME dL*) od +0,8 km se na kartama iz skupine A (u približnom mjerilu od 1: 5.200.000) reflektira kao razlika od oko 0,16 mm, a na kartama iz skupine B (u približnom mjerilu od 1: 1.800.000) kao razlika od oko 0,44 mm, i to uglavnom na prikazu sjevernog Jadrana, gdje su pogreške kartiranja udaljenosti najveće. U skladu s tim vrijednostima, moguće je ustanoviti da je upotrjebljivost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama u svrhu očitanja udaljenosti približno jednaka, neovisno o tome je li linearno mjerilo karata valjano uzduž paralele φ=42,7° (N) ili uzduž paralele φ=36° (N).

Pogreške duljina na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama povećavaju se u smjeru od juga prema sjeveru. Na ukupnom uzorku karata *AVG ME dL* od +8,1 km (+6,3 PM) u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° iznosi +2,5 mm. Pritom *AVG ME dL M* za južni Jadran iznosi +0,9 mm, za srednji +1,2 mm, a za sjeverni +6,4 mm (Tablica 7—2.). Međutim, pogreške prikaza udaljenosti veće su na kartama iz skupine B nego na kartama iz skupine A. Primjerice, *AVG ME dL* za sjeverni Jadran iznosi +4,5 mm na kartama iz skupine A, i +12,3 mm na karama iz skupine B. Pogreške prikaza udaljenosti na kartama iz skupine B su, općenito, oko 2,7 puta (gotovo 3 puta) većeg iznosa, što znači da sukladno ukrupnjivanju mjerila nije izvršeno i povećanje točnosti prikaza u apsolutnim iznosima. U relativnim iznosima točnost prikaza udaljenosti približno je jednaka, neovisno o dimenzijama karata.

Linearna mjerila na kartama izrađena su u maksimalnoj rezoluciji od 10 PM, izuzev *Pisanske karte*, čija maksimalna rezolucija mjerila iznosi 5 PM – vrijednosti se odnose na male intervale mjerila (s). Na kartama iz skupine A, najmanja jedinica udaljenosti koju je moguće očitati izravno s karata (10 PM, tj. 12,9 km) prikazana je u prosječnoj duljini od 2,4 mm (5 PM prikazano je s oko 1,2 mm na karti), a na kartama iz skupine B u duljini od 7 mm (5 PM prikazano je s oko 3,5 mm) (Tablica 6—4., Tablica 6—5.). Stvarna pogreška duljina na karti s prosječnim iznosom od +2,5 mm (+1,6 mm za karte A i +5,3 mm za karte B) izražena u rezoluciji linearnih mjerila karata stoga predstavlja od 1,3 do 1,5 puta veću točnost od rezolucije jednog malog intervala.

Točnost azimuta s obzirom na smjer magnetskog sjevera, *MAE* $d\alpha_{mag}$, manja je i ponešto manje ujednačena na regionalnoj razini od iznosa *MAE dα,* uvjetovanog rotacijom karata pri *min. RMSE Re*. Najmanja je za *Pisansku kartu* (1290. g.), a najveća za kartu iz atlasa Andree Bianca (1436. g.). Na kasnijim kartama točnost azimuta s obzirom na smjer magnetskog sjevera je manja, s obzirom na to da je, uz simultani trend pada iznosa magnetske deklinacije, rotacija prikaza na kartama ostala u pravilu nepromijenjena (Slika 6—11.). Prosječni iznos *MAE* $d\alpha_{mag}$ za prekomorske linije od 6,9° (0,04°/km) predstavlja 1,6 puta veću točnost od rezolucije ruže vjetrova s 32 smjera kakve se nalaze na samim kartama.

Podaci o točnosti portulanskih karata prikazani u rukopisu izračunani su na temelju točaka i linija koje čine elemente referentnih i identičnih mreža, tj. *točaka i linija prvog reda točnosti* i predstavljaju njihovu maksimalnu točnost koja je strogo uvjetovana brojem točaka mreže i njihovoj prostornoj raspodjeli. Objektivna mogućnost da je točnost dijelova karte koji nisu obuhvaćeni mrežom točaka i linija manja ili veća od točnosti elemenata mreže svakako postoji, kao i mogućnost da bi promjene u konfiguraciji mreže rezultirale vrijednostima donekle različitim od prikazanih. Međutim, neovisno o tome koliko je konfiguracija mreže dodatno optimizirana, točnost karata kao navigacijskih pomagala u srednjovjekovnoj plovidbenoj praksi uvijek je manja od vrijednosti dobivenih u kartometrijskoj analizi zbog lokalnih povećanja mjerila.

Indeksi lokalnih povećanja modula mjerila za odabrane lučke bazene i otoke izračunani su u poglavlju 6.1.3. (Tablica 6—3., Slika 6—7.), a u poglavlju 6.4.4 je na primjeru određivanja kursa iz Venecije i iz Rta Leuca prema otoku Othonoi na karti VDVb 1593. prikazan način na koji lokalna povećanja mjerila utječu na očitanje kursa (Slika 6—34.). Lokalno povećanje mjerila za prikaz odredišta plovidbene rute će, ako je polazišna točka egzaktno utvrđena, potencijalno prouzrokovati pogrešku kursa. Ako se uz odredišnu i polazišna točka nalazi na području lokalnog povećanja mjerila na karti i nije joj moguće egzaktno utvrditi lokaciju, potencijalna pogreška kursa još je veća. Također, potencijalne pogreške kursa uslijed lokalnih povećanja mjerila većih su iznosa što je plovidbena ruta kraća. Lokalna povećanja mjerila mogu potencirati i pogrešku udaljenosti, poglavito pri obalnoj plovidbi, kada se, primjerice, lučkom bazenu prilazi bočno (uzduž obale), dok su pogreške udaljenosti pri razmjerno okomitom prilasku lokaciji u tom slučaju manje. Točnost karata uzimajući pritom pogreške uzrokovane lokalnim povećanjima mjerila nije izvršena. Takav postupak trebao bi se temeljiti na uzorku plovidbenih ruta koncipiranom tako da je svaki objekt koji je na karti predimenzioniran povezan sa svim ostalim predimenzioniranim objektima iz uzorka na način sličan primjeru iz poglavlja 6.4.4 (Slika 6—34.), uz razliku što bi povezivanje objekata trebalo biti po smjeru obostrano. Primjerice, uz raspon ekstrema kursova za rutu Venecija – Othonoi potrebno je ucrtati i raspon ekstrema kursova za rutu Othonoi – Venecija te tako redom za svaki od parova točaka.

7.3 IMPLIKACIJE NISKE VJEROJATNOSTI INICIJALNOG NASTANKA PORTULANSKIH KARATA U SREDNJEM VIJEKU

Apsolutna točnost kartiranja kursa i stvarna točnost kartiranja udaljenosti na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama veće su od rezolucije ruža vjetrova i malih intervala na linearnim mjerilima. Drugim riječima, točnost portulanskih karata veća je od instrumenata za očitanje kursa i udaljenosti ucrtanih na samim kartama. Visoka točnost kartiranja azimuta između točaka koje se nalaze na nasuprotnim obalama Jadranskog mora se stoga neosporno manifestira kao visoka upotrjebljivost pri plovidbi prekomorskim rutama, zbog čega je logično zaključiti da međuodnos točnosti podataka iz plovidbenih pomagala i same plovidbe ima odlike povratne sprege. Drugim riječima, točnost podataka na pomorskim kartama i priručnicima za navigaciju trebala bi biti izravan produkt točnosti prethodno izvršenih mjerenja kursa i udaljenosti tijekom plovidbe, što je ujedno i prevladavajuća hipoteza o načinu njihove izrade.

Premda je temeljni cilj istraživanja kao cjeline određivanje točnosti i upotrjebljivosti portulanskih karata i portulana, pojedini segmenti istraživanja više ili manje izravno upućuju na nelogičnosti hipoteze o njihovom inicijalnom nastanku na temelju objedinjavanja brojnih lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti tijekom srednjeg vijeka. Argumenti koji osporavaju tu hipotezu prikazani su u prethodnim poglavljima rukopisa, no u partikularnoj formi i ograničene tematskim obuhvatom i metodologijom pripadajućih poglavlja. U svrhu doprinosa ukupnoj spoznaji i razumijevanju nastanka portulanskih karata i portulana, rezultate je potrebno objediniti tako da se svaku od ustanovljenih implikacija niske vjerojatnosti inicijalnog nastanka u srednjem vijeku prikaže jasnije i potkrijepi rezultatima iz svakog od tematski povezanih poglavlja.

Prva implikacija niske vjerojatnosti da su portulanske karte i portulani izravan produkt lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti je ustanovljena nepromjenjivost točnosti prikaza na kartama i podataka u portulanima tijekom razdoblja duljeg od tri stoljeća. Unatoč tome što je točnost portulanskih karata iznimno visoka, određene pogreške u odnosu na karte u referentnim projekcijama su i dalje prisutne. Primjerice, točnost *MAE dL* od 16,5 km i *MAE* $d\alpha_{mag}$ od 9,0° (0,10°/km) postignuta je već početkom 14. st. na karti Pietra Vescontea, a slični iznosi točnosti svojstveni su i kasnijim kartama trostruko krupnijeg mjerila. Također, točnost prekomorskih ruta u portulanu *Compasso de Navegare* iz sredine 13. st. je (ovisno o kriteriju točnosti) približno jednaka točnosti prekomorskih ruta u kasnijim portulanima. Ako je izrada portulanskih karata i portulana počivala na kontinuiranim mjerenjima udaljenosti i kursa, tri stoljeća bi trebala predstavljati dovoljno dugo razdoblje za optimizaciju metode izrade karata u svrhu povećanja njihove točnosti, a naročito uslijed trostrukog ukrupnjivanja mjerila.

Fokus druge implikacije na nelogičnosti uvriježene hipoteze o izradi karata usmjeren je na paradoksalan međuodnos vidljivosti obalnog i otočnog reljefa s mora i točnosti kartiranja

azimuta na portulanskim kartama i podataka u portulanima. Pučinski otoci srednjeg Jadrana su, neovisno o njihovoj veličini, jasno istaknuti i imenovani na svim kartama i navedeni u portulanima te su po svoj prilici imali visoku plovidbenu važnost. Međutim, ti otoci su, premda ih je prilikom plovidbe moguće izravno vizirati uz pomoć kompasa, kartirani s većim pogreškama azimuta od prekomorskih ruta uzduž kojih s polazišne točke odredišnu točku nije moguće izravno vizirati. Visoka plovidbena važnost pučinskih otoka srednjeg Jadrana, koji su međusobno razmjerno blizu i koje je moguće vizirati uz pomoć kompasa trebala bi biti dovoljan motiv da ih se na kartama i u portulanima prikaže s točnošću azimuta svojstvenoj lokacijama na nasuprotnim obalama kopna.

Kursovi iz portulana *Liber de Existencia* s početka 13. st., kojem je po svoj prilici bila priložena pomorska karta, orijentirani su prema geografskom sjeveru, a prema geografskom sjeveru orijentiran je i prikaz Jadranskog mora na *Pisanskoj karti*, najstarijoj poznatoj portulanskoj karti. Treća implikacija stoga apelira na preispitivanje hipoteze da je pojava kompasa na Sredozemlju bila nužan preduvjet inicijalnog nastanka portulanskih karata.

Četvrta implikacija niske vjerojatnosti izrade portulanskih karata u srednjem vijeku je njihova geometrija s izrazitim odlikama konformne cilindrične kartografske projekcije, metode koju je u 16. st. osmislio Gerard Mercator, dok geometrijski slični kartografski prikazi koji kronološki neposredno prethode portulanskim kartama nisu pronađeni. S druge strane, točnost ptolemejskih karata izrađivanih u Europi tijekom renesanse, utemeljenih na matematičkoj osnovi i čija se antička izvornost ne preispituje, manja je od točnosti portulanskih karata već na razini opažanja. Ako je metoda izrade karata visoke točnosti bila općepoznata u srednjem vijeku, tj. prethodila otkriću ptolemejskih karata, razlog zbog kojeg se kartama s prikazom unutrašnjosti kopna ne bi nastojala povećati točnost primjenom iste metode uz eventualne modifikacije ne bi trebao postojati.

Hipoteza utemeljena na spomenutim implikacijama je sljedeća. *Izmjera prostora na temelju koje su karte izrađene najvjerojatnije je izvršena prije izrade sačuvanih karata. Autori najstarijih sačuvanih portulanskih karata vjerojatno su kao predložak imali „gotov kartografski proizvod“ koji je bio prethodno izrađen i čije su geometrijske prednosti prepoznali, no čiju metodu izrade nisu poznavali i nisu bili u mogućnosti replicirati niti optimizirati. Zbog toga su bili ograničeni na kopiranje postojećih karata, pri čemu su nastale modifikacije koje su estetske i sadržajne, no ne i geometrijske prirode*. Opsežnija argumentacija niske vjerojatnosti inicijalnog nastanka portulanskih karata u srednjem vijeku na temelju lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti prikazana je u nastavku poglavlja.

7.3.1 SUKCESIVNO KOPIRANJE KARATA

Jedna od temeljnih hipoteza proizašlih iz istraživanja jest da su sačuvane portulanske karte kopije neke ili nekih od prethodnih portulanskih karata. Hipoteza o sukcesivnom kopiranju temelji se na nekoliko argumenata. Jedan od argumenata je opće nepostojanje povećanje točnosti prikaza Jadranskog mora na odabranim portulanskim kartama tijekom tri stoljeća. Drugi argument je postojanje razmjerno visoke pogreške udaljenosti na prikazu sjevernog dijela Jadranskog mora, prostora koji je bio teritorijalno izravno vezan uz nekadašnju Mletačku Republiku, budući da je najveći dio odabranih karata izrađen upravo u Veneciji. Treći argument u prilog hipotezi je približno jednaka točnost prikaza neovisno o mjerilima pojedinih karata, što vodi k zaključku da su karte krupnijeg mjerila iz geometrijskog aspekta zapravo uvećane kopije karata sitnijeg mjerila.

TOČNOST PRIKAZA S OBZIROM NA VRIJEME IZRADE

Geometrija prikaza kopnenog dijela obalne crte Jadranskog mora, koja se prvenstveno reflektira u „proširivanju prikaza“ s povećanjem geografske širine, izračunana je za gotovo sve odabrane portulanske karte. Iznimku u geometriji predstavlja prikaz Jadranskog mora na *Pisanskoj karti* (PK 1290.), na kojem „proširenje prikaza“ također postoji, no u manjem intenzitetu. Karta Jadranskog mora Pietra Vescontea (PV 1318.) je najstariji odabrani kartografski prikaz za koji je izračunano izrazitije povećanje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti za prostor sjevernog Jadrana, što je obilježje svih kasnijih prikaza. Za *Pisansku kartu* izračunane su najveće devijacije od geometrije „prosječne portulanske karte“ po svim kriterijima, dok su za karte iz skupine A2 (BAa 1538., DHa 1570. i VDVa 1593.) izračunana povećanja odstupanja prema sva tri kriterija (Slika 5—15., Slika 5—16. i Slika 5—17.). Na kartama iz skupine B, izrađenih od istih autora i uvezanih u iste zbirke karata kao i karte A2 (BAb 1538., DHb 1570. i VDVb 1593.), geometrija prikaza obalne crte je međusobno gotovo identična (Slika 10—13.).

Nepromjenjivost geometrije portulanskih karata izravno utječe na njihovu točnost i upotrjebljivost – geometrija prikaza obalne crte uvjetuje točnost očitanja kursa i udaljenosti na karti, a točnost očitanja kursa i udaljenosti uvjetuje upotrjebljivost karte u navigaciji. Točnost kartiranja udaljenosti *MAE dL* u iznosu 15,8 km (Slika 5—16.), tj. 12,2 PM i točnost kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera, *MAE* $d\alpha_{mag}$ u iznosu 9,3° (0,09°/km) (Slika 6—13.), tj. 0,8 zrake kompasa, kroz čitavo razdoblje izrade tih karata imaju gotovo nepromjenjiv iznos. Kada se ti podaci sagledaju u kontekstu njihove upotrjebljivosti u navigaciji, proizlazi da su karte izrađene početkom 14. st. jednako korisno navigacijsko pomagalo kao i karte s kraja 16. st., izrađene gotovo tri stoljeća kasnije.

Ovo istraživanje nije jedino u kojem je putem izračuna utvrđena stagnacija razine točnosti na portulanskim kartama. Međusobna sličnost karata uočena je na samom početku znanstveno–istraživačkog pristupa tim kartama. Primjerice, A. E. Nordenskiöld je, kako je spomenuto, smatrao da su sve portulanske karte kopije katalonske „normalne portulanske karte" (Nordenskiöld, 1897.: 3, 10), no njegovo mišljenje utemeljeno je na pretežito kvalitativnom pristupu toj problematici.

Nepostojanje povećanja točnosti prikaza je, prethodno ovom istraživanju, ustanovljeno i u srodnim kartometrijskim istraživanjima. S. A. Loomer je na temelju kronološke analize točnosti karata također ustanovio da je točnost prikaza vrlo slična, pri čemu je karte, s obzirom na vrijeme izrade, podijelio na „rane karte" (izrađene 1330.–1430.), „karte srednje starosti" (izrađene 1431.–1475.) i na „kasne karte" (izrađene 1476.–1510.) (Loomer, 1987.: 153-154), a nepostojanje kronološkog povećanja točnosti ustanovio je i P. Mesenburg (Mesenburg, 1988., prema Nicolai, 2014.: 192). Autori stagnaciju u točnosti kartiranja pripisuju kopiranju sadržaja karte sa starije karte (ili s više njih), a hipotezu o kopiranju prikaza sa starijih predložaka na temelju rezultata vlastite kartometrijske analize, zagovara i R. Nicolai (Nicolai, 2014.: 256, 270). Hipotezu o sukcesivnom kopiranju karata podupire i ovo istraživanje, pri čemu (općenito) nepostojanje poboljšanja u točnosti kartiranja predstavlja jedan od podupirućih argumenata.

TOČNOST PRIKAZA S OBZIROM NA MJESTO IZRADE

S. A. Loomer je u svojem istraživanju ustanovio i da su razlike u točnosti kartiranja između karata izrađenih na području južne Europe neznatne, no da je točnost karata izrađenih na području arapskog kulturnog kruga manja. Loomerov zaključak je da su arapske karte kopije europskih karata, no kazuje da je uzorak arapskih karata koji je koristio sačinjen od samo dvije karte zbog čega rezultati, moguće, nisu dovoljno reprezentativni (Loomer, 1987.: 157-159).

Uzorak karata korišten u svrhu ovog istraživanja sačinjen je isključivo od karata izrađenih na području Europe – 11 od ukupno 12 odabranih karata izrađeno je na području današnje Italije, a najveći broj odabranih karata izrađen je u Veneciji.

Pisanska karta je vrlo vjerojatno izrađena na području Genove (Crone, 1953.: 30), dok je Pietro Vesconte, inače genoveški kartograf, zbirku portulanskih karata iz 1318. g. izradio u Veneciji (Campbell, 1987.: 456). *Katalonski atlas* iz 1375. g., čije se autorstvo pripisuje židovskom kartografu Abrahamu Cresquesu (Taylor, 1957.: 116), izrađen je na Balearima i bio je poklon aragonskog kralja francuskom kralju (Freiesleben, 1979.: 85). Atlas Andree Bianca iz 1436. g. je, s obzirom na to da je Bianco bio časnik na mletačkoj galiji (Campbell, 1987.: 440), moguće izrađen u Veneciji, premda točna lokacija izrade atlasa nije poznata (Campbell, 1987.: 451). Gratiosus Benincasa, kartograf porijeklom iz Ancone, je atlas iz 1466. g. izradio u

Veneciji (Campbell, 1987.: 449), dok porijeklo karte AN 1482., iz atlasa nepoznatog autora i po kartografici sličnog atlasu G. Benincase nije egzaktno utvrđeno. Prema podacima *Bibliothèque nationale de France,* u kojoj je atlas pohranjen, moguće je da je taj atlas kopija atlasa G. Benincase izrađenog u Veneciji 1473. g., pohranjenog u *Biblioteca Universitaria Bologna* (sign. MS. 280). Atlas Battiste Agnesea, je prema podacima *Rare Book & Manuscript Library University of Pennsylvania* u kojoj je dokument pohranjen, izrađen najkasnije 1538. g. u Veneciji. U Veneciji je svoje atlase iz sredine druge polovice 16. st. izrađivao i Diogo Homem, izvorno portugalski kartograf (Texeira de Mota, 1958., prema Nicolai, 2014.: 49; Astengo, 2007.: 175), dok je Dubrovčanin Vicko Dimitrije Volčić (potpisan kao Vincus Demetrius Voltius Ragusens) svoj atlas iz 1593. g. izradio u Napulju (Astengo, 2007.: 224, 239).

Lokacija izrade odabranih portulanskih karata nije bila kriterij njihovog odabira, za razliku od godine njihove izrade i postojanja prikaza Jadranskog mora u različitim mjerilima, pod uvjetom da su izrađene od istog autora i uvezene u istu zbirku karata. Međutim, prikaz sjevernog dijela Jadranskog mora na portulanskim kartama, poglavito na kartama iz skupine B, implicira na nemogućnost da portulanske karte izrađene u Veneciji predstavljaju izravan produkt baze prostornih podataka izmjerenih tijekom plovidbe.

Sjeverni dio Jadranskog mora, prostor usko vezan uz Veneciju kao najznačajniji pomorsko orijentirani politički entitet tog razdoblja na Jadranskom moru (Braudel, 1972.: 125-133; Lane, 1973.: 118-135), kartiran je s približno jednakom stvarnom pogreškom udaljenosti na svim kartama (Slika 5—22.). S obzirom na to da je najveći dio karata izrađen upravo u Veneciji, logična pretpostavka je da bi stvarna pogreška kartiranja udaljenosti za prikaz sjevernog Jadrana od prosječnih +21,5 km, bila otkrivena i otklonjena da su se tijekom razdoblja od tri stoljeća odvijala kontinuirana mjerenja kursa i prijeđene udaljenosti u svrhu izrade portulanskih karata. Budući da poboljšanje u kartiranju duljina na prikazu prostora, koji je predstavljao temeljnu političko–geografsku domenu grada u kojem je većina odabranih karata izrađena, nije ustanovljeno, hipoteza o sukcesivnom kopiranju karata predstavlja jedino logično objašnjenje.

TOČNOST PRIKAZA S OBZIROM NA MJERILO KARATA

Izračun mjerila portulanskih karata u ovisnosti je o izboru, broju i raspodijeli referentno-identičnih parova točaka, primijenjenoj metodi transformacije karte kojoj se određuje mjerilo i parametrima referentne kartografske projekcije. Izračunana mjerila portulanskih karata krupnija su u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (Tablica 6—1.), nego u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=36° (Tablica 6—2.).

Prilikom uporabe portulanskih karata kao navigacijskih pomagala, tj. skaliranjem razlika u točnosti u ovisnosti o parametru φ_0 referentne Mercatorove projekcije na fizičke dimenzije karata, prosječne razlike iznose manje od polovice milimetra na kartama iz skupine B i manje

od dvije desetine milimetra na kartama iz skupine A. Pojednostavljeno govoreći, njihova točnost preslikana na fizičke dimenzije prikaza gotovo je jednaka neovisno o tome je li ona izračunana u donosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° ili φ_0=36°. Međutim, točnost prikaza udaljenosti se između karata iz skupine A i karata iz skupine B razlikuje tako da su pogreške na samim kartama izražene u milimetrima (u skladu s dimenzijama prikaza Jadranskog mora na tim kartama) dvostruko do trostruko (ovisno o tome je li riječ o kriteriju *MAE dL M* ili *ME dL M*) veće na kartama trostruko krupnijeg mjerila, neovisno o parametru φ_0 referentne Mercatorove projekcije (Tablica 7—2).

Točnost portulanskih karata iz skupine B je, izraženo u kilometrima na karti u referentnoj projekciji (M=1), gotovo jednaka točnosti karata iz skupine A1. Primjerice, stvarna točnost prikaza udaljenosti *ME dL* [km] na karti DHb 1570. (+8,5 km) približno je jednaka stvarnoj točnosti prikaza udaljenosti na karti AB 1436. (+8,7 km) koja je izrađena više od dva stoljeća ranije i u oko tri puta sitnijem mjerilu (Tablica 7—1.). Prikaz Jadranskog mora na karti DHa 1570., koji je prema fizičkim dimenzijama bliži prikazu na karti AB 1436. (Slika 6—2.), po kriteriju *ME dL* ima točnost od +14,6 km.

Ti iznosi pogrešaka (izračunani u odnosu na kartu u referentnoj projekciji pri M=1), nakon njihova skaliranja na fizičke dimenzije karata, manifestiraju se kao prosječna povećanja duljine od +2,0 mm na karti AB 1436. (*ef. M* = 4,3 km/mm), +2,7 mm na karti DHa 1570. (*ef. M* = 5,3 km/mm) i +4,7 mm na karti DHb 1570. (*ef. M* = 1,8 km/mm) (Tablica 7—2). Drugim riječima, karta DHa 1570. je, u odnosu na kartu AB 1436., izrađena u oko 1,2 puta sitnijem mjerilu, i sa stvarnom točnošću prikaza udaljenosti manjom oko 1,3 puta. Karta DHb 1570., čiji je autor također Diogo Homem i uvezana je u istu zbirku karata, izrađena je u oko 2,4 puta krupnijem mjerilu u odnosu na kartu AB 1436., a njezina stvarna točnost prikaza duljina skalirana na fizičke dimenzije karte u odnosu na kartu AB 1436. je oko 2,4 puta manja.

Ako su portulanske karte izravan produkt kontinuiranih mjerenja kursa i udaljenosti u plovidbi, točnost prikaza na karti izrađenoj 200 godina kasnije i približno istih dimenzija trebala bi biti minimalno jednaka, a na karti izrađenoj 200 godina kasnije i u oko tri puta krupnijem mjerilu bi svakako trebala biti veća. S obzirom na to da poboljšanje točnosti nije nastupilo ni uslijed utrostručenja mjerila karata i s obzirom na to da su točnosti prikaza udaljenosti (pri skaliranju na fizičke dimenzije karata) otprilike obrnuto proporcionalne razlikama njihovih mjerila rezultate je moguće interpretirati jedino tako da je riječ o kopijama starijih karata pri čemu je ukrupnjivanje mjerila izvedeno uvećavanjem prikaza s karata sitnijeg mjerila.

7.3.2 PARADOKS (NE)VIDLJIVOSTI RELJEFA S MORA

Zbog shematiziranog prikaza obalne crte kao segmenata poluelipsi i predimenzioniranosti pojedinih dijelova obale, što je moguće ustanoviti već na razini opažanja, točnost prikaza međusobno bliskih dijelova obale na portulanskim kartama manja je od točnosti prikaza objekata koji su međusobno udaljeniji. O tom fenomenu svojstvenom portulanskim kartama opširnije je pisao R. Nicolai, ukazavši između ostalog na njegovu proturječnost „Prvom zakonu geografije" W. Toblera (Nicolai, 2014.: 173).

Povećanje točnosti prikaza s povećanjem međusobne udaljenosti objekata kontradiktorna je hipotezi o izradi karata na temelju mjerenja izvršenih tijekom plovidbe iz dva razloga. Prvi razlog je taj da je objektima koji su međusobno bliži jednostavnije izmjeriti azimut i međusobnu udaljenost, za razliku od objekata koji su međusobno udaljeniji, poglavito zbog toga što je objekte bliže promatraču moguće izravno vizirati uz pomoć kompasa. Drugi razlog je taj što bi u postupku izrade karte na bazi razmjerno visokih lokalnih pogrešaka mjerenja neminovno nastala akumulacija pogrešaka čiji bi krajnji produkt bilo povećanje, a ne redukcija ukupne pogreške karte. Naime, prema hipotezi o izradi karata na temelju mjerenja izvršenih prilikom plovidbe, portulanske karte predstavljaju sintezu iznimno velikog broja lokalnih mjerenja koja su potom grafički objedinjena u cjelinu.

Prema D. Woodwardu, prilikom izrade portulanskih karata na bazi mjerenja izvršenih tijekom plovidbe odlučujuću ulogu imale su prekomorske rute koje su potom kartografima služile da izvrše korekcije u akumulaciji pogrešaka nastalih pri dužobalnim lokalnim mjerenjima (Campbell[59], 1987.: 388). Woodward, međutim, nije predložio egzaktnu metodu po kojoj je takvo „ispravljanje" prikaza morskih bazena izvedeno, niti metodu postizanja visoke točnosti mjerenja uzduž takvih ruta. Prema rezultatima R. Nicolaija, kako je prethodno spomenuto, na bazi lokalnih mjerenja izvršenih tijekom plovidbe i uz korištenje kasnosrednjovjekovne tehnologije nije moguće izraditi karte s razinom točnosti svojstvenom portulanskim kartama (Nicolai, 2014.: 385-387).

Međuodnos prostorne raspodjele točnosti kartiranja azimuta na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama, kronologije točnosti prikaza te mogućnosti viziranja objekata s broda uz pomoć kompasa je sljedeći. Prikaz obalne crte kopna općenito je, izuzev *Pisanske karte,* izrazito standardiziran među pojedinim kartama iz uzorka, a točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija od 8,7° pri *min. RMSE Re* i od 9,3° (0,04°/km) u odnosu na smjer magnetskog sjevera postoji već na najstarijim sačuvanim kartama i ostala je otprilike nepromijenjena kroz razdoblje od tri stoljeća, neovisno čak ni o kasnijem utrostručenju njihova mjerila. Međutim, iz polazišnih točaka prekomorskih linija (kao plovidbenih ruta) ne

[59] T. Campbell napominje da je D. Woodward autor dijela teksta u odlomku o metodi kompilacije karata (str. 387-388).

samo da nije moguće izravno vizirati njihove odredišne točke, već ni susjedne im reljefne oblike. Nemogućnost viziranja odredišnih točaka uvjetovana je duljinom tih linija, zakrivljenosti Zemljine površine i visinom promatrača od 20 m n.v. kao parametra u analizi iz poglavlja 6.3. Pritom valja uzeti u obzir da je nadmorska visina od 20 m razmjerno optimistični parametar, budući da se brodski kompas nalazio na palubi čija je nadmorska visina niža. Analogno tomu, manja je i mogućnost viziranja objekata iste nadmorske visine na horizontu. S druge strane, prikaz pučinskih otoka srednjeg Jadrana znatno se razlikuje među pojedinim kartama (Slika 6—6.), a točnost azimuta obalnih (0,18°/km) i otočnih linija (0,15°/km) koje su 2,5, tj. 2 puta kraće, je kroz isto razdoblje kontinuirano niža. Taj dio Jadranskog mora sadrži i najveći broj objekata kojima je, pri prekomorskoj plovidbi, uz pomoć kompasa moguće izravno očitati azimute, no evidentno je da napredak u kartiranju azimuta između pučinskih otoka srednjeg Jadrana nije ostvaren.

ARGUMENTACIJA HIPOTEZE O IZRAVNOM TRANSFERU PODATAKA S PORTULANSKIH KARATA NA PORTULANE

Temeljni zaključak kvantitativne analize duljina i kursova ruta iz portulana jest da izvor tih podataka nisu mjerenja izvršena izravno tijekom plovidbe, već izravni transfer s portulanskih karata. Vrijednosti azimuta očitane na kartama su pritom bile izravno pretvarane u tekstualni oblik, dok su duljine na kartama bile uz pomoć linearnih mjerila skalirane u ekvivalentne vrijednosti zapisane u portulanskim miljama.

Sinteza argumenta u prilog toj hipotezi je sljedeća. Obalne rute manje duljine iz portulana imaju visoku varijabilnost iznosa portulanske milje (Slika 6—29.), te visoku pogrešku kursa (Slika 6—31.) u odnosu na kartu u referentnoj projekciji. Također, točnost kursova ruta tipa kopno–otok i otok–otok u portulanima manja je od kursova ruta tipa kopno–kopno u odnosu na referentne projekcije i u odnosu na portulanske karte (Tablica 6—10., Tablica 6—11.). Prosječna apsolutna pogreška udaljenosti prekomorskih ruta u portulanima manja je u odnosu na portulanske karte nego u odnosu na referentne projekcije, a tekstualni podaci o udaljenostima iz portulana su, s iznimkom portulana *Liber de Existencia*, „projicirani“ u skladu s geometrijom portulanskih karata (Tablica 6—7., Tablica 6—8., Tablica 6—9.).

Da su podaci iz portulana generirani na temelju mjerenja kursa provedenih prilikom plovidbe, najkraće obalne rute uzduž kojih je uz pomoć kompasa moguće izravno vizirati odredišnu točku imale bi nižu pogrešku kursa od duljih linija. Također, točnost kursa za rute tipa kopno–otok i otok–otok, koje su oko 2,2 puta kraće od ruta tipa kopno–kopno, trebala bi biti veća, umjesto dvostruko manja. Argumentacija hipoteze o transferu podataka s portulanskih karata na portulane, tj. nemogućnosti njihova generiranja na temelju mjerenja prilikom plovidbe, detaljno je prikazana u poglavlju 6.4.4.

7.3.3 ADAPTACIJA PRIKAZA NA MAGNETSKI SJEVER

Prikaz Jadranskog mora na *Pisanskoj karti*, po longitudinalnoj osi blizak prikazu u odnosu na smjer geografskog sjevera, jedan je od najranijih argumenata u prilog hipotezi da su portulanske karte nastale prije pojave i šire uporabe kompasa na Sredozemlju. H. Wagner, koji je još krajem 19. st. zastupao ideju da su portulanske karte kompoziti sačinjeni od karata pojedinih morskih bazena, kao jedan od argumenata u prilog hipotezi navodi upravo prikaz Jadranskog mora na *Pisanskoj karti* (Wagner, 1896. (1969.): 480, 482). R. Nicolai je u svojoj kartometrijskoj analizi *Pisanske karte* ustanovio da i bazen Egejskog mora nije prikazan u skladu s prosječnim iznosom rotacije prikaza (Nicolai, 2014.: 255). Njegov zaključak je da *Pisanska karta* predstavlja jedan od ranijih i manje sofisticiranih srednjovjekovnih pokušaja sastavljanja karata pojedinih bazena Sredozemlja u portulansku kartu kao kompozit (Nicolai, 2014.: 260).

Magnetska deklinacija za područje Jadranskog mora je 1290. g., prema modelu *CALS3K.4*, imala iznos od δ=+8,9°, dok je prikaz Jadranskog mora na *Pisanskoj karti* u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=42,7° prikazan s rotacijom od θ=0,3° – otklon rotacije prikaza i smjera magnetskog sjevera iznosi 8,6° (Slika 6—11.). Prikaz Jadranskog mora na toj karti jedini je iz uzorka odabranih karata na kojem su pogreške azimuta u odnosu na smjer geografskog sjevera (*MAE* $d\alpha_{geo}$=10,7°) manje od pogrešaka u odnosu na smjer magnetskog sjevera (*MAE* $d\alpha_{mag}$=11,9°). Premda je prikaz Jadrana u odnosu na smjer geografskog sjevera na toj karti točniji, iznos *MAE* $d\alpha_{geo}$ od 10,7° je, zbog općenito nižih iznosa točnosti *Pisanske karte,* veći od ekvivalentnih iznosa nekih karata koje su točnije u odnosu na smjer magnetskog sjevera. Primjerice, karte PV 1318. i AB 1436. imaju *MAE* $d\alpha_{geo}$ u iznosu od 10,0°, dok im *MAE* $d\alpha_{mag}$ iznosi 9,0°, odnosno 7,8° (Slika 6—13.).

Drugi primjer rane orijentacije azimuta u odnosu na geografski sjever u izvorima koje je moguće povezati s navigacijom je gotovo stoljeće stariji od *Pisanske karte.* Riječ je o portulanu *Liber de Existencia*, datiranog u 1200. g., u kojem su azimuti prekomorskih ruta za bazen Jadranskog mora točniji u odnosu na geografski sjever (Tablica 6—10.). Do istog zaključka, na temelju istraživanja provedenog za čitav prostor Sredozemlja, došao je i J. A. Gaspar (Gaspar, 2019.: 16). Podaci o udaljenostima u portulanu *Liber de Existencia* geometrijski su sličniji prikazu tog prostora na kartama u referentnim projekcijama nego prikazu na portulanskim kartama, ponajprije zbog podataka o rutama sjevernog Jadrana. Po tom kriteriju, portulan je geometrijski najsličniji prikazu Jadranskog mora na *Pisanskoj karti*. Podaci o kursovima pokazuju izrazitiju pogrešku u odnosu na azimute na portulanskim kartama s *MAE* $d\alpha$ od 22,8°. Međutim, kada rotacija prikaza na portulanskim kartama ne bi postojala, tj. kada bi prikaz bio orijentiran prema geografskom sjeveru, ta vrijednost bi u prosjeku iznosila 18,4° što ne predstavlja mnogo nižu točnost od, primjerice, prosječne točnosti *MAE* $d\alpha$ portulana *Compasso de Navegare* od 17,1° u odnosu na portulanske karte, uvažavajući pritom rotaciju prikaza u smjeru obrnutom od kazaljke na satu. Moguće je pretpostaviti da je karta, koja je

prema autoru dokumenta izvorno postojala i bila prilog tekstu (Gautier Dalché, 1995.: 22, 103-105), po točnosti ponešto manje sofisticirana od sačuvanih portulanskih karata. Međutim, geometriju takve karte nije moguće detaljno rekonstruirati, budući da u portulanu *Liber de Existencia* podaci o kursu stoje uz razmjerno malen broj ruta.

Rotacija prikaza na kartama izrađenim u drugoj polovici 14. st. po vrijednosti je najbliža iznosu magnetske deklinacije iz godine njihove izrade. Rotacija prikaza na karti iz *Katalonskog atlasa*, u kojem se ujedno nalazi i najstariji sačuvani crtež kompasne ruže (Nordenskiöld, 1897.: 17; Campbell, 1987.: 395) je, unutar uzorka odabranih karata, najusklađenija s (tada) aktualnim iznosom magnetske deklinacije. Kod kasnijih portulanskih karata, iznos rotacije prikaza bazena Jadranskog mora ostao je približno jednak, dok je istodobno iznos magnetske deklinacije bio u blagom padu (Slika 6—11.), što je potvrđeno i u prethodnim istraživanjima, primjerice, u onom P. T. Pelhama (Pelham, 1980.: 82-85).

Kronologija međuodnosa magnetske deklinacije i rotacije prikaza implicira da su portulanske karte inicijalno bile orijentirane u odnosu na smjer geografskog sjevera te da je adaptacija prikaza na magnetski sjever izvršena naknadno. Razdoblje u kojem je izvršena adaptacija prikaza odgovara razdoblju pojave i početaka šire uporabe kompasa na području Sredozemlja, o čemu je više pisano u poglavlju 1.3.1.

Mogućnost postojanja inicijalne orijentacije prikaza Jadranskog mora s obzirom na geografski sjever je, moguće, u tragovima sadržana u svim tipičnim portulanskim kartama na kojima je prikaz prilagođen smjeru magnetskog sjevera. Naime, u poglavlju 6.2.2 utvrđeno je da je otprilike jedna četvrtina azimuta na portulanskim kartama, unatoč rotaciji prikaza, (i dalje) točnije kartirana u odnosu na geografski nego u odnosu na magnetski sjever (Slika 6—14.). Ako je prikaz prostora na portulanskim kartama inicijalno bio orijentiran u odnosu na geografski sjever i ako rotacija prikaza morskog bazena kao cjeline nije izvršena u kontinuitetu i za jednak iznos, lokalne razlike u točnosti azimuta s obzirom na smjer sjevera možda predstavljaju svojevrsne rudimente inicijalne orijentacije prikaza. Instantnu rotaciju kartografskog prikaza Jadranskog mora kao cjeline (za isti iznos rotacije po čitavom polju karte) je u suvremeno doba, poglavito uz pomoć digitalnih tehnologija, moguće izvršiti jednostavno i brzo. Međutim, izrada rukopisnih karata na pergameni je u usporedbi sa suvremenim postupcima izrade karata spora pa je vjerojatnost da je rotacija prikaza izvršena „u jednom potezu“ i s jednakom točnošću za čitav morski bazen razmjerno niska. Vjerojatnijim se čini da su zbog dugotrajnosti postupka izrade karte prilikom adaptacije prikaza prema smjeru magnetskog sjevera precrtavane postupno i u segmentima, što omogućuje previđanje i akumulaciju pogrešaka. Hipotezu je, svakako, potrebno dodatno testirati za prostor preostalih morskih bazena Sredozemnog i Crnog mora.

7.3.4 KONFORMNA CILINDRIČNA KARTOGRAFSKA PROJEKCIJA

Prema rezultatima analitičke obrade prikaza obalne crte Jadranskog mora na 12 odabranih portulanskih karata izrađenih tijekom razdoblja od otprilike tri stoljeća izveden je veći broj kvantitativno utemeljenih zaključaka o njihovim geometrijskim obilježjima. Primarni zaključci kartometrijske analize su da su portulanske karte izrađene u kartografskoj projekciji te da je ta kartografska projekcija temeljno konformna i geometrijski najbliža suvremenoj Mercatorovoj projekciji.

Mišljenja prethodnih istraživača o tome jesu li portulanske karte izrađene u kartografskoj projekciji ili ne, međusobno se razlikuju. Primjerice E. L. Stevenson (Stevenson, 1911.: 18) i D. Turnbull (Turnbull, 1996.: 13) kazuju, bez popratne argumentacije, da portulanske karte nisu bile izrađene u kartografskoj projekciji. Drugi autori ponešto su precizniji u tumačenju nepostojanja kartografske projekcije, tako da izradu portulanskih karata pripisuju crtanju na tzv. „plohi s konstantnim mjerilom“ pri čemu je sfernost Zemljine površine svjesno zanemarena. U njih se mogu ubrojiti, primjerice, E. G. R. Taylor (Taylor, 1948.: 193), J. Keuning (Keuning, 1955.: 15), A. Cortesão (Cortesão, 1969., prema Nicolai, 2014.: 72), J. T. Lanman (Lanman, 1987.:33) i J. A. Gaspar (Gaspar, 2008.: 202), a prema T. Campbellu, mišljenje da portulanske karte nisu izrađene u kartografskoj projekciji je prevladavajuće u znanstvenoj zajednici (Campbell, 1987.: 385). Dio autora te struje mišljenja, vjerojatno zbog nedovoljnog konceptualnog razumijevanja metoda kartografskog projiciranja, smatra da je karta u kvadratičnoj projekciji[60] izravni kartografski produkt zanemarivanja sfernosti Zemljine površine i crtanja azimuta i udaljenosti na plohi s konstantnim mjerilom, što je R. Nicolai na opsežnom primjeru temeljito demantirao (Nicolai, 2014.: 70-81, 423-433). Istraživači koji zagovaraju hipotezu o projiciranosti portulanskih karata i pripadajući im argumenti o toj problematici spomenuti su u poglavlju 2.1.

NEPOSTOJANJE PRIKAZA KONVERGENCIJE MERIDIJANA

Jedan od temeljnih argumenata u prilog zaključku o projiciranosti prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama je nepostojanje prikaza konvergencije meridijana. Duljina luka određenog stupanjskog intervala geografske dužine (λ), izražena u kilometrima, se na Zemlji kao kugli ili referentnom elipsoidu, zbog konvergencije meridijana, smanjuje od ekvatora prema polovima. To znači da bi na karti na kojoj su duljine prikazane razmjerno vjerno, prostor trebao biti prikazan u skladu s konvergencijom meridijana.

[60] Uspravna ekvidistantna cilindrična projekcija, $\varphi_0=0°$ (s mjerilom valjanim na ekvatoru) kod koje elementi stupanjske mreže za jednake stupanjske intervale imaju oblik kvadrata (Snyder, 1993.: 5-8).

Na karti u bilo kojoj uspravnoj cilindričnoj projekciji zbog zanemarivanja konvergencije meridijana, tj. prikaza meridijana uz pomoć ravnih i međusobno paralelnih crta, deformacije prikaza duljina po pravcu istok – zapad povećavaju se udaljavanjem od geografske širine na kojoj vrijedi mjerilo karte. To obilježje izračunano je i za geometriju portulanskih karata na prikazu Jadranskog mora, a manifestira se kao niska točnost kartiranja položaja po pravcu približnom pravcu istok – zapad (*RMSE dX*) u odnosu na kartografske projekcije na kojima je konvergencija meridijana prikazana. Pogreške *RMSE dX* [km] su za portulanske karte, izuzev karte PK 1290., najveće upravo u odnosu na lokalne kartografske projekcije na kojima je prikazana konvergencija meridijana (Slika 5—6.) – u apsolutnim iznosima veće su i od pogrešaka u odnosu na „regionalne" referentne cilindrične projekcije, kod kojih je mjerilo valjano uzduž paralele φ=36° (N). S obzirom na to da je riječ o prostoru razmjerno malog obuhvata po X-osi[61], te razlike jasno impliciraju na nepostojanje konvergencije meridijana u geometriji prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama.

Nepostojanje prikaza konvergencije meridijana na kartografskim prikazima pojedinih morskih bazena prvi je uočio H. Wagner (Wagner, 1896. (1969.): 480), a na temelju detaljnih kartometrijskih istraživanja tu hipotezu su potvrdili S. A. Loomer (Loomer, 1987.: 144-146) i R. Nicolai (Nicolai, 2014. 248), dokazavši da su pogreške kartiranja visoke u odnosu na kartografske projekcije na kojima je prikazana konvergencija meridijana kada se portulanske karte tretiraju kao kompoziti sačinjeni od karata pojedinih morskih bazena. Osim izračuna po kriteriju *RMSE dX*, prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama je i prema svim ostalim parametrima točnosti primijenjenim u poglavlju 5.1 najtočniji u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°. Također, točnost kartiranja azimuta *RMSE dα* [°] je, zbog konformnosti te projekcije, najveća u odnosu na Mercatorovu projekciju općenito.

ARGUMENTACIJA HIPOTEZE O KONFORMNOM CILINDRIČNOM PROJICIRANJU

U poglavlju 5.3 izračunano je da je pri regionalno–funkcionalnoj podjeli Jadranskog mora točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija na portulanskim kartama razmjerno visoka i ujednačena po čitavom polju karte (Slika 5—24.). S druge strane, stvarna točnost kartiranja udaljenosti ima različite vrijednosti za pojedine dijelove prostora i to tako da je stvarna pogreška udaljenosti na južnom dijelu Jadranskog mora negativna, a na sjevernom dijelu pozitivna (Slika 5—21.). Oba obilježja odlika su geometrije karata u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° – paralela na kojoj je mjerilo karte valjano nalazi se otprilike na sredini Jadranskog mora, zbog čega je deformacija prikaza duljina prema sjevernom polu pozitivna, a

[61] Obuhvat Jadranskog mora u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7° (M=1) po X-osi s graničnim točkama Marina di Ravenna, ITA (W) Shëngjin, ALB (E) i iznosi 602 km, a u gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0°, (M=1) 629 km na južnom dijelu, koji je zbog konvergencije meridijana na toj projekciji širi od obuhvata na sjevernom dijelu.

prema ekvatoru negativna. Sličan obrazac deformacija prikaza duljina (uzduž pravca E–W, no ne i uzduž pravca N–S) svojstven je i uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji φ_0=42,7°, no prethodno izračunana točnost kartiranja po Y-osi (*RMSE dY*, što je ekvivalent točnosti prikaza geografske širine na kartama) je u odnosu na tu projekciju u prosjeku manja za 1,0 km. Također, *RMSE dY* u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36° iznosi 13,4 km, a u odnosu na ekvidistantnu cilindričnu projekciju φ_0=36° 15,1 km (Slika 5—7.).

Na karti u uspravnoj Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, prosječna duljina odabranih prekomorskih linija na sjevernom dijelu iznosi 124,5 km, a na južnom dijelu 155,1 km, tj. prekomorske rute na južnom Jadranu su u prosjeku dulje od prekomorskih ruta na sjevernom Jadranu za 30,6 km. Na karti u gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0°, na kojoj su deformacije prikaza duljina manje, ta razlika iznosi oko 38,1 km. Međutim, na portulanskim kartama (georeferenciranim na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7), prosječna duljina prekomorskih linija sjevernog dijela Jadranskog mora iznosi 160,5 km, a južnog 164,9 km, što znači da su odabrane prekomorske linije sjevernog Jadrana prikazane naspram odabranih linija na južnom dijelu prikazane kraćima za „samo“ 4,4 km.

Duljinu kraćih plovidbenih ruta, naročito ruta između objekata vidljivih s broda, svakako je lakše procijeniti od duljine ruta između međusobno udaljenijih polazišnih i odredišnih točaka. Međutim, i pod uvjetom da je točnost procjene ili mjerenja prijeđene udaljenosti jednaka za sve rute, neovisno o njihovoj duljini, po metodi kartiranja na plohi s konstantnim mjerilom, sjeverni dio Jadranskog mora ne bi trebao biti prikazan s pogreškama udaljenosti većeg iznosa od pogrešaka udaljenosti južnog dijela. Kako je prikazano u poglavlju 5.3.3, prekomorske linije sjevernog Jadrana, koje su u odnosu na os pružanja morskog bazena u pravilu transverzalne, imaju pogrešku *ME dL* od +36,0 km (+28,9 %), a južnog od +9,8 km (+6,3 %). Obalne rute, koje su pretežito longitudinalne, za prikaz sjevernog Jadrana imaju pogrešku od +10,3 km (+21,5 %), a južnog od -4,8 km (-9,9 %).

Hipotetski, ako je metoda procjene ili mjerenja udaljenosti standardizirana i karta se izrađuje crtanjem na plohi s konstantnim mjerilom, prostorna distribucija pogreške udaljenosti trebala bi biti različita. Iznosi pogreške bi, u tom slučaju, trebali biti međusobno više ujednačeni, poglavito za obalne rute, a negativan iznos pogreške bi (zbog konvergencije meridijana) trebao biti obilježje kartiranja sjevernog umjesto južnog dijela Jadrana. Ista prostorna distribucija pogrešaka bi, teoretski, pri kartiranju na plohi s konstantnim mjerilom vrijedila i za prekomorske rute, što na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama nije slučaj. Prekomorske rute sjevernog Jadrana su u stvarnosti od prekomorskih ruta južnog Jadrana u prosjeku kraće oko 24-31 % (ovisno o karti u referentnoj projekciji pri M=1 na kojoj se duljina mjeri i pripadajućim deformacijama prikaza duljina). Međutim, pogreška prikaza udaljenosti za sjeverni dio Jadrana je na portulanskim kartama oko 2 puta veća (kao *MAE dL*) naspram pogrešaka udaljenosti za njegov južni dio, i to kontinuirano tijekom razdoblja duljeg od tri stoljeća.

Povećanje pogreške prikaza udaljenosti s povećanjem geografske širine je kao potencijalni dokaz konformnog cilindričnog projiciranja na portulanskim kartama predložio H. Wagner, no nije bio u mogućnosti dobiti takve rezultate, zbog čega je odbacio hipotezu o konformnom cilindričnom projiciranju (Wagner, 1896. (1969.): 480-481). S obzirom na tehnološka ograničenja kartometrijske analize s kraja 19. st., Wagnerovi rezultati i hipoteze u potpunosti su opravdani. Međutim, ovo istraživanje izvedeno je na većem uzorku karata i tehnološki je sofisticiranije, zbog čega je spomenuto povećanje pogreške kartiranja udaljenosti moguće izračunati.

Unatoč regionalnim razlikama u kartiranju udaljenosti, izračunana točnost kartiranja azimuta prekomorskih ruta, *MAE dα* [°], približno je jednaka na prostoru sjevernog i južnog dijela Jadranskog mora (Slika 5—24.). Međuodnos prostorne distribucije stvarnih pogrešaka kartiranja udaljenosti i apsolutne pogreške kartiranja azimuta moguće je argumentirati jedino hipotezom da prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama nije produkt crtanja na plohi s konstantnim mjerilom, već ciljano primijenjene metode kartografskog projiciranja. Povećanje pozitivne pogreške prikaza udaljenosti s povećanjem geografske širine uz istodobno približno jednak iznos pogreške prikaza azimuta, osim što predstavlja dodatni argument hipotezi o ciljanoj primjeni kartografske projekcije, jasno implicira da su portulanske karte po svojoj geometriji geometrijski temeljno konformne, tj. da su izrađene u konformnoj cilindričnoj kartografskoj projekciji.

Prikaz loksodrome kao ravne crte obilježje je isključivo karata u uspravnoj Mercatorovoj projekciji. Prema rezultatima kartometrijske analize, koji upućuju na svjesnu deformaciju prikaza udaljenosti u svrhu vjernosti prikaza azimuta uz prikaz meridijana kao ravnih i međusobno paralelnih crta, proizlazi da su portulanske karte geometrijski vrlo bliske kartama u Mercatorovoj projekciji zbog čega ih se, uvjetno govoreći, može zvati i *loksodromskim kartama*.

POTENCIJALNA VALJANOST MJERILA UZDUŽ PARALELE Φ=36°

Portulanske karte su, kako je prethodno kazano, najstariji sačuvani kartografski prikazi koji sadrže linearno mjerilo. Kada bi portulanske karte bile izrađene po metodi crtanja na plohi s konstantnim mjerilom uz zanemarivanje sfernosti Zemljine površine, mjerilo bi, teoretski, imalo istu vrijednost po čitavom polju karte, neovisno o smjeru linije kojoj se izračunava stvarna duljina. Međutim, zbog konvergencije meridijana, tj. razlika između sferne i ravninske geometrije, kartu na kojoj je mjerilo valjano uzduž svih pravaca mjerenja, neovisno o smjeru, nije moguće izraditi. U poglavlju 6.1.1, izračunano je da mjerilo portulanskih karata na prikazu Jadranskog mora nema isti iznos po čitavom polju karte (Slika 6—3.), čime je također demantirana hipoteza o kartiranju na plohi s konstantnim mjerilom.

U istraživanju je izračunano da je prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama ciljano prikazan u kartografskoj projekciji koja je geometrijski najsličnija Mercatorovoj projekciji. S obzirom da je pri izradi karte u Mercatorovoj projekciji odabir geografske širine uzduž koje je mjerilo karte valjano nužan preduvjet, pretpostavlja se da je i geometrija projekcije u kojoj su izrađene portulanske karte zadana na isti način. Nužnost odabira geografske širine na kojoj je mjerilo karte izrađene u uspravnoj cilindričnoj projekciji valjano poznata je iz antike. Marin iz Tira je, prema sačuvanim zapisima Klaudija Ptolemeja, za izradu karte u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji odabrao paralelu φ=36° (N) kao (jedinu) geografsku širinu uzduž koje je mjerilo karte valjano po pravcu istok – zapad (Dilke, 1987.: 179; Breggren i Jones, 2000.: 82-83). Premda se, prema nekim tumačenjima, otkriće te metode kartografskog projiciranja pripisuje Eratostenu (3. st. pr. Kr.), vjerojatnije je da je njezin autor upravo Marin iz Tira (Snyder, 1993.: 6).

U poglavlju 5.1 ustanovljeno je da je točnost portulanskih karata u odnosu na „projekciju Marina iz Tira“ niža od točnosti u odnosu na Mercatorovu projekciju φ_0=36° (mjerilo je za obje projekcije valjano na istoj geografskoj širini, no Mercatorova projekcija pritom nije ekvidistantna i duž meridijana). Točnost kartiranja položaja po kriteriju *RMSE dY* je, u usporedbi s Mercatorovom projekcijom φ_0=36°, u prosjeku 1,7 km manja (Slika 5—5.), a točnost kartiranja azimuta *RMSE dα* [°] za 0,5° (Slika 5—9.). Prosječni iznos rotacije (produkt georeferenciranja pri *min. RMSE*) za ukupni uzorak karata je u odnosu na „projekciju Marina iz Tira“ manji za 1,9° (Tablica 5—1.), što rezultira većom pogreškom karata u odnosu na smjer magnetskog sjevera prema modelu *CALS3K.4* (Slika 6—11.). Također, na karti u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji udaljenost između paralela za isti stupanjski interval jednaka je po čitavom polju karte, za razliku od karte u Mercatorovoj projekciji na kojoj se razmak među paralelama povećava od ekvatora prema polovima – obilježje koje je ustanovljeno i za prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama (manja *RMSE dY* pogreška u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji za isti iznos parametra φ_0).

S obzirom na navedene pokazatelje zaključeno je da portulanske karte najvjerojatnije nisu izrađene u „projekciji Marina iz Tira“. Međutim, pretpostavljeni iznos portulanske milje od 1,28 km, tj. od 1,29 km, čiji je izračun prikazan u poglavljima 6.1.4 i 6.4.3, temeljen na korelaciji podataka o udaljenostima iz portulana i geometrije portulanskih karata, implicira mogućnost da je upravo φ=36° (N) geografska širina na kojoj je mjerilo portulanskih karata valjano. Argumenti u korist te hipoteze detaljnije su prikazani u poglavljima 6.4.3 i 6.4.5. S obzirom na to da se formulacija ove hipoteze temelji isključivo na primijenjenoj metodologiji na prostoru razmjerno malog obuhvata, njezinu valjanost je svakako potrebno dodatno ispitati primjenom iste metodologije izračuna na prikazima ostalih morskih bazena na portulanskim kartama. U slučaju da hipoteza na taj način bude potvrđena, rezultati bi upućivali na vrlo usku povezanost portulanskih karata i antičke kartografije.

7.4 USPRAVNA KONFORMNA CILINDRIČNA PROJEKCIJA PRIJE MERCATORA?

Izrada karata temeljenih na matematičkoj osnovi svakako nije obilježje razdoblja koje je izravno prethodilo izradi sačuvanih portulanskih karata. *Mappe mundi*, jedini kronološki bliski poznati kartografski prethodnici, prikazi su religijski utemeljene koncepcije svijeta u skladu s duhom vremena (Woodward, 1987.: 286). Autori *mappa mundi* nisu težili egzaktnosti prijenosa dimenzija iz prirode na kartu, za razliku od antičkih kartografa, čije je djelovanje prethodilo izradi najstarijih sačuvanih portulanskih karata više od tisućljeća, no njihovo kartografsko nasljeđe u zapadnoj Europi otkriveno je u razdoblju renesanse (Harvey, 1987.: 7), tj. nakon izrade najstarijih poznatih portulanskih karata. Ptolemejske karte predstavljaju općeprihvaćen primjer sofisticirane antičke kartografije bazirane na jasno definiranoj matematičkoj osnovi koja uključuje kartografsku projekciju i mjerilo karte[62].

PROBLEM PRIKAZIVANJA LOKSODROME KAO RAVNE CRTE NA KARTI

Uspravna ekvidistantna cilindrična projekcija primjenjivana je pri izradi pomorskih karata koje su, tijekom renesanse i usporedno s velikim geografskim otkrićima Europljana, uvjetno rečeno, naslijedile portulanske karte. Pojedini autori, primjerice J. A. Gaspar, takve karte nazivaju i *latitudnim kartama*, budući da je na njima uz mrežu rumba ucrtavana i geografska širina u stupnjevima (Gaspar, 2007.: 67). Najstarija sačuvana *latitudna karta* je tzv. *Cantinova planisfera* (engl. *Cantino planisphere*) iz 1502. g. na kojoj su kao ravne linije ucrtani ekvator, obratnice i polarnice te meridijan podjele na kolonijalne interesne zone prema ugovoru iz Tordesillasa (Algeria i dr. 2007.: 986, 993; Gaspar, 2013.: 69-70). U ostale rane karte te vrste mogu se ubrojiti karta Dioga Ribeira iz 1529. g. i karta Andrée Homema iz 1559. g. (Algeria i dr. 2007.: 993). Početak velikih europskih geografskih otkrića ujedno predstavlja i početak primjene astronomskih mjerenja u svrhu navigacije i izrade pomorskih karata s prikazom oceana i novootkrivenih kopnenih područja.

Latitudne karte izrađivane su u portulanskoj kartografici i premda su obale Afrike, Azije i obiju Amerika ucrtavane u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji, potpomognute astronomskim mjerenjima geografske širine, geometrija prikaza Sredozemlja na tim kartama preslikavana je bez izmjena izravno s portulanskih karata (Gaspar, 2010.: 62)[63]. Početak europskih prekooceanskih plovidbi predstavlja razdoblje postupnog uvođenja astronomskih mjerenja u svrhu određivanja položaja broda, najprije kao provjeru točnosti navigacije metodom

[62] Klaudije Ptolemej se u svojem djelu refererira na Marina iz Tira kao tvorca uspravne ekvidistantne cilindrične projekcije s mjerilom valjanim uzduž paralele φ=36° (N).

[63] Samostalni prikaz Sredozemlja ili pojedinih morskih bazena se na portulanskim kartama održao u svojoj neizmijenjenoj formi i nakon uvođenja astronomske navigacije i izrade *latitudnih karata*. Primjeri takvih karata su karte Battiste Agnesea, Dioga Homema i Vicka Dimitrija Volčića, korištene u ovom istraživanju.

zbrojene pozicije, tada temeljne navigacijske tehnike na području Sredozemlja (Taylor, 1950.: 282). Međutim, uvođenje astronomskih mjerenja kao dopune metodi zbrojene pozicije u svojim ranijim etapama nije dalo očekivane rezultate, poglavito pri ucrtavanju izmjerenih vrijednosti na pomorske karte. Primjerice, portugalski pomorac Diogo Gomes, u službi Henrika Pomorca, je prilikom plovidbe prema Gvinejskom zaljevu 1473. g. zapisao da su putem izvodili astronomska mjerenja uz pomoć kvadranta u svrhu određivanja geografske širine i da se rezultati ne slažu s vrijednostima koje su ucrtavali na kartu (Taylor, 1957.: 159). F. Fernández-Armesto je skeptičan prema tvrdnjama o tako ranoj uporabi astronomskih instrumenata u navigaciji. Kazuje da je, prema novijim tumačenjima, Vasco da Gama na svojem putovanju u Indiju 1497. g. koristio kvadrant i pomorski astrolab, ali je mjerenja izvodio isključivo na kopnu te da su ti instrumenti tehnički unaprijeđeni tek u prvoj polovici 17. st., tj. najranije 1620. g. (Fernández-Armesto, 2007.: 747).

U svrhu određivanja geografskog položaja na površini Zemlje uz geografsku širinu potrebno je izračunati i geografsku dužinu. Nemogućnost točnog određivanja geografske dužine u razdoblju izrade portulanskih karata jedna je od tehničkih poteškoća usklađivanja podataka dobivenih metodom zbrojene pozicije i izmjerenih podatka o geografskoj širini na karti. Naime, geografsku dužinu u navigaciji nije bilo moguće precizno odrediti prije izuma i primjene kronometra u 18. st. (Taylor, 1957.: 261-262). Drugu tehničku poteškoću usklađivanja tih podataka predstavlja geometrija karte izrađene u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji, budući da na toj karti loksodrome nisu prikazane kao ravne crte. Nemogućnost prikazivanja loksodroma kao ravnih crta na karti uočio je i 1537. g. u djelima *Tratado sobre certas duvidas da navegação* i *Tratado em defensam da carta da marear com o Regimento da altura*[64] zapisao portugalski kozmograf Pedro Nuñes. Ustanovio je da putanje pri konstantom kursu u smjeru od ekvatora prema polu (pod uvjetom da se ne odvijaju uzduž meridijana) na Zemlji kao kugli imaju izgled spiralnih krivulja koje se sastaju u točki pola. Međutim, Nuñes nije bio u mogućnosti izraditi kartografsku projekciju na kojoj će takve putanje biti prikazane kao ravne crte (Taylor, 1957.: 175-180).

Metodu preslikavanja loksodrome kao ravne crte na karti otkrio je G. Mercator, nekoliko desetljeća kasnije, no njegova karta svijeta iz 1569. g. nije izrađena u tadašnjoj tipičnoj pomorskoj kartografici, a prikaz velikog dijela prostora preuzet je iz geografskih opisa u literaturi i s Mercatoru dostupnih karata (Taylor, 1957.: 222). Također, Mercatorova karta svijeta nije sadržavala tehničke specifikacije o metodi povećanja razmaka među paralelama za isti interval geografske širine. Metodu konstrukcije stupanjske mreže uspravne konformne cilindrične projekcije je krajem 16. st. matematički definirao E. Wright (Keuning, 1955.: 18).

64 *Rasprava o određenim navigacijskim nepoznanicama* i *Rasprava o obrani pomorske karte s pravilima geografske širine.*

RAZLIKE I SLIČNOSTI S HELENISTIČKOM KARTOGRAFIJOM

Portulanske karte u kontekstu geometrije prikaza prostora na karti svakako zauzimaju istaknuto mjesto na vremenskoj crti sačuvanih kartografskih prikaza iz prošlosti. Njihova posebnost ne očituje se samo točnošću prikaza, već i, po svoj prilici, kartografskom projekcijom kao strukturnim elementom. Istraživači poput H. Wagnera, M. A. Clos-Arceduca, S. A. Loomera i R. Nicolaija su, više ili manje sofisticiranim kartometrijskim metodama, dokazali njihovu projiciranost, koja je najbliža današnjim uspravnim cilindričnim projekcijama. Sličnost s cilindričnim projekcijama pritom je veća za prikaz pojedinih morskih bazena, na temelju čega je, uz razlike u mjerilima među pojedinim morskim bazenima, uspostavljena hipoteza da su portulanske karte zapravo kompoziti.

U ovom istraživanju je na primjeru prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama ustanovljeno da on nije ekvidistantan uzduž meridijana, već da su stvarne pogreške prikaza udaljenosti po pravcu sjever – jug u smjeru ekvatora negativne, a u smjeru sjevernog pola pozitivne. Također, ustanovljena je i gotovo jednaka točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija na čitavom polju karte, neovisno o pogreškama prikaza udaljenosti.

Tim argumentom je, barem na prikazu Jadranskog mora, demantirana mogućnost projiciranja prikaza tog prostora u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji, uz istodobnu potvrdu izrade karata u konformnoj cilindričnoj projekciji. Međutim, rezultat analize kontradiktoran je prethodno opisanoj kronologiji razvoja pomorske kartografije. Drugim riječima, ispostavljena je mogućnost da su metode projiciranja svojstvene danas poznatoj Mercatorovoj projekciji postojale i prije otkrića te projekcije u 16. st., čime problematika inicijalnog nastanka portulanskih karata dodatno dobiva na složenosti. Kada i tko je prvi osmislio metodu konformnog cilindričnog projiciranja, kojim metodama je prostor prethodno izradi karata izmjeren i zašto te metode nisu zaživjele u kontinuitetu do novog vijeka samo su neka od pitanja koja je moguće postaviti na tu temu.

Težnja egzaktnosti prikaza prostora na karti svojstvena antičkoj, a poglavito helenističkoj kartografiji, je iz fenomenološkog aspekta najbliža egzaktnosti prikaza na portulanskim kartama. Portulanske karte su nakon helenističkih karata najstariji kartografski prikazi izrađeni u mjerilu kojeg je moguće očitati s karte, a B. Kotruljević u 15. st. navodi Ptolemeja kao tvorca karte po kojoj su izrađene pomorske karte (Kotruljević, 1464. (2005.): 217, 219). Međutim, između sačuvanih portulanskih karata i saznanja o antičkoj, tj. helenističkoj kartografiji postoji više razlika na temelju kojih nije izgledno da su portulanske karte njihovo izravno ili neizravno nasljeđe. Prvo, matematička osnova helenističke kartografije počiva na stupanjskoj mreži i sfernim koordinatama (Keuning, 1955.: 9-10), umjesto na podacima o azimutima i udaljenostima. Drugo, iskazivanje mjerila karte uz pomoć linearnog mjerila, koliko je poznato, nije bila odlika karata koje su prethodile portulanskim kartama, budući da su portulanske karte najstariji poznati kartografski prikazi te vrste (Taylor, 1951.b: 354). Treće, prema poznatim povijesnim izvorima, prije portulanskih karata nije postojala praksa

izrade karata u svrhu navigacijskih pomagala (Nordenskiöld, 1897.: 16). Četvrto, grčko nasljeđe nije vidljivo u toponimiji portulanskih karata. Naprotiv, toponimi su ispisivani na jeziku autora sačuvanih karata, a na kartama različitih autora vidljive su i razlike u zapisivanju imena istih lokacija te „pojava" i „nestanak" pojedinih toponima (Campbell, 1987.: 372-373).

S druge strane, nepostojanje stupanjske mreže na portulanskim kartama samo po sebi nije egzaktan dokaz da stupanjska mreža nije bila ucrtana na kartama koje su im prethodile, naravno, ako su takve karte postojale. Primjerice, na karti Palestine koju je izradio Marino Sanudo 1320. g., preko čitavog prikazanog prostora ucrtana je mreža kvadrata (Nordenskiöld, 1897.: 54, tabla VII.). Također, na *Pisanskoj karti* je uz rub ruža vjetrova ucrtana dvostruka mreža kvadrata s međusobnim otklonom od 45° (Slika 1—1., Slika 10—1.), a mreža iste geometrije ucrtana je i na *Avignonskoj karti* (Mille i Fermon, 2017.: 22-24). Kvadratne forme ucrtane na tim kartama mogu biti protumačene kao svojevrsni rudimenti postojanja stupanjske mreže na kartama koje su im prethodile, no koja je iz praktičnih razloga uklonjena i zamijenjena ružom vjetrova. Naime, plovidbom po metodi zbrojene pozicije, tj. oslanjanjem isključivo na azimute i udaljenosti, uz istodobnu nemogućnost izravnog mjerenja geografske širine i geografske dužine prilikom plovidbe, stupanjska mreža postaje beskorisna.

Na određenom broju portulanskih karata, primjerice na *Pisanskoj karti* ili na karti Pietra Vescontea, linearno mjerilo ucrtano je u dvije orijentacije: usporedno s rumbom N–S i usporedno s rumbom W–E, dok je na kartama iz atlasa Gratiosusa Benincase i Battiste Agnesea ono ucrtano dijagonalno na rub karte, usporedno s rumbima NE–SW i NW–SE. Na temelju toga moguće je zaključiti da su autori sačuvanih karata smatrali da je mjerilo valjano u svim smjerovima, što implicira njihovu nedovoljnu upućenost u koncept kartografskog projiciranja. S obzirom na dostupno znanje o antičkoj kartografiji, opus Marina iz Tira, barem iz geometrijskog aspekta, predstavlja jedinu logičnu mogućnost da su portulanske karte odraz kartografskog nasljeđa tog razdoblja. Na njegovoj kartografskoj projekciji jednaki intervali stupanjske mreže zatvaraju pravokutnike izduljene po pravcu N–S s omjerom stranica 5:4, a mjerilo je valjano uzduž paralele φ=36° (N) i uzduž svih meridijana (Snyder, 1993.: 6). Teoretski, osobama s nedovoljnim znanjem o kartografskom projiciranju moguće je zaključiti da je na takvoj karti mjerilo valjano po čitavom polju karte, neovisno o smjeru i geografskoj širini te stupanjsku mrežu izbrisati i zamijeniti ju ružama vjetrova, no to ne objašnjava geometrijsku sličnost tih karata s konformnom cilindričnom projekcijom geometriju utvrđenu kartometrijskom analizom. Hipotezu o konformnom cilindričnom projiciranju također je potrebno testirati na prikazu ostalih morskih bazena Sredozemlja.

7.5 UZROČNO-POSLJEDIČNE ILI POSLJEDIČNO-UZROČNE VEZE?

Točnost portulanskih karata i njihova potencijalna upotrjebljivost pri navigaciji Jadranskim morem najviše dolazi do izražaja u svrhu organizacije plovidbe prekomorskim rutama, a točnost podataka o prekomorskim rutama visoka je i u zapisima iz portulana. Međutim, vjerojatnost da su portulanske karte i portulani izravan produkt mjerenja kursa i udaljenosti izrazito je mala do nepostojeća. Glavni zagovornik te hipoteze je R. Nicolai, koji je nelogičnosti hipoteze o srednjovjekovnom nastanku karata elaborirao iz nekoliko aspekata, pretežito različitih od dokaza prikazanih u ovom istraživanju. Zajednički argument ovog i Nicolaijevog istraživanja kojim je demantirana vjerojatnost srednjovjekovnog nastanka karata jest ustanovljena projiciranost karata (Nicolai, 2014.: 408), no metodološke razlike u kartometrijskoj analizi između istraživanja postoje, a specificirane su u poglavlju 7.1. Ostali Nicolaijevi argumenti temelje se, između ostalog, na numeričkom modelu srednjovjekovne navigacije i na modelu izrade portulanske karte na temelju mjerenja kursa i udaljenosti na plohi s konstantnim mjerilom. Prvim modelom pokazao je da srednjovjekovni pomorci najvjerojatnije nisu bili dovoljno matematički potkovani da bi izvodili mjerenja visoke točnosti (Nicolai, 2014.: 405-406), a drugim je demonstrirao da krajnji produkt kartiranja na plohi s konstantnim mjerilom geometrijski iznimno odstupa od geometrije sačuvanih portulanskih karata (Nicolai, 2014.: 407-408).

Antičko, tj. helenističko razdoblje čini se najvjerojatnijim razdobljem njihove izrade iz geometrijskog aspekta, no donekle i zbog društveno-političkih uvjeta na Sredozemlju koji su postojali u tom razdoblju. D. Abulafia je, za razliku od F. Braudela koji ističe sličnosti mediteranskih naroda tijekom prošlosti, zagovornik izrazite raznolikosti naroda tog područja i smatra da je vladavina Rima bila jedino razdoblje za kojeg je Mediteran bio jedinstvena ekonomska zona. Abulafia, međutim, portulanske karte smatra ostvarenjem židovske kartografije na Mallorci koja je objedinila geografska znanja kršćanskih i islamskih izvora (Abulafia, 2011.: 340, 643, 646).

Politička situacija tijekom srednjeg vijeka je, s druge strane, bila mnogo turbulentnija i stoga razmjerno nepovoljna za provedbu organiziranih lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti kojom bi se s jednakom razinom točnosti obuhvatio prostor Sredozemnog i Crnog mora. Uz isticanje iznimne fragmentiranosti Sredozemlja na brojna kraljevstva i gradove-države, povjesničari pomorstva ističu i netrpeljivosti između kršćanskog i islamskog svijeta te učestalost gusarskih napada (Pryor, 1988.: 135-164)[65].

[65] Praksu gusarenja (franc. *guerre de course*) na Sredozemlju detaljno je prikazao J. H. Pryor u knjizi *Geography, Technology and War: Studies in the Maritime History of the Mediterranean 649–1571* (Pryor, 1988.)

Povijesni nalazi koji eksplicitno potvrđuju povezanost helenističke kartografije i portulanskih karata, međutim, nisu pronađeni. Kao iznimke bi se, uvjetno, mogla istaknuti svjedočenja Al-Masudija iz 10. st. o (navodnom) uvidu u kartu Marina iz Tira (Nordenskiöld , 1897.: 10; Brice, 1977.: 54) i B. Kotruljevića o Klaudiju Ptolemeju kao autoru karte po kojoj su kasnije izrađene pomorske karte i zahvaljujući kojoj pomorci više „ne lutaju" (Kotruljević, 1464. (2005.): 217, 219).

Kotruljević u svojem djelu navodi i metodu po kojoj je moguće odrediti je li pomorska karta točna: *...pogledaj najprije da se od Porto Petra na Mallorci do Aleksandrije, ako se hoće izbjeći hridi i otoke, plovi ravno u smjeru jugoistoka prema istoku* (α=123,75°[66]), *od Venecije do Monopolija u smjeru jugoistoka* (α=135°[67]), *... i premda ovo pravilo ne vrijedi svaki put, ono ipak služi kao opća provjera koju uobičavaju vršiti mornari* (Kotruljević, 1464. (2005.): 221). Na karti u Mercatorovoj projekciji, usmjerenoj prema geografskom sjeveru, kurs Porto Petro – Aleksandrija iznosi oko 110°, a kurs Venecija – Monopoli oko 143°. Prosječni iznos kursa za rutu Venecija – Monopoli na 11 od 12 odabranih portulanskih karata, zbog rotacije prikaza u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, uistinu iznosi 135°, što potvrđuje Kotruljevićev zapis. Iznimku predstavlja prikaz Jadranskog mora na *Pisanskoj karti* na kojem taj kurs iznosi 141°. Njegov zapis o kursu rute Porto Petro – Aleksandrija od 123,75° je, međutim, s obzirom na rotaciju prikaza svojstvenu portulanskim kartama netočan. Naime, S. A. Loomer je izračunao da iznos rotacije prikaza Sredozemnog mora na kartama iznosi od (-8°) do (-10°) (Loomer, 1987.: 150), što znači da kurs Porto Petro – Aleksandrija u tom slučaju iznosi 100°–102°. Taj iznos je bliži kursu 101,25°, tj. četvrtini vjetra *Quarta de levante verso scilocco* (E by S), umjesto četvrtini *Quarta de scilocco verso levante* (SE by E), koju navodi Kotruljević. Njegov podatak o kursu za rutu Porto Petro – Aleksandrija od 123,75° bio bi točan u slučaju da je prikaz na kartama, umjesto u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, zarotiran u smjeru kazaljke na satu. Jedno objašnjenje ove pogreške je da je autor znao da je riječ o kursu *Quarta de levante verso scilocco*, no da je pogreška nastala slučajno, tj. nepažnjom prilikom upisivanja podatka. Drugo objašnjenje je da autor nije posjedovao vlastita znanja o određivanju točnosti karata, već je nekritički i doslovno zapisao ili prepisao netočan podatak koji je prethodno pribavio od drugih osoba ili iz pisanih izvora.

Kotruljevićev podatak o kursu Porto Petro – Aleksandrija zanimljiviji je zbog njegove rezolucije nego zbog pogreške koja je, kako je prethodno rečeno, mogla nastati i slučajno. Kurs je upisan u rezoluciji od četvrtine vjetra, i ako ga se ispravi iz kursa *Quarta de scilocco verso levante* u kurs *Quarta levante verso scilocco*, njegova točnost u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (pri δ od +8° do +10°) je nevjerojatno visoka. Naime, duljina te rute na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=36° (N), M=1, mjerilom prilagođenoj prikazu Sredozemnog

66 Q*uarta de scilocco verso levante*, tj. SE by E

67 *Per schilocho*, tj. SE

mora, iznosi oko 2.570 km. Prema Nicolaijevom modelu točnosti srednjovjekovne plovidbe i modelu izrade portulanske karte na temelju lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti, takvu razinu točnosti za rutu tolike duljine nije bilo moguće postići (Nicolai, 2014.: 159-161). Također, prema Gasparovom prikazu vidljivosti reljefa s mora na Sredozemlju (Gaspar, 2019.: 12), na najvećem dijelu puta izravnom rutom Porto Petro (Mallorca) – Aleksandrija uz pomoć kompasa nije moguće vizirati niti jedan reljefni oblik. Iznimku pritom čini zona sačinjena od sjeverne obale Tunisa te otoka Pantelleria i Malta, pored kojih ta ruta prolazi. Međutim, ta zona je udaljena oko 600 km plovidbe otvorenim morem od Porto Petra kao polazišne točke ili oko 1.500 km plovidbe otvorenim morem ako je polazišna točka rute Aleksandrija.

Pomorsko orijentirani naroda Sredozemlja su, prema postojećim saznanjima, najveći dio povijesti plovidbu organizirali uzduž obala, a plovidba otvorenim morem izbjegavala se zbog opasnosti od nevremena, gusarskih napada, ograničenosti kapaciteta za skladištenje vode i namirnica, kvarljivošću hrane i vode i sl. (Braudel, 1972.: 103-108; Pryor, 1988.: 70, 92, 120; Abulafia, 2011.: XXIX-XXX, 425).

Prema J. H. Pryoru, usporedno s Trećim križarskim ratom (1189.–1192.) na Sredozemlju su nastupile izmjene u brodograđevnim tehnikama izrade jedrenjaka. Tipični mediteranski jedrenjaci prethodno tom razdoblju, imali su obli trup, latinska jedra, a umjesto lista kormila bila su korištena krmena vesla. Od 12. do 14. st. mediteranski brodograditelji uvidjeli su konstrukcijske prednosti koke (engl. *cog*), jedrenjaka tada tipičnog za Sjevernu Europu, s izduljenijim trupom, kvadratnim jedrom i listom kormila. Stapanjem poželjnih konstrukcijskih obilježja tradicionalnoga mediteranskog broda i koke nastalo je tip jedrenjaka zvan karaka (engl. *carrack*) s kombinacijom kvadratnih i latinskih jedara, korišten za prekooceanska putovanja tijekom renesanse, nakon čega je uslijedila izrada velikih galijuna (engl. *galley*), u potpunosti prilagođenih plovidbi otvorenim morem (Pryor, 1988.: 25-44). Pryor smatra da je mogućnost plovidbe otvorenim morem uvjetovana razvojem brodogradnje, a ne izumom kompasa (Pryor, 1988.: 53-54).

C. H. Cotter smatra da su izum i primjena kompasa na Sredozemlju potencirali revoluciju u navigaciji, tako da je *hidrografska izmjera instantno postala utemeljena na znanstvenim osnovama*, izravno rezultiravši izradom portulana i portulanskih karata (Cotter, 1983.: 251-252). U ovom istraživanju je, uz ono Nicolaijevo, ustanovljeno da srednjovjekovna izvornost tih plovidbenih pomagala nije izgledan tijek povijesnih zbivanja, tj. da postojanje portulanskih karata i portulana izrađenih u tom razdoblju samo po sebi nije eksplicitan dokaz prethodno provedene „hidrografske izmjere“. Tumačenje portulana i portulanskih karata kao autentičnih dokaza da su njihovoj izradi prethodile razvijene tehnike mjerenja prilikom plovidbe logična je interpretacija pri proučavanju tih dokumenata deskriptivnim metodama. Kvantitativne metode, međutim, ukazuju na potencijalno suprotan slijed događaja.

Prema D. Herlihyu, kojeg parafrazira F. C. Lane, kraj 13. st. je razdoblje kada pomorske sile Genova i Venecija organiziraju trgovačku plovidbu u hladnijem dijelu godine (Herlihy, D.:

1958., prema Lane 1963.: 613), koju uz napredak u brodograđevnim tehnikama izravno povezuje s pojavom kompasa na Sredozemlju i s pojavom prvih portulanskih karata (Lane, 1963.: 614).

R. Nicolai u svojoj disertaciji navodi istraživanje J. H. Pryora, *A Medieval Maritime Revolution: The Logistics of Crusading by Sea, 1097-1204* iz 2007. g., u kojem je prikazao da se tijekom 12. st. na području kršćanskog dijela Mediterana odvila svojevrsna tehnološka revolucija u pomorstvu. Naime, tijekom Prvog križarskog rata (1095. – 1099.) prijevoz konja na istok organiziran je kopnenim putem, nakon čega je uvedena praksa transporta konja morem. Također, u tom razdoblju Europljani su započeli ploviti i noću, a brzina brodskog prijevoza je učetverostručena u razmjerno kratkom vremenu, što Pryor interpretira kao nagli razvoj pomorskih znanja i vještina (Pryor, 2007., prema Nicolai, 2014.: 412).

Logičan uzročno-posljedični slijed događaja, prihvaćen od brojnih istraživača, kazuje da je napredak u navigaciji potencirao razvoj pomorske kartografije. Međutim, rezultati ovog istraživanja, uz Nicolaijeve rezultate, impliciraju da je slijed događaja, moguće, bio „posljedično-uzročni“. Drugim riječima, ukazuju na to da je iznenadna pojava karata, koja se uvriježeno smatra posljedicom procesa, možda bila uzrok procesa koji je rezultirao napretkom u navigaciji.

8 ZAKLJUČCI

Prethodno završnoj raspravi prikazan je ukupno 21 zaključak. Svaki od tih zaključaka se, premda se dijelom referiraju na rezultate iz njima prethodnih poglavlja, primarno odnose na rezultate pripadajućeg im poglavlja. U završnoj raspravi tematski srodni partikularni zaključci iz svakog od sedam poglavlja povezani su u pregledniju cjelinu čiji je rezultat ukupno manji broj jasnije argumentiranih zaključaka. Zaključci istraživanja podijeljeni su u dvije grupe. Jednu grupu čine zaključci utemeljeni na egzaktnim izračunima točnosti portulanskih karata iz geometrijskog aspekta, ali i iz aspekta točnosti karata prilikom njihove uporabe. Drugu grupu čine zaključci oslonjeni na podatke o točnosti, a koji ukazuju na to da inicijalna izrada portulanskih karata i portulana najvjerojatnije nije izravan produkt objedinjavanja lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti izvršenih tijekom plovidbe u srednjem vijeku.

Prostorni obuhvat istraživanja ograničen je na bazen Jadranskog mora s pripadajućim otočnim i kopnenim reljefom i koji predstavlja jedan od bazena Sredozemnog mora, što je istodobno njegov nedostatak i prednost. Nedostatak razmjerno suženoga prostornog obuhvata je taj što zaključci utemeljeni na rezultatima ovog istraživanja nisu izravno primjenjivi za prikaz ostalih morskih bazena na portulanskim kartama. Prednost odabira Jadranskog mora prostora istraživanja je, osim razmjerno ujednačenog prostornog obuhvata po X-osi i po Y-osi na karti, i tisućljetni kontinuitet poznavanja njegove prostorne konfiguracije u kontekstu navigacije Sredozemljem. Pseudo Skilakov *Periplus* je, bez obzira na upitnu točnost podataka, izravno svjedočanstvo da taj prostor još u razdoblju antike nije bio *terra incognita* već mediteranskim pomorcima tog vremena dobro poznat prostor. S obzirom na standardiziranost kartografike portulanskih karata i njihovu međusobnu sličnost, zaključke istraživanja je hipotetski moguće ekstrapolirati na prikaz preostalih morskih bazena. Međutim, rezultate svakog istraživanja, pa tako i ovog, je prije čvršćeg usvajanja hipoteza potrebno potvrditi ili opovrgnuti egzaktnim i objektivnim znanstveno-istraživačkim metodama. Zbog toga je repliciranje njegove metodologije na prikazu ostalih morskih bazena i na proširenom uzorku portulanskih karata i portulana ne samo poželjan već i nužan slijed događaja.

TOČNOST PRIKAZA JADRANSKOG MORA NA PORTULANSKIM KARTAMA

Točnost prikaza Jadranskog mora na portulanskim kartama je, s obzirom na tehnološke odlike razdoblja u kojem su izrađene najstarije sačuvane karte, iznimna. Apsolutna točnost kartiranja položaja izražena kao *RMSE Re* iznosi 15,7 km, a izražena kao *RMSE dY* (što predstavlja veću pogrešku kartiranja pri razdvajanju na osi u kartezijevom koordinatnom sustavu) iznosi 12,2 km. Apsolutna točnost kartiranja udaljenosti *MAE dL* iznosi 15,8 km, stvarna točnost kartiranja udaljenosti *ME dL* +8,1 km, dok apsolutna točnost kartiranja

azimuta *MAE dα* iznosi 8,7°. Navedene vrijednosti važeće su za kartu u uspravnoj konformnoj cilindričnoj (Mercatorovoj) projekciji φ_0=42,7° kao referentnoj plohi, u odnosu na koju je prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama najtočniji. Prostorni obuhvat Jadranskog mora na takvoj karti iznosi 602 km po X-osi i 646 km po Y-osi (otprilike 625 km × 625 km), što znači da apsolutna pogreška kartiranja položaja *RMSE Re* iznosi 2,5 %, tj. 1,8 % kao *RMSE dY*. Apsolutna pogreška kartiranja udaljenosti iznosi 2,5 %, a stvarna +1,3 %.

Točnost portulanskih karata u kontekstu korištenja karata kao navigacijskih pomagala, uvjetovana je njihovim fizičkim dimenzijama i iznosom magnetske deklinacije u razdoblju njihove izrade. Prikaz Jadranskog mora na kartama iz skupine A ima obuhvat od otprilike 130 mm × 130 mm, dok obuhvat prikaza na kartama iz skupine B iznosi oko 360 mm × 360 mm. Pogreške kartiranja udaljenosti na kartama iz skupine A iznose 3,3 mm (*MAE dL M*) tj. +1,6 mm (*ME dL M*), a na kartama iz skupine B 9,2 mm (*MAE dL M*) tj. +5,3 mm (*ME dL M*). Točnost kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena njihove izrade, *MAE* $d\alpha_{mag}$, ima prosječan iznos od 9,3° (0,09°/km).

Prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama ucrtan je s većom točnošću od rezolucije mjernih instrumenata koji su na karte ucrtani u svrhu očitanja kursa i udaljenosti. Točnost kartiranja azimuta prekomorskih linija u odnosu na smjer magnetskog sjevera iznosi 6,9°, tj. veća je od rezolucije ruže vjetrova s 32 smjera oko 1,6 puta, a za isti iznos veća je i stvarna točnost kartiranja udaljenosti od rezolucije linearnih mjerila. Na temelju linearnih mjerila portulanskih karata te na temelju podataka o udaljenostima u portulanima, izraženih u portulanskim miljama, izračunan je pretpostavljeni iznos portulanske milje između 1,28 km i 1,29 km, a prostorna raspodjela točnosti podataka iz portulana u skladu je s raspodjelom ekvivalentnih podataka na portulanskim kartama. Na temelju rezultata istraživanja potvrđene su obje prethodno postavljene hipoteze.

Prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama temeljen je na nastojanju da se loksodrome na karti prikažu kao ravne crte. Također, portulanske karte su predstavljale korisno navigacijsko pomagalo, prilagođeno usporednoj uporabi kompasa, a prikaz prostora na kartama geometrijski je blizak podacima u portulanima. Međutim, ti su zaključci validni isključivo pod uvjetom da je geometrija karata koje su se koristile na brodovima istovjetna geometriji sačuvanih karata. S obzirom na iznimno visoku točnost prikaza Jadranskog mora neovisno o mjerilu karata i s obzirom na to da je taj prikaz po svoj prilici temeljen na konformnom cilindričnom projiciranju, mogućnost da su brodske karte bile izrađivane s jednakom točnošću i geometrijom kao i sačuvane karte čini se vrlo izglednom.

NISKA VJEROJATNOST INICIJALNOG NASTANKA PORTULANSKIH KARATA U SREDNJEM VIJEKU

Točnost kartiranja položaja po X-osi na portulanskim kartama manja je u odnosu na projekcije na kojima je prikazana konvergencija meridijana. Na prikazu Jadranskog mora na portulanskim kartama meridijani bi, kada bi stupanjska mreža postojala, za jednake stupanjske intervale bili prikazani kao ravne i međusobno paralelne crte, a razmak među paralelama povećavao bi se od juga prema sjeveru. Također, točnost prekomorskih azimuta približno je ujednačena za čitav prikaz Jadranskog mora. Istodobno, stvarne deformacije prikaza duljina u smjeru ekvatora imaju negativan, a u smjeru sjevernog pola pozitivan iznos, odnosno prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama se, u odnosu na prikaz na karti u referentnoj projekciji, „produljuje“ i „proširuje“ promatrano u smjeru od jugoistoka prema sjeverozapadu.

Na gotovo svim odabranim portulanskim kartama, neovisno o njihovom mjerilu i godini izrade, točnost prikaza Jadranskog mora je u odnosu na kartu u referentnoj projekciji približno jednakog iznosa. Iznimku predstavlja prikaz na *Pisanskoj karti* s kraja 13. st., koji nema rotaciju prikaza u smjeru obrnutom od kazaljke na satu svojstvenu kasnijim kartama i od kojih se geometrijski donekle razlikuje. Ujednačena točnost karata bez obzira na mjerilo odražava se na njihovu upotrjebljivost tako da su karte krupnijeg mjerila, izraženo u milimetrima pogreške na karti, zapravo manje točne od karata sitnijeg mjerila, čak i u slučajevima kada je autor dviju karata različitog mjerila ista osoba. Zaključak izveden iz tih rezultata glasi da su novije portulanske karte kopije starijih portulanskih karata te da su karte na kojima je Jadransko more prikazano u krupnijem mjerilu iz geometrijskog aspekta uvećana kopija prethodnih karata sitnijeg mjerila.

Usmjerenost prikaza Jadranskog mora na *Pisanskoj karti* prema geografskom sjeveru, kao i veća točnost kursova iz portulana *Liber de Existencia Riveriarum*, izrađenog početkom 13. st., u odnosu na geografski sjever upućuje na mogućnost izvorne orijentacije portulanskih karata prema geografskom sjeveru. Orijentacija prikaza najusklađenija je sa smjerom magnetskog sjevera na prikazu Jadranskog mora na karti iz *Katalonskog atlasa* iz druge polovice 14. st., na kojem se ujedno nalazi i najstariji poznati crtež kompasne ruže na portulanskim kartama. Iznos rotacije prikaza u smjeru obrnutom od kazaljke na satu na kasnijim kartama sličan je iznosu rotacije prikaza na karti iz *Katalonskog atlasa*. U razdoblju izrade novijih karata postojao je trend pada iznosa magnetske deklinacije istočnog smjera, uslijed čega je njihova točnost u odnosu na smjer magnetskog sjevera manja. Također, na temelju analize pogrešaka kartiranja azimuta u odnosu na smjer magnetskog i na smjer geografskog sjevera ustanovljeno je postojanje lokalnih koncentracija azimuta koji su na čitavom uzorku karata ucrtani s većom točnošću u odnosu na geografski sjever.

Podaci o kursovima i udaljenostima navedeni u portulanima geometrijski su slični ekvivalentnim podacima ucrtanim na portulanskim kartama. Varijabilnost podataka o iznosu

portulanske milje te točnost podataka o udaljenostima za prekomorske rute iz portulana i njihova varijabilnost najmanje su u odnosu na portulanske karte, a najveća u odnosu na referentnu kosu gnomonsku projekciju, konstruiranu sa središtem u središtu bazena Jadranskog mora. Na toj projekciji prikazana je konvergencija meridijana, a prikaz duljina je za prostorni obuhvat Jadranskog mora razmjerno malo deformiran. Drugim riječima, podaci o udaljenostima iz portulana „projicirani" su na jednak način kao i njihovi ekvivalenti na portulanskim kartama. Podaci o prekomorskim rutama iz portulana točniji su od podataka o obalnim rutama, a njihova točnost veća je u odnosu na geometriju portulanskih karata nego u odnosu na geometriju karata u referentnim projekcijama. Iznos portulanske milje obalnih ruta u odnosu na kartu u referentnoj projekciji izrazito je varijabilan, a varijabilnost iznosa je veća za kraće obalne rute. Za razliku od njih, varijabilnost iznosa portulanske milje prekomorskih ruta s obzirom na njihovu duljinu (koja je veća od duljine obalnih ruta) je manja. Također, točnost podataka o kursu obalnih ruta manja je od točnosti kursa prekomorskih ruta, uz prisutan trend pada točnosti sa smanjenjem njihove duljine, koji je za prekomorske rute neznatan. Na temelju tih podataka zaključeno je da oni nisu generirani autentičnim mjerenjima kursa i udaljenosti provedenih tijekom plovidbe, već da je riječ o izravnom transferu podataka s portulanskih karata na portulane. Hipotezu o izravnom transferu podataka potkrjepljuje i manja točnost kursa prekomorskih ruta kojima je jedna ili obje krajnje točke neki od otoka, dok su prekomorske rute između točaka na obali kopna točnije u odnosu na geometriju portulanskih karata nego u odnosu na geometriju karte u referentnoj projekciji.

Pučinski otoci srednjeg Jadrana spomenuti su u svim odabranim portulanima i prikazani na svim odabranim kartama i njihova plovidbena važnost u razdoblju izrade portulanskih karata je neupitna. Ustanovljeno je da lokalna povećanja mjerila prikaza tih otoka na kartama nisu u skladu s njihovim stvarnim dimenzijama, već da su, najvjerojatnije, produkt subjektivne interpretacije njihove plovidbene važnosti. Pučinski otoci srednjeg Jadrana su na portulanskim kartama ucrtani i s razmjerno niskom točnošću kartiranja azimuta, koja nije u skladu s vidljivosti kopnenog i otočnog reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale. Azimuti prekomorskih linija, kojima iz jedne krajnje točke nije moguće vizirati nasuprotnu krajnju točku, su na portulanskim kartama ucrtani točnije od azimuta obalnih linija i od azimuta otočnih linija srednjeg Jadrana, koje su kraće i kod kojih postoji mnogo veća mogućnost izravnog viziranja odredišnih točaka. Podaci proizašli iz analize vidljivost reljefa s mora stoga demantiraju mogućnost da je prikaz Jadranskog mora na portulanskim kartama i u portulanima inicijalno nastao objedinjavanjem brojnih lokalnih mjerenja kursa i udaljenosti.

Kartografska projekcija općenito nije bila obilježje *mappamundi*, neposrednih kartografskih prethodnika portulanskih karata, a metoda prikaza loksodroma kao ravnih crta na karti je, koliko je poznato, osmišljena nekoliko stoljeća nakon izrade najstarijih poznatih portulanskih karata. Neusklađenost točnosti karata na regionalnoj razini i podataka u

portulanima s vidljivošću reljefa s mora također ne ide u prilog uvriježenom mišljenju da je njihovoj inicijalnoj izradi prethodilo objedinjavanje lokanih mjerenja kursa i udaljenosti provedenih u plovidbi. Također, postoji opravdana mogućnost da su karte koje su prethodile izradi portulanskih karata, ako su takve karte postojale, bile orijentirane u smjeru geografskog, a ne magnetskog sjevera. Na temelju prikazanih rezultata istraživanja formirana je sljedeća (zaključna) hipoteza.

Portulanske karte najvjerojatnije nisu izvorni srednjovjekovni kartografski proizvod. Autori su sačuvane karte izrađivali kopiranjem ranijih karata i najvjerojatnije nisu bili svjesni razine njihove točnosti te nisu poznavali metodu po kojoj su izvorno bile izrađene.

Helenistička kartografija, iz aspekta egzaktnosti prikaza i geometrije bazirane na definiranoj matematičkoj osnovi izrade karte predstavlja najlogičniju prethodnicu portulanskih karata. Međutim, prema poznatim informacijama o kartografiji tog razdoblja ne postoje saznanja da je metoda konformnog cilindričnog projiciranja bila poznata u antici. Također, karte iz tog razdoblja sadrže stupanjsku mrežu i podaci su bili ucrtavani na temelju njihovih sfernih koordinata. Na povezanost portulanskih karata i helenističke kartografije upućuje nepostojanje prikaza konvergencije meridijana te izračunana potencijalna valjanost linearnih mjerila na tim kartama uzduž paralele $\varphi=36°$ N. Naime, riječ je o parametrima koje je u 1. st. za izradu karata u uspravnoj ekvidistantnoj projekciji, prema Klaudiju Ptolemeju, koristio Marin iz Tira.

Rezultati ovog istraživanja ne mogu ponuditi prijedlog potencijalne metodologije izrade portulanskih karata, već samo ukazati po kojoj metodologiji najvjerojatnije nisu izrađene. Stoji li u pozadini izrade karata na temelju kojih su izrađene srednjovjekovne portulanske karte možda terestrička izmjera, ili pak izmjera utemeljena na sfernim koordinatama točaka, na temelju ovog istraživanja nije moguće utvrditi, kao ni je li na tim kartama umjesto ruža vjetrova prethodno bila ucrtana stupanjska mreža. Također, nije moguće utvrditi ni način na koji su se te karte pojavile na jugu Europe. Je li riječ o pronalasku koji se zbio na prostoru Bliskog istoka između Prvog i Trećeg križarskog rata i predstavlja li možda taj pronalazak artefakte helenističke kartografije baštinjene od strane židovskih zajednica ostaje za potvrditi ili opovrgnuti historiografskim istraživanjima. Očuvanje helenističke kartografije kroz srednji vijek nije nepoznat pojam. Primjerice, opus Klaudija Ptolemeja koji je baštinjen stoljećima u Bizantu je u zapadnoj Europi postao poznat i dostupan tek tijekom renesanse. Međutim, do otkrića povijesnih dokaza koji eksplicitno potvrđuju povezanost portulanskih karata i helenističke ili neke druge ranije kartografije, zaključci o njihovom potencijalnom nastanku s obzirom na trenutna znanstveno-istraživačka dostignuća, uključujući i zaključke proizašle iz ovog istraživanja, i dalje ostaju na razini više ili manje utemeljenih hipoteza.

9 LITERATURA I IZVORI

9.1 LITERATURA

ABULAFIA, D. (2011.): *The Great Sea: A Human History of the Mediterranean*, Oxford University Press, Oxford, New York, pp. 816

ALEGRIA F. M., DAVEAU, S., GARCIA, J. C. i RELAÑO, F. (2007.): Portuguese Cartography in the Renaissance, u: *The History of Cartography, Volume 3, Part 1 – Cartography in the European Renaissanc*e, ur.: D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 975-1068

AMIENTI, P. i VENGER, A. M. (2018.): A Middle Age Qibla Finder and the secret code of Portolan maps, *Journal of Cultural Heritage*, 29, pp. 137-144

ASTENGO, C. (2007.): The Renaissance Chart Tradition in the Mediterranean, u: *The History of Cartography, Volume 3, Part 1 – Cartography in the European Renaissanc*e, ur.: D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 174-262

BARNETT, C. (2017.): Promišljanja o identitetu, etnicitetu i „helenizaciji" predrimske Liburnije, *Miscellanea Hadriatica et Mediterranea*, 3 (1), pp. 63-98

BEAZLEY, C. R. (1895.): *Prince Henry the Navigator, Hero of Portugal and of Modern Discovery, 1394-1460 A.D.*, The Knickerbocker Press, New York i London, pp. 336

BEAZLEY, C. R. (1904.): The First True Maps, *Nature*, 71 (1883), pp. 159-161

BEVINGTON, P. R. i ROBINSON, D. K. (2003.): *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, 3rd edition, McGraw-Hill, New York, pp. 320

BOUTOURA, C. (2006.): Assigning map projections to portolan maps, *e-Perimetron*, 1 (1), pp. 40-50

BRAUDEL, F. (1972.): *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II*, Volume One, prijevod na engleski: S. Reynolds, Harper & Row, New York, pp. 642

BREGGREN, J. L. i JONES, A. (2000.): *Ptolemy's Geography: an Annotated Translation of the Theoretical Chapters*, Princeton University Press, Princeton and Qxford, pp. 192

BRICE, W. (1977.): Early Muslim sea-charts, *Journal of the Royal Asiatic Society of Great Britain & Ireland*, 109 (1), pp. 53-61

BRUNNER, F. K. (1984.): *Geodetic refraction. Effects of electromagnetic wave propagation through the atmosphere*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 213

BRUSIĆ, Z. (1970.): Problemi plovidbe Jadranom u prethistoriji i antici, *Pomorski zbornik*, 8, Zadar, pp. 549-568

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM) (2006.): *Le Système international d'unités / The International System of Units* (SI), 8th edition , Paris, pp. 186

CAMPBELL, T. (1986.): Census of pre-sixteenth-century portolan charts, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 38 (1) pp. 67-94

CAMPBELL, T. (1987.): Portolan Charts from the Late Thirteenth Century to 1500, u: *The History of Cartography, Volume 1 – Cartography in Prehistoric, Ancient and Medieval Europe and the Mediterranean*, ur.: J. B. Harley i D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 371-463

CARDARELLI, F. (1999.): *Scientific Unit Conversion: A Practical Guide to Metrication*, Springer-Verlag Limited, London, pp. 488

CLOS-ARCEDUC, A. (1956.): L'Énigme des Portulans: Étude sur la Projection et le Mode de Construction des Cartes à Rumbs du XIVe et XVe Siècle, *Bulletin du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques: Section de Géographie*, 69, pp. 215-231

COTTER, C. H. (1980.): A Brief History of Sailing Directions, *The Journal of Navigation*, 33 (3), pp. 418-429

COURTILLOT, V. i LE MOUËL J. L. (2007.): The study of Earth's magnetism (1269–1950): A foundation by Peregrinus and subsequent development of geomagnetism and paleomagnetism, *Reviews of Geophysics,* 45 RG3008, pp. 31

CRLJENKO, I. (2017.): Metoda klasifikacije u istraživanjima egzonima, *Hrvatski geografski glasnik*, 79 (1), pp. 81-106

CRONE, G. R: (1953.): *Maps and their Makers, An Introduction to the History of Cartography*, Hutchinson's University Library, Hutchinson House, London, pp. 181

D'AVEZAC, M. (1863.): Projection des Cartes de Géographie, *Bulletin de la Société de géographie*, 1863/01–1863/06, Société de géographie, Paris, pp. 257-361

DILKE, O. A. W. (1987.): The Culmination of Greek Cartography in Ptolemy, u: *The History of Cartography, Volume 1 – Cartography in Prehistoric, Ancient and Medieval Europe and the Mediterranean*, ur.: J. B. Harley i D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 177-200

DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA REPUBLIKE HRVATSKE (DGU) (2013.): *Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske – HTRS96/TM*, DGU, Zagreb, pp. 94

DUKEN, A. J. (1988.): Reconstruction of the Portolan chart of G. Carignano (c. 1310), *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 40 (1), pp. 86-95

DUPLANČIĆ LEDER, T., UJEVIĆ, T., ČALA, M. (2004.): Duljine obalne crte i površine otoka na hrvatskom dijelu Jadranskog mora određene s topografskih karata mjerila 1: 25 000, *Geoadria*, 9 (1), pp. 5-32.

FARIČIĆ, J. (2010.): Otoci Ist i Škarda na starim kartama – mali otoci u „velikoj" geografiji Jadrana i Sredozemlja, u: *Otoci Ist i Škarda*, ur.: J. Faričić, Sveučilište u Zadru, Zavod za prostorno uređenje Zadarske županije, Matica hrvatska – Ogranak u Zadar i Hrvatsko geografsko društvo – Zadar, Zadar, pp. 347-394

FARIČIĆ, J. (2013.a): Silba na starim geografskim i pomorskim kartama, u: *Otok Silba*, ur.: J. Mužinić i J. J. Purger, Sveučilište u Zadru, Zadar, pp. 143-164

FARIČIĆ, J. (2013.b): Geografska imena Kornata na starim kartama, u: *Toponimija Kornatskog otočja*, ur.: V. Skračić, Biblioteka Onomastica Adriatica, Centar za onomastička istraživanja, Sveučilište u Zadru, Zadar, pp. 341-437

FARIČIĆ, J. (2013.c): Stari kartografski izvori geografskih podataka o Velom Ratu, u: *Veli Rat*, ur. A. Uglešić i J. Faričić, Sveučilište u Zadru, Zadar, pp. 201-243

FARIČIĆ, J. (2014.): The Significance of the Croatian Coastline in the Network of European Pilgrim Routes, u: *Pilgrimage and Sacred Places in Southeast Europe: History, Religious – Tourism and Contemporary Trends*, ur.: M. Katić, T. Klarin i M. McDonald, Lit Verlag, Berlin, pp. 25-47

FARIČIĆ, J. (2015.): Dolasci sv. Franje Asiškog na hrvatsku obalu u kontekstu pomorsko-geografskog sustava Jadrana, *Kačić*, 46-47 (2014.-2015.), pp. 67-90

FERNÁNDEZ-ARMESTO, F. (2007.): Maps and Exploration in the Sixteenth and Early Seventeenth Centuries, u: *The History of Cartography, Volume 3, Part 1 – Cartography in the European Renaissance*, ur.: D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 738-770

FISCHER, T. (1896.): *Sammlung mittelalterlicher Welt-und Seekarten italienischen Ursprungs und aus italienischen Bibliotheken und Archiven*, Ferdinand Ongania, Venecija, pp. 254

FRANCE, F. G., WILSON, M. A., GHEZ, A. (2017.): Spectral Imaging of Portolan Charts, *Proceedings of the International Cartographic Association*, 1, 2017, pp. 1-7

FREIESLEBEN, H. C. (1983): The Still Undiscovered Origin of Portolan Charts, *Journal of Navigation*, 36 (1), pp. 124-129

GASPAR, J. A. (2007.): The Myth of the Square Chart, *e-Perimetron*, 2 (2), pp. 66-79

GASPAR, J. A. (2008.): Dead reckoning and magnetic declination: unveiling the mystery of portolan charts, *e-Perimetron*, 3 (4), pp. 191-203

GASPAR, J. A. (2010.): *From the Portolan Chart of the Mediterranean to the Latitude Chart of the Atlantic: Cartometric Analysis and Modelling*, doktorska disertacija, Universidade Nova de Lisboa, Lisabon, pp. 249

GASPAR, J. A. (2013.): From the portolan chart to the latitude Chart, *Bulletin 216: (2013-6) Nautical Charts: from one technique to one culture*, Comité français de cartographie, pp. 67-77

GASPAR, J. A. i LEITÃO, H. (2014.): Globes, Rhumb Tables, and the Pre-History of the Mercator Projection, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 66 (2), pp. 180-195

GASPAR, J. A. (2019.): The Liber de existencia riveriarum (c.1200) and the Birth of Nautical Cartography, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 71 (1), pp. 1-21

GAUTIER DALCHÉ, P. (1995.): *Carte marine et portulan au XIIe siècle: Le 'Liber de existencia riveriarum at forma maris nostri mediterranei (Pise, circa 1200)*, École française de Rome, Rim, pp. 308

GAUTIER DALCHÉ, P. (2002.): Portulans and the Byzantine World, u: *Travel in the Byzantine World*, ur.: R. Macrides, Society for the Promotion of Byzantine Studies, Ashgate Varriorum, Burlington, pp. 59-73

GHILANI, C. D. i WOLF, P. R. (2006.): *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*, 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 611

GLUŠČEVIĆ, S. (1994): Brodolomi i brodarenje na istočnoj obali Jadrana od prapovijesti do 19. stoljeća, *Kaštelanski zbornik*, 4, Kaštela, pp. 25-58

HAPGOOD, C. H. (1966.): *Maps of the Ancient Sea Kings. Evidence of Advanced Civilization in the Ice Age*, E. P. Dutton, New York, pp. 276

HARLEY, J. B. (1987.): The Map and the Development of the History of Cartography, u: *The History of Cartography, Volume 1 – Cartography in Prehistoric, Ancient and Medieval Europe and the Mediterranean*, ur.: J. B. Harley i D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 1-42

HIRT, C., GUILLAUME, S., WISBAR, A., BÜRKI, B. i STERNBERG, H. (2010.): Monitoring of the refraction coefficient of the lower atmosphere using a controlled set-up of simultaneous reciprocal vertical angle measurements, *Journal of Geophysical Research* (JGR) 115, pp. 20

HRVATSKI HIDROGRAFSKI INSTITUT (HHI) (2013.): *Katalog pomorskih karata i nautičkih publikacija*, HHI, Split, pp. 56

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO) (1953.): *Limits of Oceans and Seas*, Special publication No 23, 3rd Edition, IMP, Monégasque, Monte-Carlo, pp. 42

JENNY, B. i HURNI, L. (2011.): Studying Cartographic Heritage: Analysis and Visualization of Geometric Distortions, *Computers & Graphics* 35, pp. 402–411

KELLEY, Jr., J. E. (1979.): Non-Mediterranean influences that shaped the Atlantic in the early Portolan charts, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 31 (1), pp. 18-35

KELLEY, J. E. (1983.): In the Wake of Columbus on a Portolan Chart, *Terrae Incognitae*, 15 (1), pp. 77-111

KELLEY, Jr., J. E. (1995.): Perspectives on the Origins and Uses of Portolan Charts, *Cartographica*, 3 (3), pp. 1-16

KEUNING, J. (1955.): The history of geographical map projections until 1600: *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 12, pp. 1-24

KORTE, M. i CONSTABLE, C. (2003.): Continuous global geomagnetic field models for the past 3000 years, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 140, pp. 73–89

KORTE, M. i CONSTABLE, C. (2005.): Continuous Geomagnetic Field Models for the Past 7 Millennia II: CALS7K, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G3)*, 6, pp. 1-18

KORTE, M. i CONSTABLE, C. (2011.): Improving geomagnetic field reconstructions for 0–3 ka, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 188, pp. 247–259

KOTRULJEVIĆ, B. (1464.): *De Navigatione / O Plovidbi*, ur.: D. Salopek, prijevod na hrvatski: D. Salopek, Hrvatska književna baština, posebna izdanja, Ex Libris, Zagreb, pp. 271

KOZLIČIĆ, M. (1995): *Kartografski spomenici hrvatskog Jadrana*, AGM, Zagreb, pp. 390

KOZLIČIĆ, M., FARIČIĆ, J. (2004.): The Significance of Sv. Andrija Island (Svetac) on a Sailing Route across the Adriatic Presented on Old Geographical Maps, *Geoadria*, 9 (1), pp. 33-49

KOZLIČIĆ, M. (2006.): *Istočni Jadran u djelu Beautemps-Beaupréa*, Hrvatski hidrografski institut, Zagreb, pp. 496

KRETSCHMER, K. (1909.): *Die italienischen Portolane des Mittelalters. Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie und Nautik*, Veröffentlichen des Instituts für Meereskunde und des geographischen Instituts an der Universität Berlin, pp. 688

KREUTZ, B. M. (1973.): Mediterranean Contributions to the Medieval Mariner's Compass, *Technology and Culture*, 14 (3), pp. 367-383

LAGO, L. (1998.): *Stare karte Jadrana*, Histria Croatica, C.A.S.H, Pula, pp. 192

LANE, F. C. (1963.): The Economic Meaning of the Invention of the Compass, *The American Historical Review*, 68 (3), pp. 605-617

LANE, F. C. (1973.): *Venice, A Maritime Republic*, Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, pp. 505

LANMAN, J. T. (1987.): *On the Origin of Portolan Charts*, The Hermon Dunlap Smith Center for the History of Cartography, Occasional Publication No. 2, The Newberry Library, Chicago, pp. 56

LIVIERATOS E. i BOUTOURA C. (2018.): Carte Pisane and its coastline shape, *e-Perimetron*, 13 (3), pp. 161-181

LLULL, R. (LVLLII, RAYMVNDI) (1295.–96.): *Arbor Scientiae*, tiskana 1515. g., In inclyta vrbe Lugdun., Opera Gilberti de Villiers, impensis vero magistri Guilhelmi Huyon & Constantini Fradin ibidem commorantes, pp. 717

LOOMER, S. A. (1987.): *A Cartometric Analysis of Portolan Charts: a Search for Methodology*, doktorska disertacija, The University of Wisconsin, Madison, pp. 235

LUŠIĆ, Z., KOS, S., KRILE, S. (2008.): Strukturna analiza metoda pozicioniranja na moru, *Naše more*, 55 (1-2), pp. 3-17

MARABINI, F. (1997.): The Po River Delta Evolution, *Geo-Eco-Marina*, 2/1997, pp. 47-55

MARKOVIĆ, M. (1993.): *Descriptio Croatiae: hrvatske zemlje na geografskim kartama od najstarijih vremena do pojave topografskih karata*, Naprijed, Zagreb, pp. 371

MATKOVIĆ, P. (1862.): Alte handschriftliche Schifferkarten in den Bibliotheken zu Venedig, *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Wien*, F. B. Geitler, Beč, pp. 79-107

MILLE, J. i FERMON, P. (2017.): A Recently Discovered Portolan Chart. Maybe One of the Oldest Extant? The Avignon chart, *Maps in History*, Newsletter No. 59, pp. 19-25

MODENOV, P. S. i PARKHOMENKO, A. S. (1965.): *Geometric transformations*, prijevod na engleski: Michael B. P. Slater, Academic Press, New York, London, pp. 160

MONMONIER, M. (2004.): *Rhumb Lines and Map Wars: A Social History of the Mercator Projection*, The University of Chicago Press, Chicago and London, pp. 242

MORITZ, H. (2000.): Geodetic Reference System 1980, *Journal of Geodesy*, 74 (1), pp. 128-133

MOTZO, B. R. (1947.): *Il Compasso da Navigare, opera italiana della metà del secolo XIII*, Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia della Università di Cagliari, Cagliari 8, pp. 137

NICOLAI, R. (2014.): *A Critical Review of the Hypothesis of a Medieval Origin for Portolan Charts*, doktorska disertacija, Universiteit Utrecht, Utrecht, pp. 483

NICOLAI, R. (2015.): The Premedieval Origin of Portolan Charts: New Geodetic Evidence, *ISIS*, 106 (3), pp. 517-543

NICOLAI, R. (2016.): *The Enigma of Portolan Charts – a Geodetic Analysis of the Hypothesis of a Medieval Origin*, Brill-Leiden, Boston, pp. 484

NORDENSKIÖLD, A. E. (1897.): *Periplus: An Essay on the Early History of Charts and Sailing-Directions*, prijevod na engleski: Francis A. Bather, P. A. Norstedt & Söner, Stockholm, pp. 208 (+ 60 tabli)

NOVAK, D., LAPAINE, M., MLINARIĆ, D. (2005): *Pet stoljeća geografskih i pomorskih karata Hrvatske*, Školska knjiga, Zagreb, pp. 467

PELHAM, P. T. (1980.): *The Portolan Charts: Their Construction and Use in the Light of Contemporary Techniques of Marine Survey and Navigation*, magistarski rad, Victoria University of Manchester, Manchester, pp. 218

PRYOR, J. H. (1988.): *Geography, Technology and War: Studies in the Maritime History of the Mediterranean 649–1571*, Cambridge University Press, New York, pp. 238

PUJADES I BATALLER, R. J. (2007.): *Les cartes portolanes: la representació medieval d'una mar solcada*, prijevod na engleski: Richard Rees, Lunwerg Editores, Barcelona, pp. 526

PUJADES I BATALLER, R. J. (2013.): The Pisana Chart: Really a Primitive Portolan Chart Made in the Thirteenth Century?, *Bulletin du Comité Français de Cartographie (CFC)*, 216 (6), pp. 17–32

SLUKAN ALTIĆ, M. (2003.): *Povijesna kartografija: kartografski izvori u povijesnim znanostima*, Meridijani, Samobor, pp. 495

SMITH, P. J. (1968.): Pre-Gilbertian Conceptions of Terrestrial Magnetism, *Tectonophysics*, 6 (6), pp. 499-510

SMITH, P. J. (1970.): Petrus Peregrinus' EPISTOLA: The Beginnings of Experimental Studies of Magnetism in Europe, *Earth-Science Reviews/Atlas*, Elsevier Publishing Company, Netherlands, pp. 11-17

SNYDER, J. P. i VOXLAND, P. M. (1989.): *An Album of Map Projections*, U.S. Geological Survey (USGS) Professional Paper 1453, USGS Federal Center, Denver, pp. 247

SNYDER, J. P. (1993.): *Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections*, The University of Chicago Press, Chicago i London, pp. 365

SÖLVER, C. V., MARCUS, G. J. (1958.): Dead Reckoning and the Ocean Voyages if the Past, *The Mariner's Mirror*, 44 (1), pp. 18-34

SOUCEK, S. (1994.): Islamic Charting in the Mediterranean, *The History of Cartography, Volume 2, Book 1 – Cartography in the Traditional Islamic and South Asian Societies*, ur.: J. B. Harley i D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 263-292

STEVENSON, E. L. (1911.): *Portolan Charts – Their Origin and Characteristics with a Descriptive List of Those Belonging to The Hispanic Society of America*, Publications of The Hispanic Society of America, No. 82, The Knickerbocker Press, New York, pp. 76

SUIĆ, M. (1955.): Istočna jadranska obala u Pseudo Skilakovu Periplu, *RAD*, Knjiga 6. (1955), Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, pp. 121-185

ŠENOA, M. (1950.): Prilog poznavanju starih naziva naših otoka, *Geografski glasnik*, br. 11-12, pp. 75-82

ŠEŠELJ, L. (2009.): *Promunturium Diomedis: svetište na rtu Ploča i jadranska pomorska trgovina u helenističkom razdoblju*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zadru, pp. 688

TAYLOR, E. G. R. (1948.): The Sailor in the Middle Ages, *Journal of Navigation*, 1 (3), pp. 191-196

TAYLOR, E. G. R. (1950.): Five Centuries of Dead Reckoning, *Journal of Navigation*, 3 (3), pp. 280-285

TAYLOR, E. G. R. (1951.a): The Oldest Mediterranean Pilot, *Journal of Navigation*, 4 (1), pp. 81-85

TAYLOR, E. G. R. (1951.b): Early Charts and the Origin of the Compass Rose, *Journal of Navigation*, 4 (4), pp. 351-356

TAYLOR, E. G. R. (1957.): *The Heaven-finding Art: A History of Navigation from Odysseus to Captain Cook*, Abelard-Schuman Limited, New York, pp. 295

TOALDO, G. (1782.): *Saggi di studj Veneti*, Per Gaspare Storti, Venecija, pp. 61

TOBLER, W. (1966.): Medieval distortions: the Projections of Ancient Maps, *Annual of the Accociation of American Cartographers*, 56, pp. 351-361

TOBLER, W. (1970.): A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46, pp. 234-240

TOBLER, W. (1977.): Numerical Approaches to Map Projections, *Studies in Theoretical Cartography*, ur.: E. Kretschmer, Deuticke, Beč, pp. 51-64

TOBLER, W. (1987.): *Measuring Spatial Resolution*, Proceedings, Land Resources Information Systems Conference, Beijing, pp. 12-16

TURNBULL, D. (1996.): Cartography and science in early modern Europe: Mapping the construction of knowledge spaces, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 48 (1), pp. 5-24

UHDEN, R. (1935.): Die antiken Grundlagen der mittelalterlichen Seekarten, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 1 (1), pp. 1-19

UREDNICI (HARLEY, J. B., WOODWARD, D.) prema materijalima od AUJAC, G. (1987.): The Growth of an Empirical Cartography in Hellenistic Greece, u: *The History of Cartography, Volume 1 – Cartography in Prehistoric, Ancient and Medieval Europe and the Mediterranean*, ur.: J. B. Harley i D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 148-160

WAGNER, H. (1896.): The Origin of the Mediaeval Italian Nautical Charts, *Report of the Sixth International Geographical Congress, London: Royal Geographical Society*, 1896, 695-705, reprint u: *Acta Cartographica*, Vol. V/1969, Theartvm Orbis Terrarvm ltd., Amsterdam (1969.): pp. 476-485

WELTY LEFEVER, D. (1926.): Measuring Geographic Concentration by Means of the Standard Deviational Ellipse, *American Journal of Sociology*, 32 (1), pp. 88-94

WILKES, J. (1992.): *The Illyrians*, Blackwell Publishers Inc., Cambridge, Massachusetts, pp. 351

WINTER, H. (1948.): The True Position of Hermann Wagner in the Controversy of the Compass Chart, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 5 (1), pp. 21-26

WINTER, H. (1956.): The Origin of the Sea Chart, *Imago Mundi: The International Journal for the History of Cartography*, 13 (1), pp. 39-44

WOODWARD, D. (1987.): Medieval Mappaemundi, u: *The History of Cartography, Volume 1 – Cartography in Prehistoric, Ancient and Medieval Europe and the Mediterranean*, ur.: J. B. Harley i D. Woodward, University of Chicago Press, Chicago, pp. 286-370

9.2 IZVORI PORTULANSKIH KARATA

K1: *Bibliothèque nationale de France*, département Cartes et plans, GE B-1118 (RES)

K2: *Österreichische Nationalbibliothek*, ANL/Vienna, HAN Cod. 594, fol. 10v-11r

K3: *Bibliothèque nationale de France*, Département des Manuscrits, Espagnol 30

K4: *Biblioteca Nazionale Marciana*, Venezia, Ms. It. Z, 76 (=4783), Tav. 1, Tav. 4

K5: *Bibliothèque nationale de France*, département Cartes et plans, CPL GE DD-2779 (RES)

K6: *Bibliothèque nationale de France*, Département des manuscrits, Italien 1698

K7a: *Rare Book & Manuscript Library*, University of Pennsylvania, LJS 28

K7b: *Rare Book & Manuscript Library*, University of Pennsylvania, LJS 28

K8a: *Hrvatski državni arhiv*, D–XIV–6

K8b: *Hrvatski državni arhiv*, D–XIV–6

K9a: *National Library of Finland*, The A. E. Nordenskiöld Map Collection's maps before year 1800, N_Kt_103b

K9b: *National Library of Finland*, The A. E. Nordenskiöld Map Collection's maps before year 1800, N_Kt_103c

9.3 IZVORI PORTULANA

Po1: GAUTIER DALCHÉ, P. (1995.): *Carte marine et portulan au XIIe siècle: Le 'Liber de existencia riveriarum at forma maris nostri mediterranei (Pise, circa 1200)*, École française de Rome, Rim, pp. 149-156

Po2: MOTZO, B. R. (1947.): *Il Compasso da Navigare, opera italiana della metà del secolo XIII*, Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia della Università di Cagliari, Cagliari 8, pp. 26-32, 81

Po3: KRETSCHMER, K. (1909.): *Die italienischen Portolane des Mittelalters: Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie und Nautik*, Mittler und Sohn, Berlin, pp. 248-249

Po4: KRETSCHMER, K. (1909.): *Die italienischen Portolane des Mittelalters: Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie und Nautik*, Mittler und Sohn, Berlin, pp. 310-314

Po5: KRETSCHMER, K. (1909.): *Die italienischen Portolane des Mittelalters: Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie und Nautik*, Mittler und Sohn, Berlin, pp. 493-504

9.4 IZVORI REFERENTNIH PODATAKA

SHP: Referentna vektorska karta (engl. *shapefile*) obalne crte bazena Sredozemnog i Crnog mora kompozit je vektorskih kartografskih prikaza obalne crte pojedinih morskih bazena s granicama određenim prema publikaciji IHO iz 1953: *Limits of Oceans & Seas*, Special Publication No. 23 - Flanders Marine Institute (2017.), izvorno izrađen od strane *Flanders Marine Data and Information Centre*-a.

Claus S., De Hauwere N., Vanhoorne B., Souza Dias F., Oset García P., Schepers L., Hernandez F., and Mees J. (Flanders Marine Institute) (2017.). MarineRegions.org.

Preuzeto s: http://www.marineregions.org/downloads, 20. listopada 2017.

DEM: Digitalni model visina (engl. *Digital Elevation Model*) *EU-DEM* – referentna rasterska podloga s podacima o nadmorskim visinama za dio južne i jugoistočne Europe (segmenti: E40N10, E40N20, E50N10, i E50N20), s izvornom prostornom rezolucijom od 25m, koja je za potrebe rada naknadno reducirana na 500m.

Preuzeto s: https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1, 26. veljače 2018.

GMAG: Model rekonstrukcije globalnog geomagnetskog polja (engl. *global geomagnetic field reconstruction model*) *CALS3K.4* (Korte i Constable, 2011.).

Vrijednosti geomagnetskog polja sa središtem u φ=42° N i λ=16° E preuzete su s: http://geomagia.gfz-potsdam.de, baza podataka GEOMAGIA50.v3.2, 15. studenog 2019.

10 PRILOZI

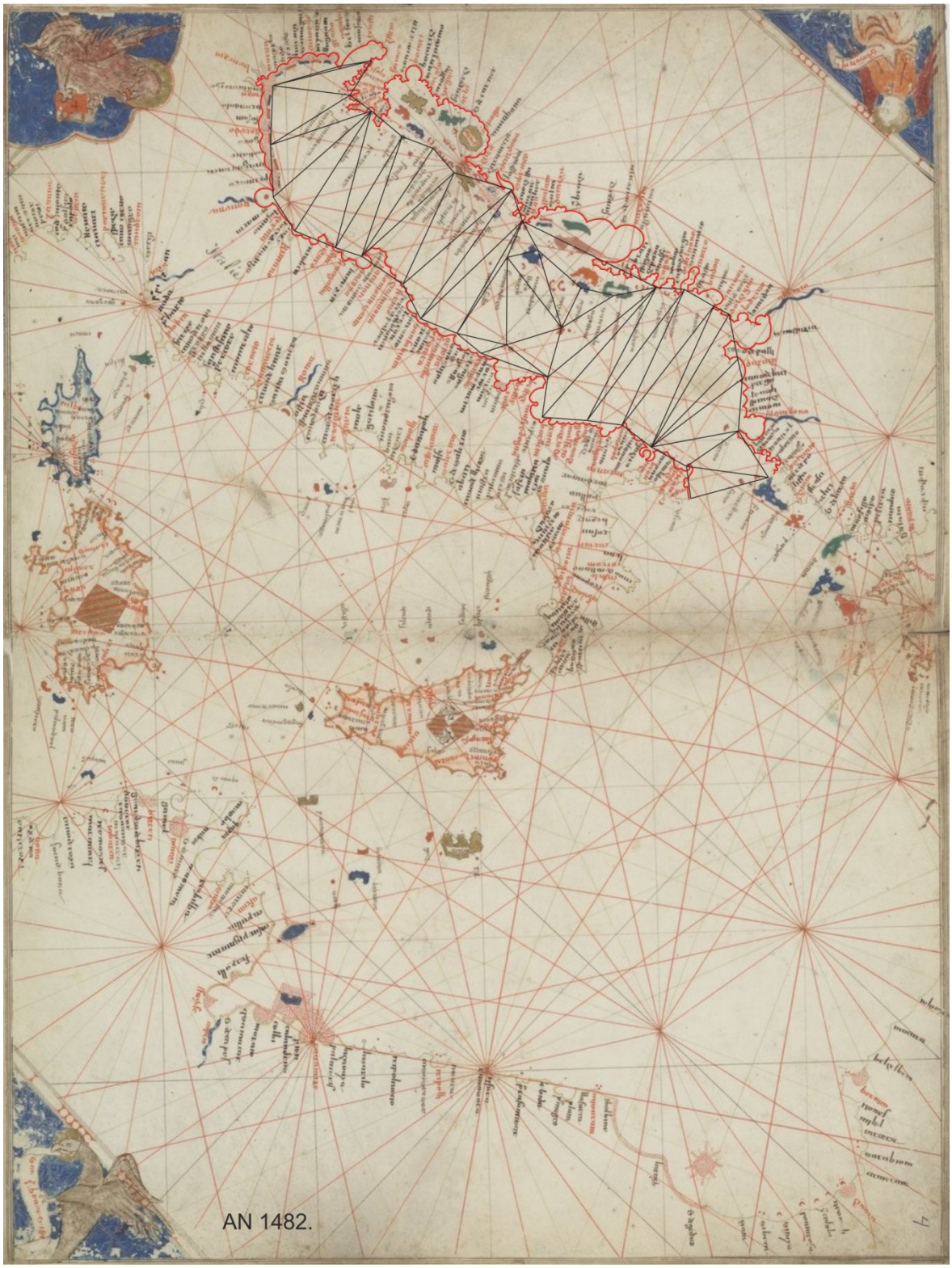
Slika 10—1. Obalna crta kopna i identične linije na isječku *Pisanske karte* (1290.). (izvor: K1)

Slika 10—2. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa Pietra Vescontea (1318.). (izvor: K2)

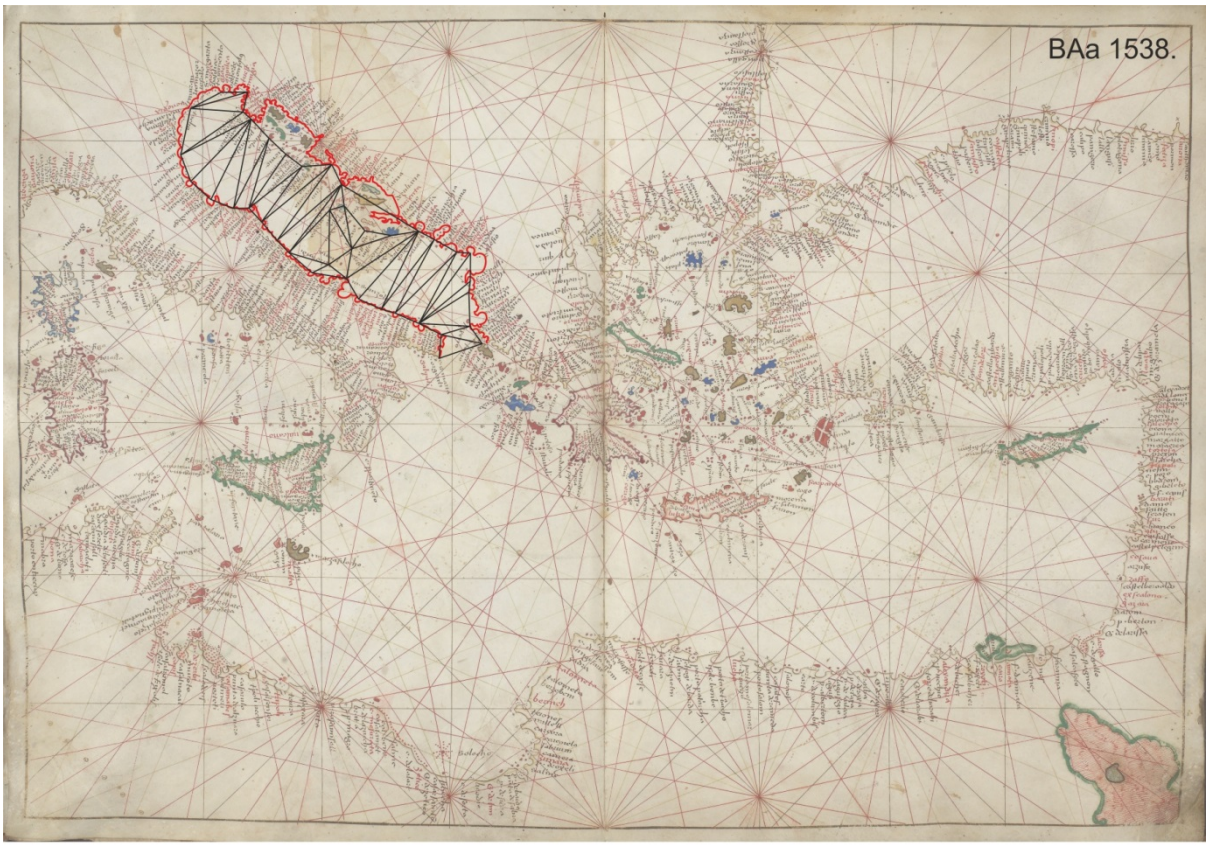
Slika 10—3. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz *Katalonskog atlasa* (1375.). (izvor: K3)

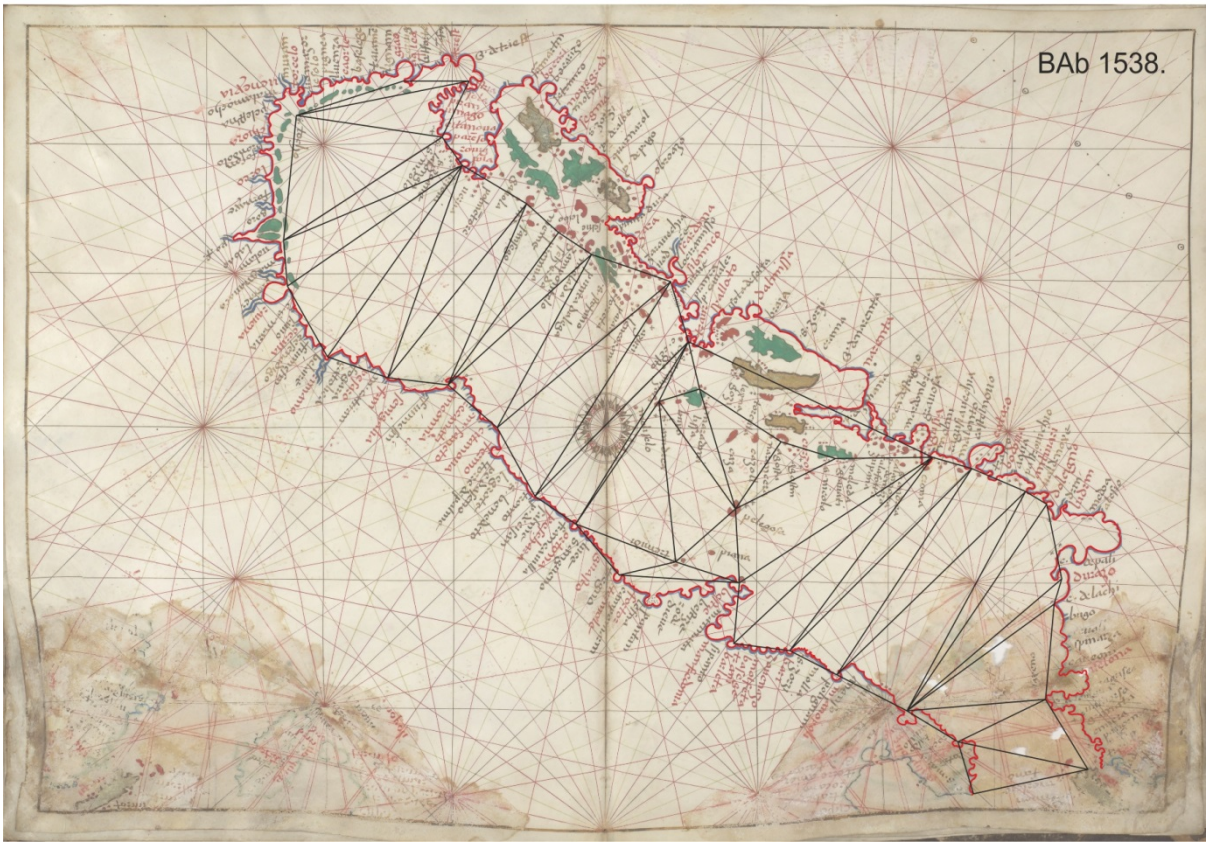
Slika 10—4. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa Andree Bianca (1436.). (izvor: K4)

Slika 10—5. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa Gratiosusa Benincase (1466.) (izvor: K5)

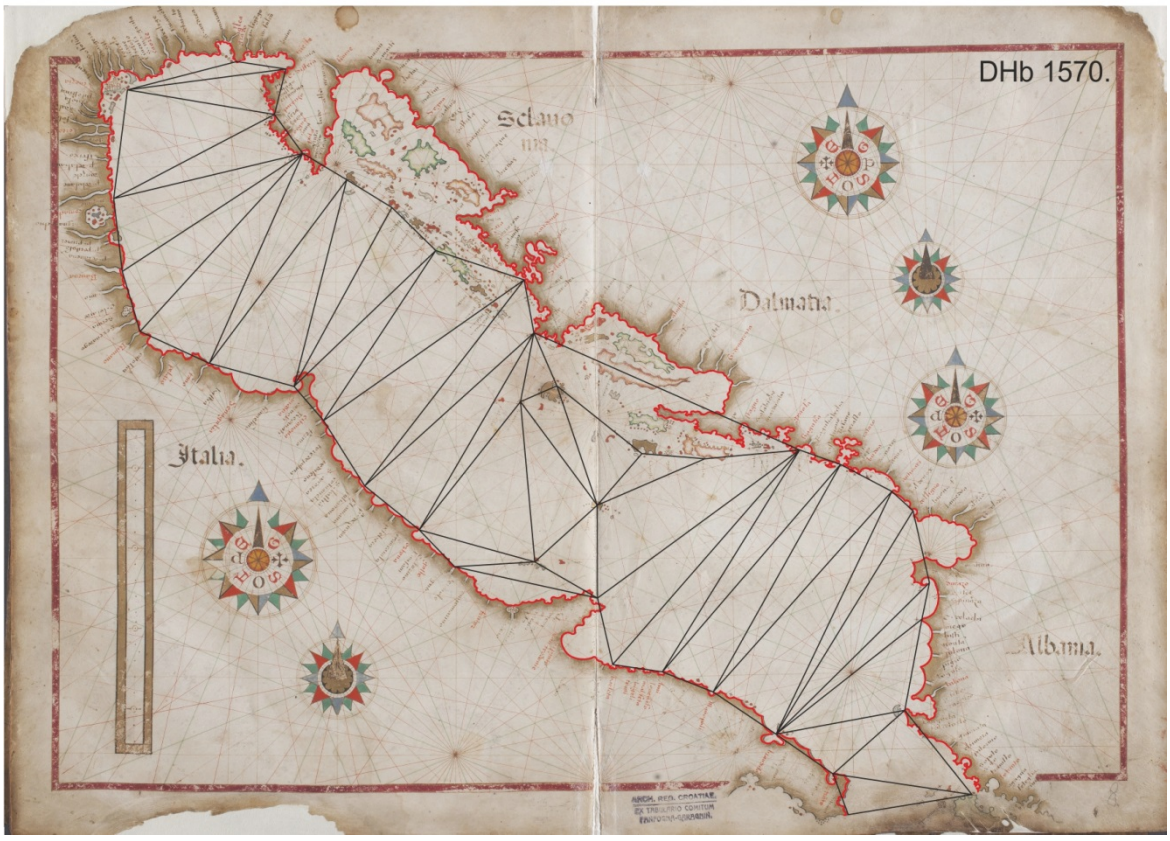


Slika 10—6. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa nepoznatog autora (1482.) koja kartografikom nalikuje na kartu GB 1466. (izvor: K6)

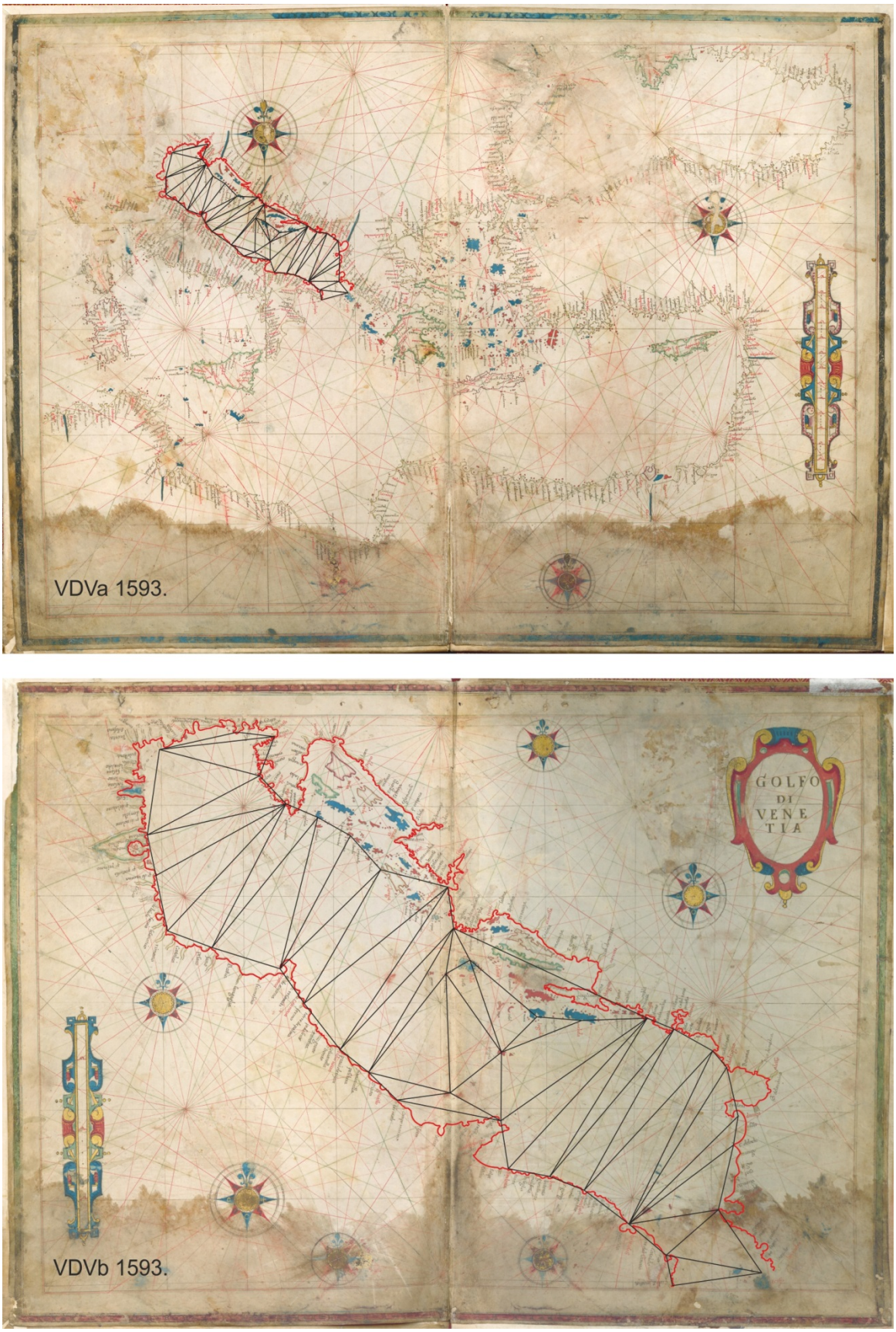




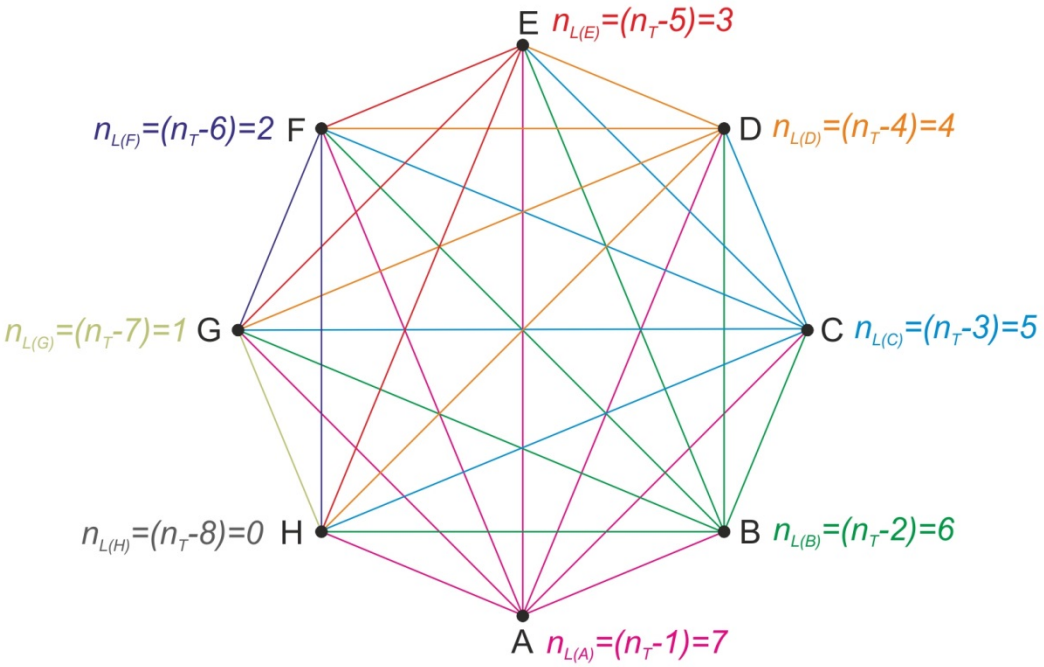
Slika 10—7.Obalna crta kopna i identične linije na portulanskim kartama iz atlasa Battiste Agnesea (1538.). (izvor: K7a i K7b)



Slika 10—8. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskim kartama iz atlasa Dioga Homema (1570.) (izvor: K8a i K8b)



Slika 10—9. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskim kartama iz atlasa Vicka Dimitrija Volčića (1593.). (izvor: K9a i K9b)



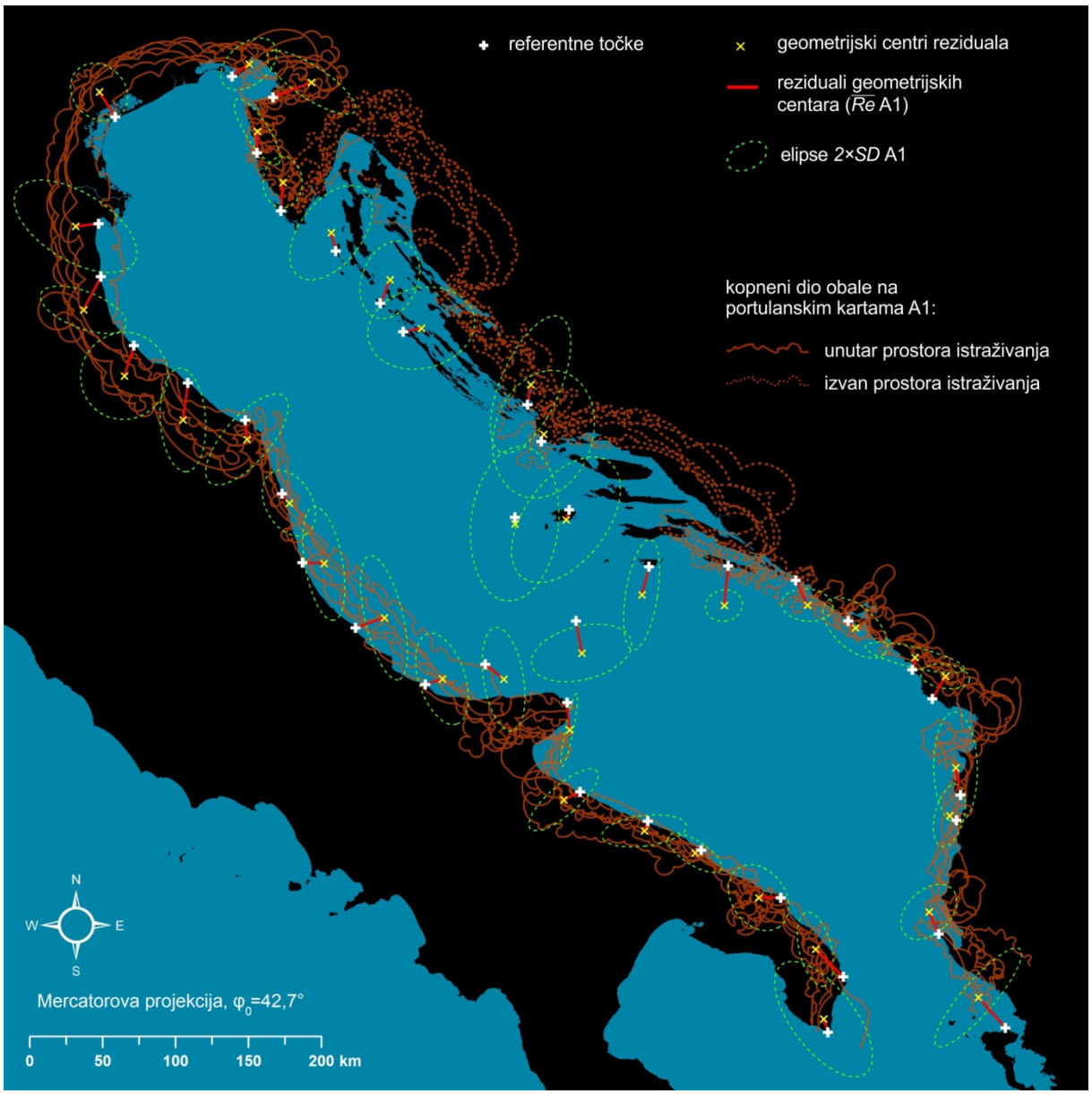
n_T - broj točaka u ravnini

n_L - broj linija u ravnini

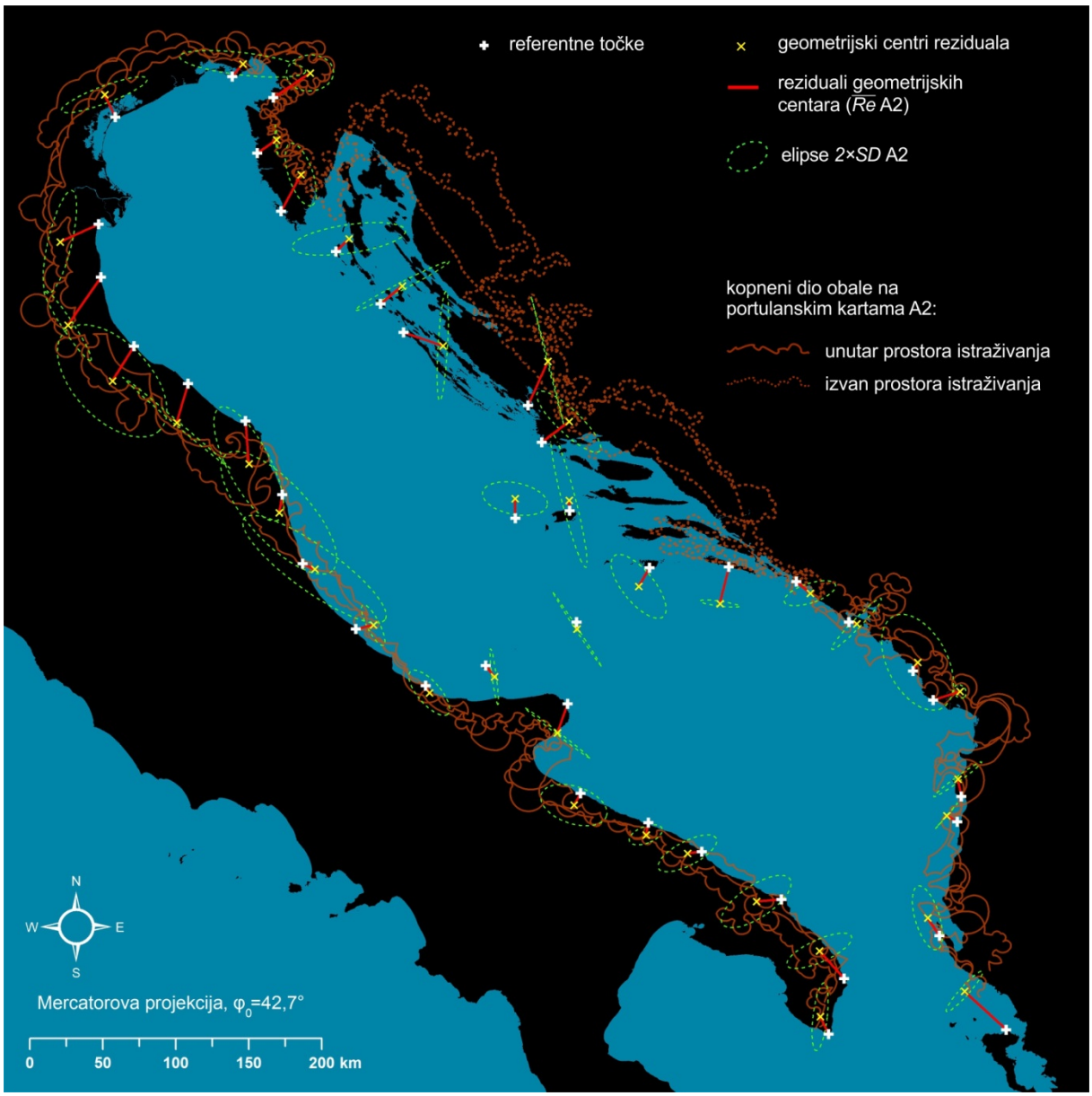
$n_{L\,max}$ - maksimalni broj linija u ravnini s obzirom na ukupan broj točaka

$$n_{L\,max} = n_{L(H)}+n_{L(G)}+n_{L(F)}+n_{L(E)}+n_{L(D)}+n_{L(D)}+n_{L(B)}+n_{L(A)}$$
$$= 0+1+2+3+4+5+6+7$$
$$= 28$$

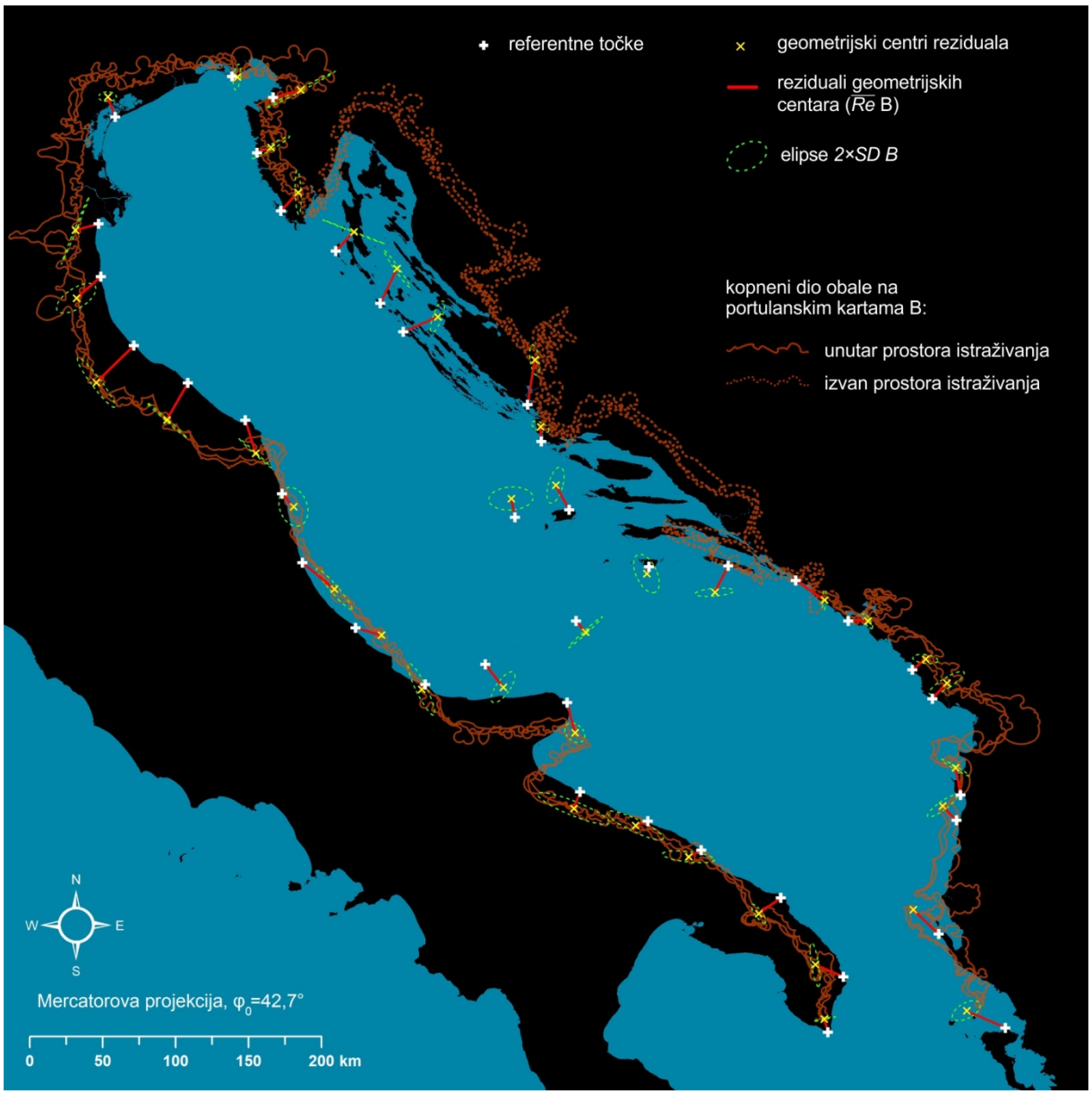
Slika 10—10. Maksimalni broj linija, tj. dužina ($n_{L\,max}$) koje je moguće povući iz skupa točaka (n_T) tako da je svaka točka jednom linijom povezana sa svakom preostalom točkom iz skupa – primjer skupa od 8 točaka.



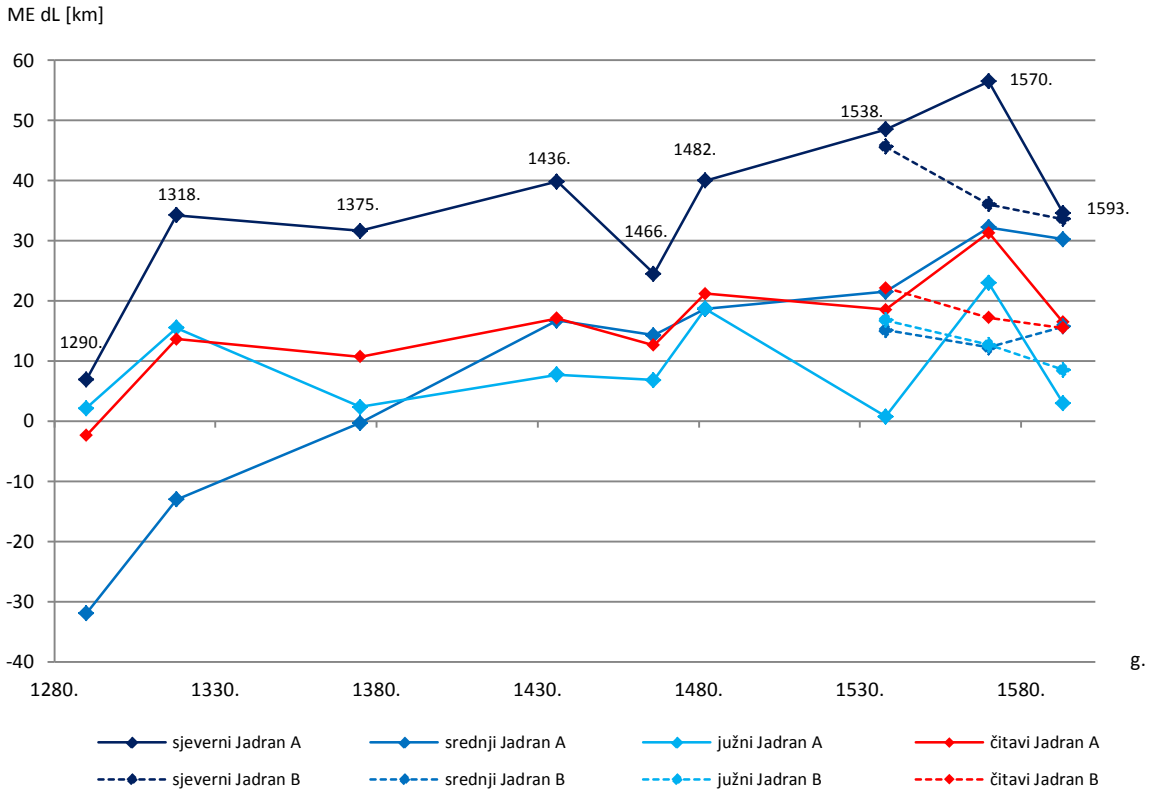
Slika 10—11. Preciznost oblaka točaka s karata iz grupe A1 u odnosu na *prosječnu portulansku kartu A1*, točnost *prosječne portulanske karte A1* u odnosu na referentne vrijednosti te prikaz vektorizirane obalne crte kopna na kartama iz skupine A1.



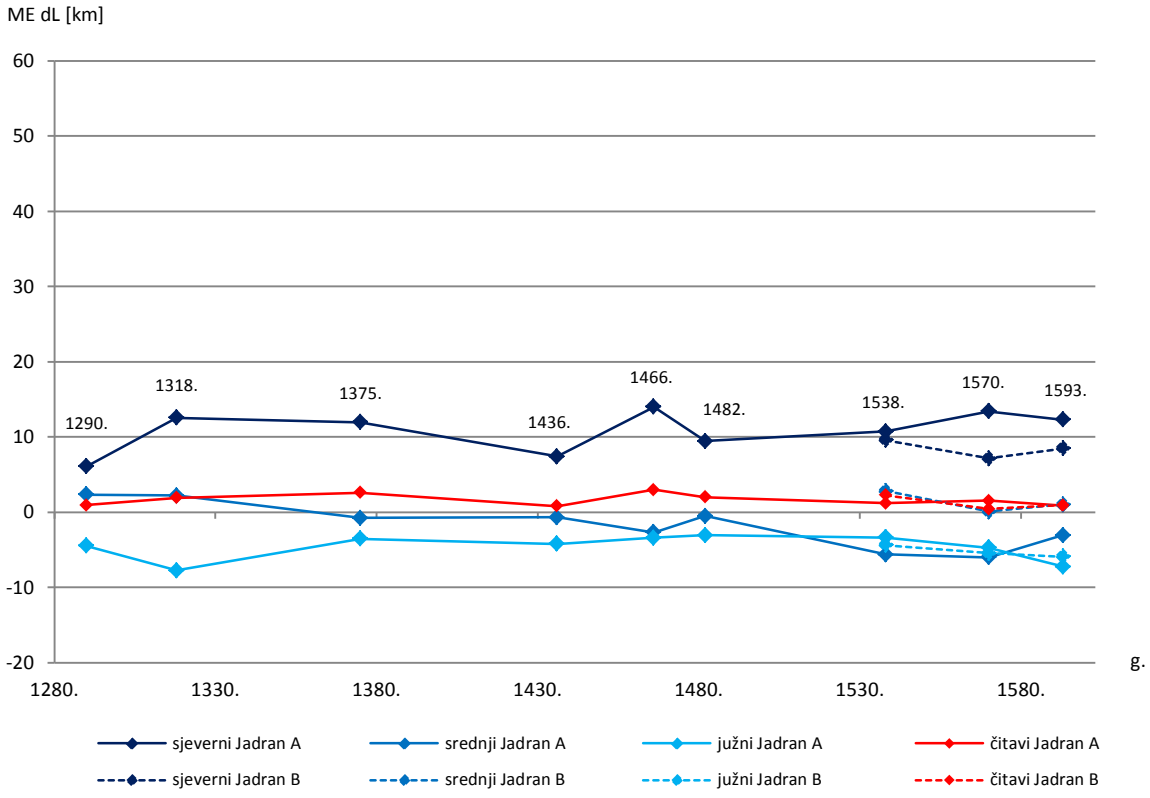
Slika 10—12. Preciznost oblaka točaka s karata iz grupe A2 u odnosu na *prosječnu portulansku kartu A2*, točnost *prosječne portulanske karte A2* u odnosu na referentne vrijednosti te prikaz vektorizirane obalne crte kopna na kartama iz skupine A2.



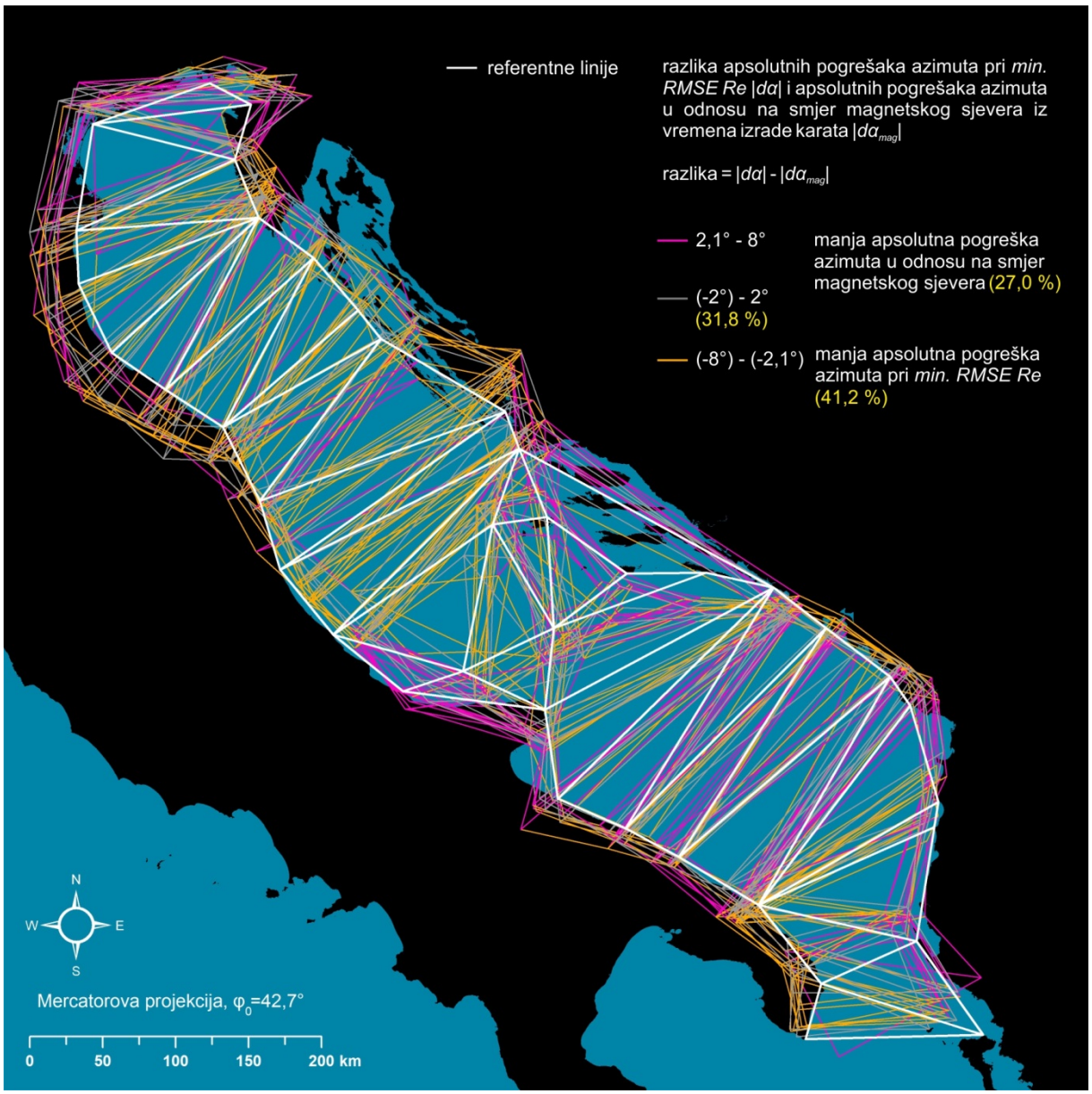
Slika 10—13. Preciznost oblaka točaka s karata iz grupe B u odnosu na *prosječnu portulansku kartu B*, točnost *prosječne portulanske karte B* u odnosu na referentne vrijednosti te prikaz vektorizirane obalne crte kopna na kartama iz skupine B.



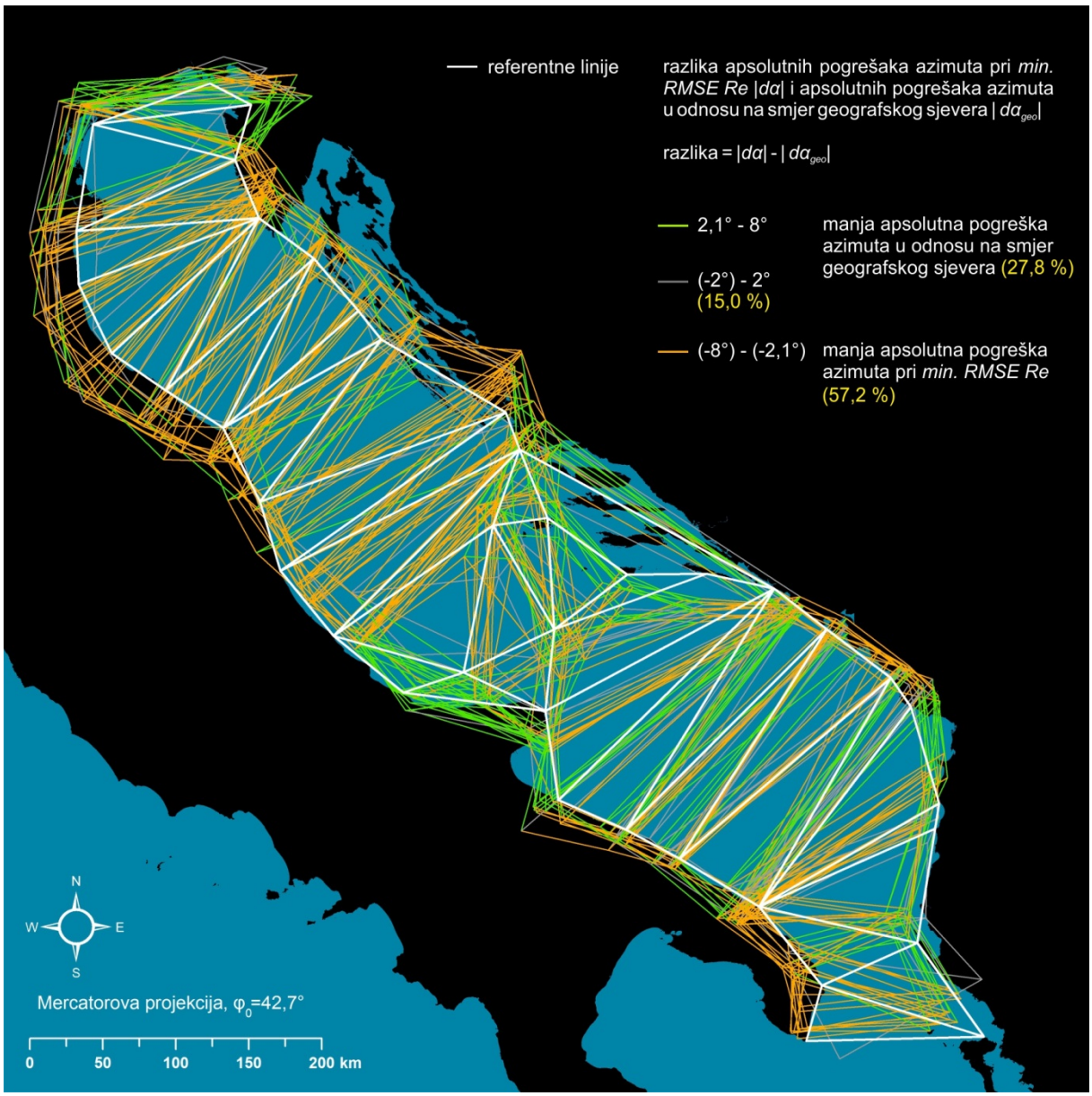
Slika 10—14. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti prekomorskih linija za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora.



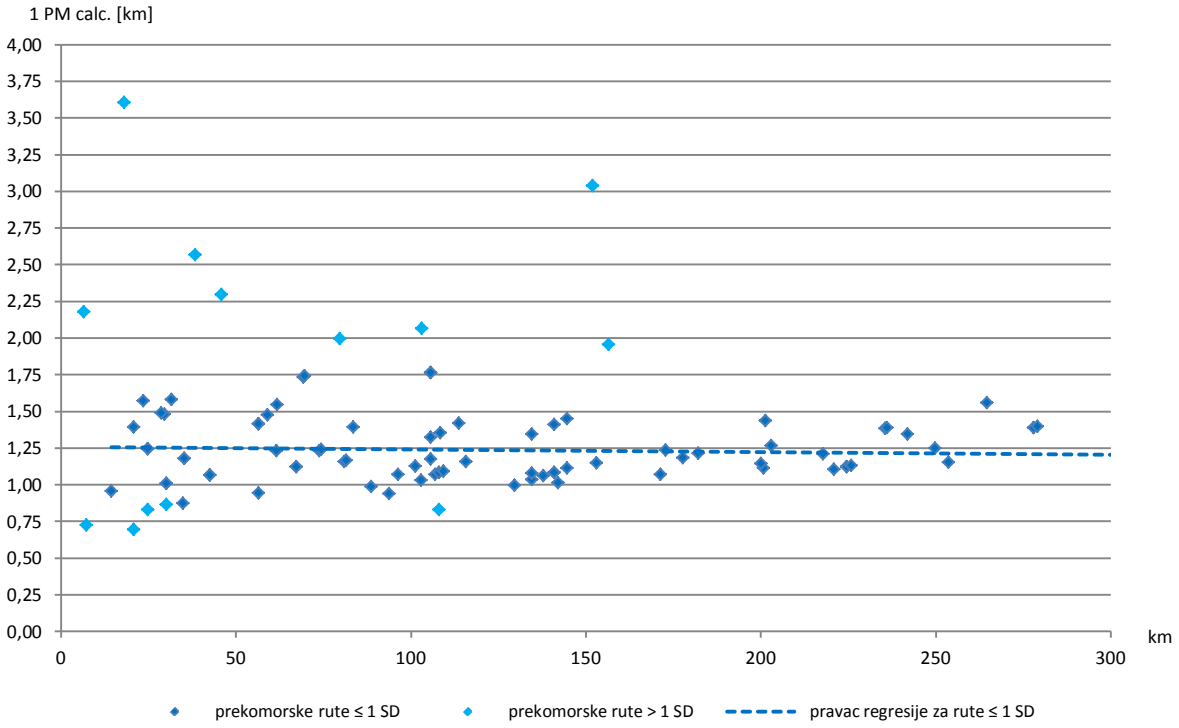
Slika 10—15. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti obalnih linija za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora.



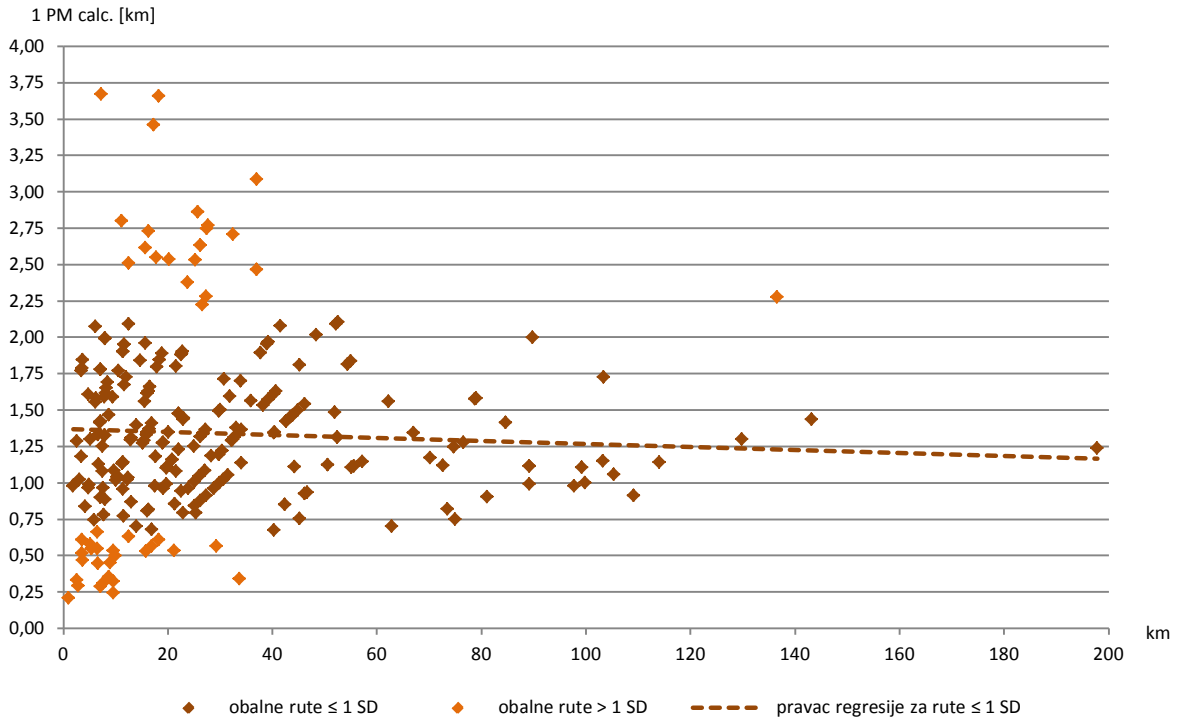
Slika 10—16. Prostorna raspodjela razlike apsolutnih pogrešaka azimuta s rotacijom pri *min. RMSE Re* primjenom 4-parametarske konformne transformacije i apsolutnih pogrešaka azimuta u odnosu na magnetski sjever iz vremena izrade karata.



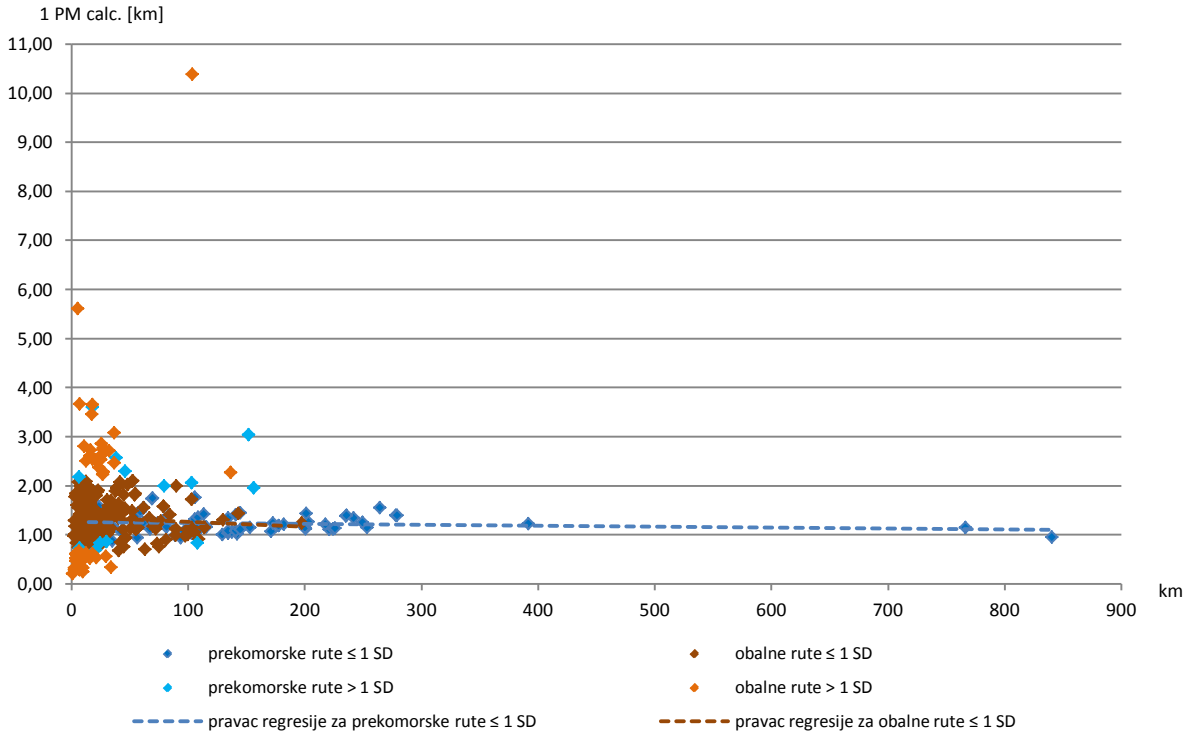
Slika 10—17. Prostorna raspodjela razlike apsolutnih pogrešaka azimuta s rotacijom pri *min. RMSE Re* primjenom 4-parametarske konformne transformacije i apsolutnih pogrešaka azimuta u odnosu na geografski sjever.



Slika 10—18. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak prekomorskih ruta s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi.



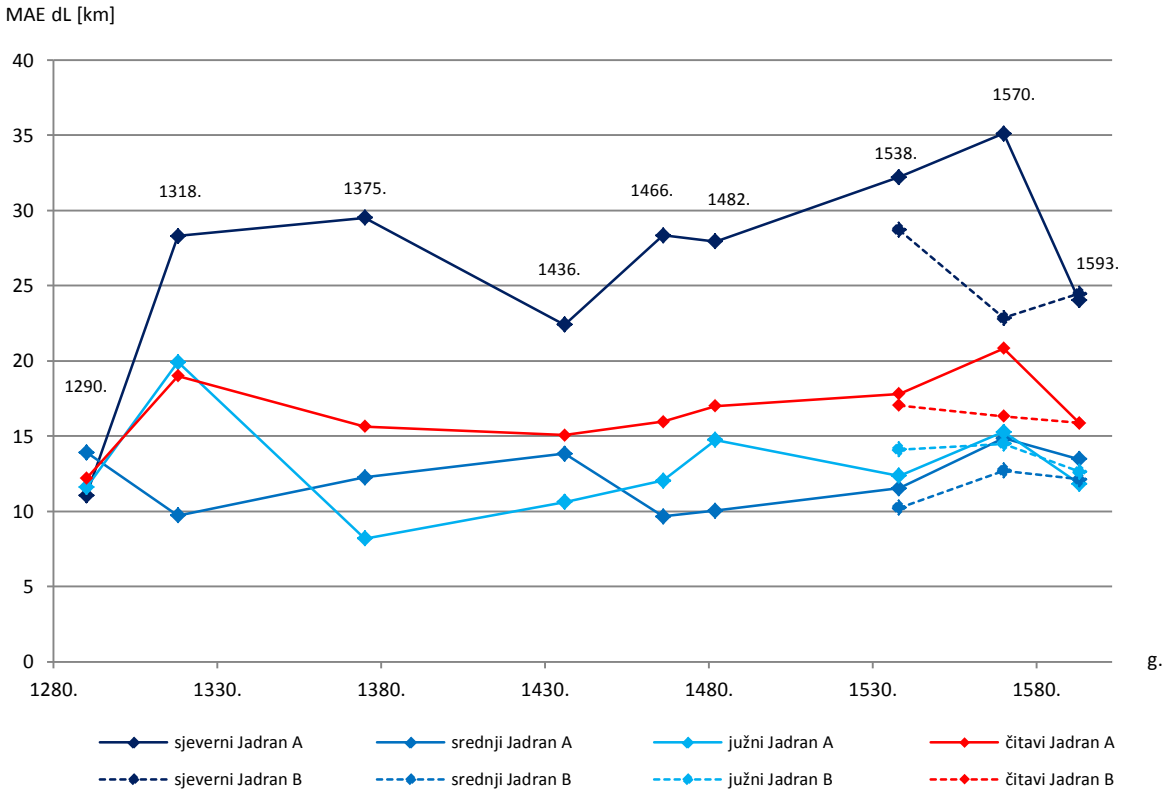
Slika 10—19. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak obalnih ruta s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi.



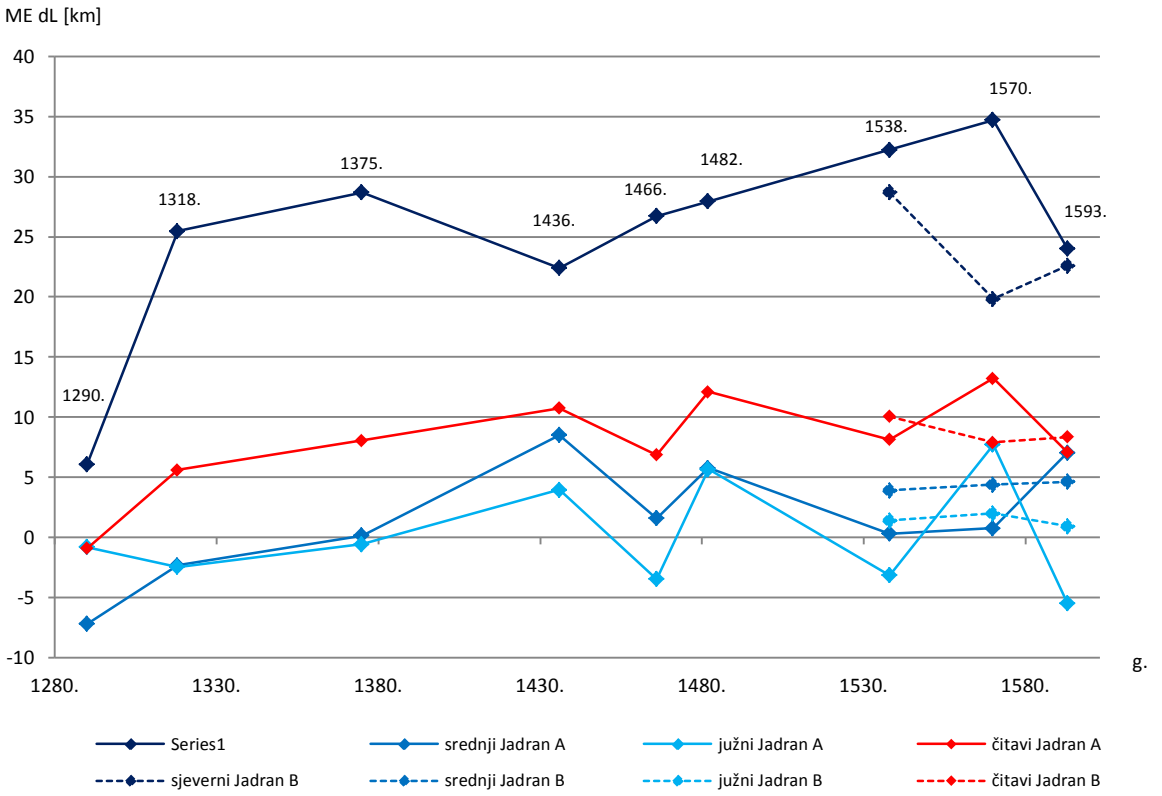
Slika 10—20. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak ruta s punim obuhvatom vrijednosti na obje osi.

Tablica 10—1. Izračun duljine portulanske milje (*1 PM calc.*) [km] na temelju pročišćenog uzorka prekomorskih ruta na kartama u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, gnomonskoj projekciji φ0=+42,7°, λ0=+16,0°, M=1 i portulanskih karata georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 te standardne devijacije (*SD*) njezina iznosa [m] između pojedinih portulana, karata i dijelova Jadranskog mora.

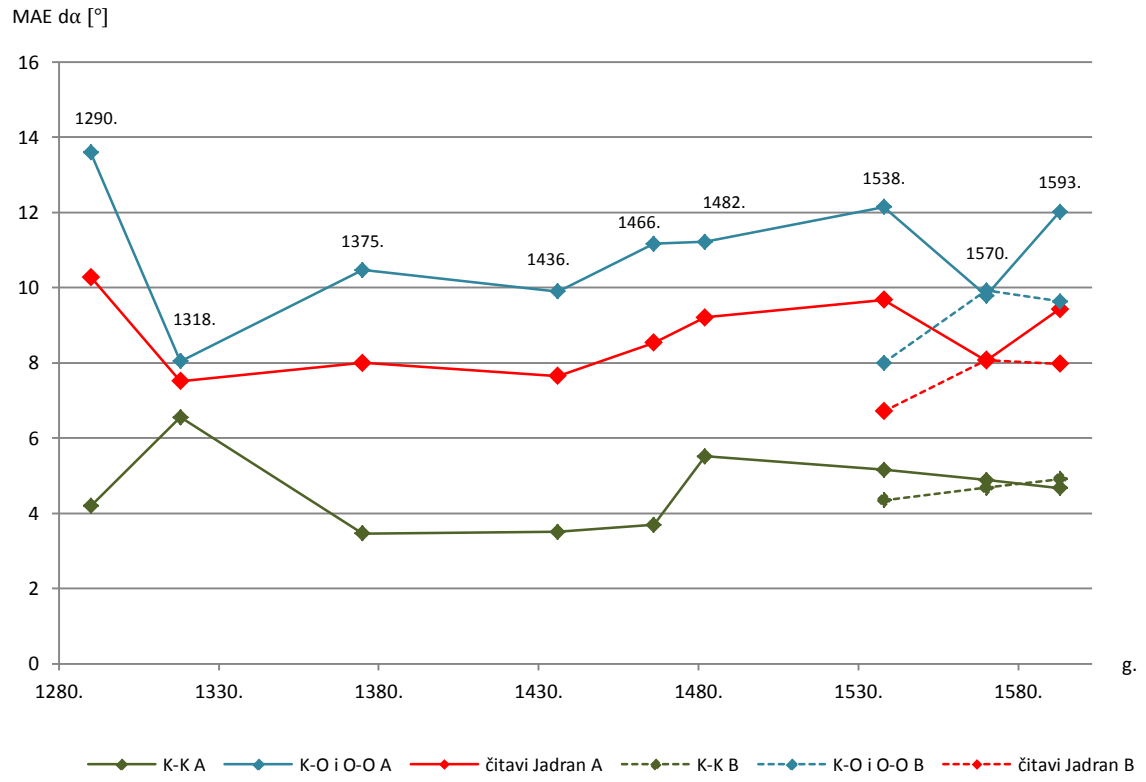
KARTA		PORTULAN 1 PM calc. [km]					AVG [km]	JADRAN 1 PM calc. [km]			SD [m]
		LdE	CdN	PdV	P-M	Rz		sjeverni	srednji	južni	
		1200.	1275.	1445.	1475.	1490.					
Mercator ϕ_0=42,7°		**1,27**	**1,22**	**1,27**	**1,27**	**1,18**	**1,24**	**1,12**	**1,35**	**1,24**	**94,74**
gnomonska ϕ_0=+42,7° λ_0=+16,0°		**1,26**	**1,22**	**1,27**	**1,27**	**1,19**	**1,24**	**1,09**	**1,35**	**1,28**	**113,83**
PK	**1290.**	1,25	1,20	1,14	1,35	1,23		1,17	1,19	1,31	62,11
PV	**1318.**	1,42	1,30	1,26	1,34	1,18		1,31	1,35	1,24	41,72
KA	**1375.**	1,45	1,33	1,29	1,36	1,21	**1,31**	1,39	1,35	1,25	59,16
AB	**1436.**	1,42	1,32	1,38	1,39	1,28		1,33	1,46	1,30	68,51
GB	**1466.**	1,44	1,22	1,23	1,28	1,24		1,33	1,27	1,23	41,74
AN	**1482.**	1,47	1,26	1,45	1,30	1,32		1,39	1,41	1,33	36,36
AVG A1 [km]		**1,41**	**1,27**	**1,29**	**1,34**	**1,24**		**1,32**	**1,34**	**1,28**	**51,60**
BA a	**1538.**	1,47	1,23	1,38	1,27	1,27		1,43	1,35	1,23	82,74
DH a	**1570.**	1,53	1,28	1,41	1,33	1,31	**1,33**	1,40	1,41	1,33	37,12
VDV a	**1593.**	1,42	1,12	1,31	1,29	1,27		1,35	1,33	1,18	76,72
AVG A2 [km]		**1,48**	**1,21**	**1,36**	**1,30**	**1,29**		**1,39**	**1,37**	**1,25**	**65,53**
BA b	**1538.**	1,47	1,29	1,43	1,29	1,26		1,41	1,40	1,28	58,70
DH b	**1570.**	1,41	1,21	1,35	1,23	1,24	**1,31**	1,24	1,36	1,28	50,16
VDV b	**1593.**	1,41	1,20	1,40	1,26	1,23		1,29	1,39	1,26	56,79
AVG B [km]		**1,43**	**1,24**	**1,40**	**1,26**	**1,25**		**1,31**	**1,39**	**1,27**	**55,22**
AVG [km]		**1,43**	**1,25**	**1,34**	**1,31**	**1,26**		**1,34**	**1,36**	**1,27**	**55,99**
AVG [km]		**1,32**						**1,32**			



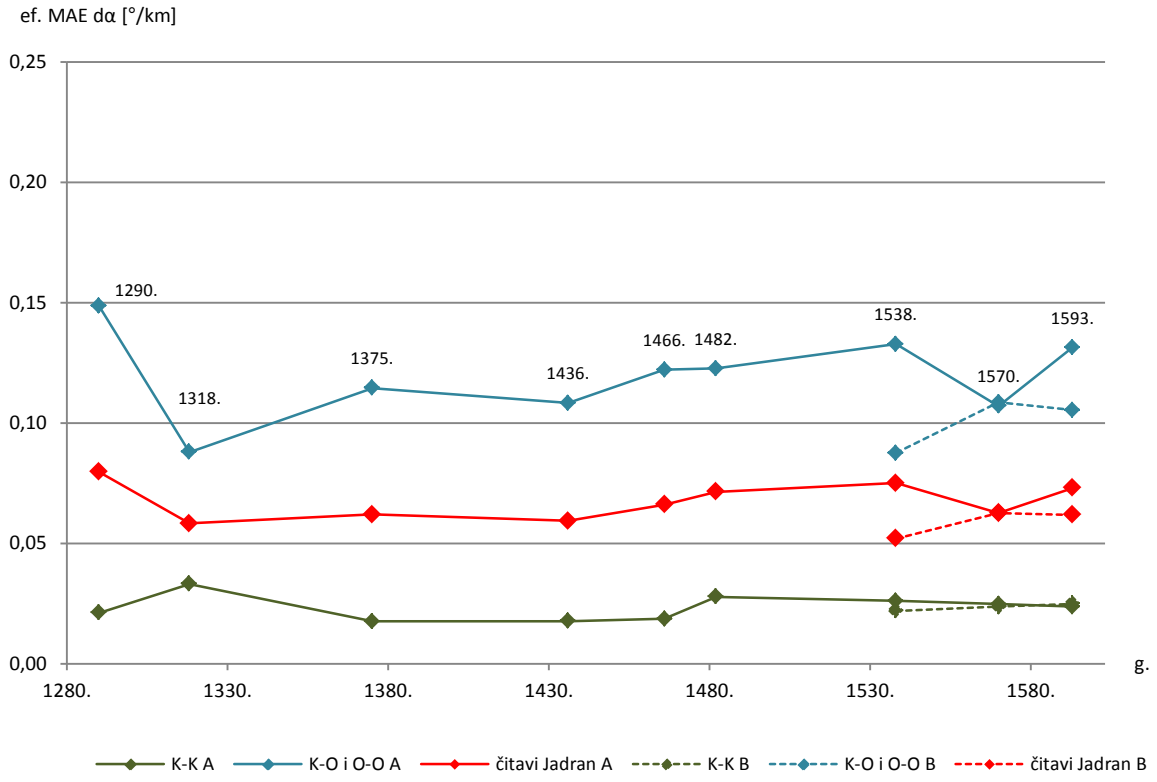
Slika 10—21. Apsolutna točnost kartiranja udaljenosti portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, izračunana na uzorku ruta iz portulana korištenih u poglavlju 6.4.4, ucrtanih preko otprije georeferenciranih karata (podaci *drugog reda točnosti*) i preko referentne karte.



Slika 10—22. Stvarna točnost kartiranja udaljenosti portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, izračunana na uzorku ruta iz portulana korištenih u poglavlju 6.4.4, ucrtanih preko otprije georeferenciranih karata (podaci *drugog reda točnosti*) i preko referentne karte.



Slika 10—23. Apsolutna točnost kartiranja azimuta portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji, izračunana na uzorku ruta (ukupan uzorak te podjela na rute tipa K—K i rute tipa K—O i O—O) iz portulana korištenih u poglavlju 6.4.4, ucrtanih preko otprije georeferenciranih karata (podaci *drugog reda točnosti*) i preko referentne karte.



Slika 10—24. Efektivna točnost kartiranja azimuta sa Slika 10—23.

10.1 POPIS SLIKA

Slika 1—1. *Pisanska karta* s kraja 13. st. (izvor: K1) s vektoriziranom obalnom crtom kopna i većih otoka. 2

Slika 1—2. Portulanska karta iz atlasa Dioga Homema (1570.) – primjer portulanske karte novijeg datuma izrade na kojoj je Jadransko more prikazano preko cijelog polja karte u krupnijem mjerilu (izvor: K8b). 4

Slika 1—3. Pojednostavnjeni prikaz portulanske karte Jadranskog mora iz atlasa Dioga Homema s vektoriziranom obalnom crtom kopna i mrežom rumba. 6

Slika 1—4. Orijentacija toponima na prikazu Jadranskog mora na portulanskoj karti istočnog Sredozemlja i Crnog mora iz atlasa Battiste Agnesea (1538.) – toponimi otoka bližih obali upisani su na dio karte koji predstavlja kopno, primjerice: *pago* (Pag), *solta* (Šolta) ili *abraza* (Brač) (izvor: K7a). 7

Slika 1—5. Azimuti na ružama vjetrova na portulanskim kartama i njihovi nazivi prema tadašnjim nazivima za vjetrove na prostoru Sredozemlja (Qto znači *quattro*, tj. četvrtina). 8

Slika 1—6. Tipičan prikaz obalne crte na portulanskim kartama na primjeru prikaza središnjeg dijela zapadne obale Jadranskog mora (obalni pojas između Ancone i Rta Gargano, Italija) na 6 portulanskih karata izrađenih u razdoblju od gotovo tri stoljeća 9

Slika 1—7. Usporedba izgleda obalne crte kopna na prikazu Jadranskog mora u atlasima Andree Bianca (1436.) i Vicka Dimitrija Volčića (1593.) s prikazom na karti u Mercatorovoj projekciji i njihova međusobna usporedba. 11

Slika 1—8. Primjeri estetskih izvedbi kompasnih ruža na karti iz *Katalonskog atlasa* (1375.) te na kartama iz atlasa Dioga Homema (1570.) i Vicka Dimitrija Volčića (1593.) 17

Slika 1—9. *Toleta de Marteloio* i *Tondo e Quadro* na listu iz atlasa Andree Bianca (1436.) (izvor: K4) i grafičko objašnjenje pojedinih stupaca iz *Tolete de Marteloio*. 20

Slika 3—1. Slijed izrade odabranih portulanskih karata i portulana – karte A1 označene su crvenom, karte A2 narančastom, karte B zelenom, a portulani ljubičastom bojom 34

Slika 3—2. Nadmorska visina prostornog obuhvata istraživanja (izvori referentnih kartografskih podloga: SHP, DEM) 35

Slika 4—1. Izgled i regionalno-funkcionalna podjela (referentne) mreže točaka i linija (kategorija *otočne linije* primijenjena je samo za srednji dio Jadranskog mora). 47

Slika 4—2. Karta VDVb 1593. georeferencirana na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°) kao referentnu plohu metodom *LSE* i korištenjem konformne 4-parametarske transformacije. 49

Slika 4—3. Prostorna raspodjela identičnih točaka (40) i linija (80) na portulanskoj karti VDVb 1593. s pripadajućim ukupnim rezidualima kartiranja položaja (*Re*) u odnosu na referentne točke. 50

Slika 4—4. Shematski prikaz statistički značajnih pogrešaka apsolutnih vrijednosti (koordinata točaka) i relativnih vrijednosti (duljina i azimuta linija) za izračunavanje pogrešaka u postupku *LSE* uz primjenu Helmertove ravninske transformacije (Δ ABC – „referentni trokut“, Δ A'B'C' – „identični trokut“). 53

Slika 5—1. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih u pojedinim podpoglavljima o kartometrijskoj analizi odabranih portulanskih karata 57

Slika 5—2. Bazen Sredozemlja s okolnim morima prikazan u 6 odabranih kartografskih projekcija i s pripadajućim im stupanjskim mrežama (interval od 10°) 59

Slika 5—3. Razlike u izgledu obale kopna Jadranskog mora s obzirom na korištenu odabranu referentnu kartografsku projekciju. 60

Slika 5—4. Prostorna raspodjela identičnih točaka (40) i linija (80) na svim odabranim portulanskim kartama s rezidualima kartiranja položaja u odnosu na pripadajuće im referentne točke. 62

Slika 5—5. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja položaja na portulanskim kartama u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije. 63

Slika 5—6. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja položaja na portulanskim kartama po X-osi u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije. 65

Slika 5—7. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja položaja na portulanskim kartama po Y-osi u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije. 66

Slika 5—8. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja udaljenosti na portulanskim kartama u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije. 68

Slika 5—9. Korijeni srednjih kvadratnih pogrešaka kartiranja azimuta na portulanskim kartama u odnosu na odabrane referentne kartografske projekcije. 69

Slika 5—10. Primjer metode određivanja i razlikovanja relativne točnosti i preciznosti *referentno-identičnih oblaka točaka* gereferenciranih portulanskih karata: A) relativno visoka točnost i relativno visoka preciznost, B) relativno visoka točnost i relativno niska preciznost, C) relativno niska točnost i relativno visoka preciznost, D) relativno niska točnost i relativno niska preciznost. 73

Slika 5—11. Linije *(ukupne) prosječne portulanske karte* dobivene spajanjem geometrijskih centara reziduala identičnih točaka te parametri za određivanje točnosti i preciznosti oblaka identičnih točaka. 75

Slika 5—12. Linije *prosječnih portulanskih karata A1, A2 i B*. 76

Slika 5—13. Točnost oblaka identičnih točaka karata A1 (***Re A1***), A2 (***Re A2***) i B (***Re B***) u odnosu na točnost oblaka identičnih točaka ukupnog uzorka portulanskih karata (***Re***). 77

Slika 5—14. Preciznost oblaka identičnih točaka karata A1 (*SD A1*), A2 (*SD A2*) i B (*SD B*) u odnosu na preciznost oblaka identičnih točaka ukupnog uzorka portulanskih karata (*SD*). 78

Slika 5—15. Razlike u preciznosti kartiranja položaja (*SD Re*) između prosječnih karata A1, A2 i B i ukupne prosječne portulanske karte (s prikazom pogreške *RMSE Re* portulanskih karata) 80

Slika 5—16. Razlike u preciznosti kartiranja udaljenosti (*SD dL*) između prosječnih karata A1, A2 i B i ukupne prosječne portulanske karte (s prikazom pogreške *MAE dL* portulanskih karata) 81

Slika 5—17. Razlike u preciznosti kartiranja azimuta (*SD dα*) između prosječnih karata A1, A2 i B i ukupne prosječne portulanske karte (s prikazom pogreške *MAE dα* portulanskih karata) 82

Slika 5—18. Prostorna raspodjela apsolutnih pogrešaka kartiranja udaljenosti identičnih linija (|*dL*|) u odnosu na duljine referentnih linija. 87

Slika 5—19. Srednje apsolutne pogreške kartiranja udaljenosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. 88

Slika 5—20. Srednje apsolutne pogreške kartiranja udaljenosti za obalne, prekomorske i otočne linije. 89

Slika 5—21. Prostorna raspodjela stvarnih pogrešaka kartiranja udaljenosti identičnih linija u odnosu na duljine referentnih linija (*dL*). 90

Slika 5—22. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. 91

Slika 5—23. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti za obalne, prekomorske i otočne linije. 92

Slika 5—24. Prostorna raspodjela apsolutnih pogrešaka kartiranja azimuta identičnih linija (|dα|) u odnosu na azimute referentnih linija. 93

Slika 5—25. Srednje apsolutne pogreške kartiranja azimuta za obalne, prekomorske i otočne linije. 94

Slika 5—26. Efektivne srednje apsolutne pogreške kartiranja azimuta za obalne, prekomorske i otočne linije (s obzirom na prosječnu duljinu pripadajućih linija [km] na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1). 94

POPIS SLIKA

Slika 6—1. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na njihovo mjerilo. 100

Slika 6—2. Umanjeni prikaz stvarnih dimenzija obuhvata obalne crte kopna Jadranskog mora na odabranim portulanskim kartama s rotacijom θ u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°). Portulanske karte su bojama podijeljene na karte A1 (crvena), karte A2 (narančasta) i karte B (zelena). 102

Slika 6—3. Efektivni moduli portulanskih karata (*ef. M*=M/1.000.000) – iznos duljine u kilometrima na karti u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1) po milimetru duljine na portulanskoj karti: prosječne vrijednosti za karte i vrijednosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. 104

Slika 6—4. Srednje apsolutne pogreške udaljenosti na portulanskim kartama (u ovisnosti o modulima njihovih mjerila) u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1): prosječne vrijednosti za karte te vrijednosti za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. 105

Slika 6—5. Srednje apsolutne pogreške udaljenosti na portulanskim kartama (*MAE dL M*) u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°), efektivni moduli portulanskih karata (*ef. M*) i normalizirane srednje apsolutne pogreške duljine portulanskih karata (*nor. MAE dL M*) 106

Slika 6—6. Obalne crte 4 pučinska otoka i otočja srednjeg dijela Jadranskog mora korištena kao referentno-identični parovi točaka, podijeljenih po skupinama karata A1, A2 i B. 108

Slika 6—7. Indeksi lokalnih povećanja mjerila portulanskih karata za odabrane pučinske otoke ili otočja srednjeg Jadranskog mora u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1). 110

Slika 6—8. Primjeri grafičkih izvedbi letvica linearnog mjerila na portulanskim kartama 111

Slika 6—9. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na pogreške azimuta i smjer sjevera. 118

Slika 6—10. Kretanje smjera i iznosa magnetske deklinacije na Jadranskom moru u razdoblju od 500. do 2000. g. prema modelu *CALS3K.4* (izvor: GMAG) 121

Slika 6—11. Međuodnos kretanja iznosa magnetske deklinacije prema modelu *CALS3K.4* i rotacije portulanskih karata nastale georeferenciranjem uz korištenje 4-parametarske konformne planarne transformacije. 122

Slika 6—12. Shematski prikaz primijenjene rotacije portulanskih karata: A) kut rotacije koji je posljedica georeferenciranja (θ), B) kut rotacije koji odgovara magnetskoj deklinaciji iz vremena izrade portulanske karte (θ=δ), C) ispravljeni kut rotacije (prema geografskom sjeveru, θ=0°). 123

Slika 6—13. Srednje apsolutne ogreške azimuta pri rotaciji portulanskih karata uslijed georeferenciranja (*MAE* $d\alpha$), pri rotaciji rumba N–S prema magnetskom sjeveru iz razdoblja izrade karte (*MAE* $d\alpha_{mag}$) i pri ispravljenoj rotaciji karata (u odnosu na geografski sjever) (*MAE* $d\alpha_{geo}$) 124

Slika 6—14. Prostorna raspodjela razlike apsolutnih pogrešaka azimuta na portulanskim kartama u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz razdoblja izrade karata i pogrešaka u odnosu na smjer geografskog sjevera 126

Slika 6—15. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na vidljivost reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale. 130

Slika 6—16. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale na sjevernom i srednjem dijelu Jadranskog mora. 132

Slika 6—17. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora u ovisnosti o udaljenosti od obale na srednjem i južnom dijelu Jadranskog mora 133

Slika 6—18. Iznos minimalne vidljive nadmorske visine reljefa bazena Jadranskog mora u ovisnosti o pojasevima udaljenosti od obale kopna i otoka (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v. 134

Slika 6—19. Površina vidljivog reljefa bazena Jadranskog mora u ovisnosti o pojasevima udaljenosti od obale kopna i otoka (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v. 135

Slika 6—20. Prirast površine vidljivog reljefa bazena Jadranskog mora u ovisnosti o pojasevima udaljenosti od obale kopna i otoka (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v. 135

Slika 6—21. Prosječna površina vidljivog reljefa bazena Jadranskog mora po 1 km duljine puta uzduž pripadajućeg pojasa udaljenosti (interval od 5,6 km, tj. 3 NM) od obale kopna i otoka za visinu očiju promatrača od 3 m n.v. i od 20 m n.v. 137

Slika 6—22. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora pri udaljenosti od obale od 27,8 km (15 NM) do 50 km (27 NM) s izdvojenim samostalnim prikazima odabranih dijelova reljefa otoka i kopna vidljivih s tih pojaseva udaljenosti. 139

Slika 6—23. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora pri udaljenosti od 55,6 km (30 NM) ili većoj s izdvojenim prikazima samostalnih priobalnih i otočnih uzvisina na prostoru sjevernog i srednjeg dijela Jadranskog mora, vidljivih s 55,6 km (30 NM), odnosno 66,7 km (36 NM) udaljenosti. 140

Slika 6—24. Prostorni raspored vidljivog reljefa s mora pri udaljenosti od 44,4 km (24 NM) u ovisnosti o poziciji promatrača. 142

Slika 6—25. Prostorni međuodnos vidljivog reljefa kopna i otoka s mora s udaljenosti od obale od 55,6 km (30 NM) ili većoj i apsolutnih pogrešaka kartiranja azimuta prekomorskih i otočnih linija na portulanskim kartama u odnosu na smjer magnetskog sjevera iz vremena njihove izrade ($|d\alpha_{mag}|$). 143

Slika 6—26. Shematski prikaz odabranih prostornih entiteta i trajanja dužobalnog oplovljavanja Jadranskog mora prema sadržaju Pseudo-Skilakovog *Periplusa* (izvori podataka: Suić, 1955.: 126-166; Wilkes, 1995.: 94-96; Barnett, 2017.: 71.). 149

Slika 6—27. Prikaz ruta čije je polazišne i odredišne točke bilo moguće identificirati na temelju zapisa iz portulana, prikazane kao najkraća poveznica između točaka – neke rute zapisane su u dva ili više portulana,tj. na karti su u potpunosti preklopljene. 154

Slika 6—28. Pojednostavljeni prikaz temeljnih metodoloških postupaka primijenjenih za utvrđivanje upotrjebljivosti portulanskih karata s obzirom na zapise u portulanima. 156

Slika 6—29. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1) [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak ruta s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi. 160

Slika 6—30. Odnos apsolutne pogreške udaljenosti iz portulana ucrtanih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ0=42,7°, M=1 i pripadajuće duljine ruta [km] s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi. 166

Slika 6—31. Odnos apsolutne pogreške kursova iz portulana ucrtanih na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 s korekcijom smjera sjevera prema iznosu magnetske deklinacije iz godine izrade svakog pojedinog portulana [°] i pripadajuće duljine ruta [km] s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi. 170

Slika 6—32. Prostorni raspored apsolutnih pogrešaka kursova prekomorskih ruta iz portulana LdE 1200. i CdN 1275. prema tipu u odnosu na azimute odgovarajućih linija na odabranim portulanskim kartama. 173

Slika 6—33. Prostorni raspored apsolutnih pogrešaka kursova prekomorskih ruta iz portulana PdV 1445., P-M 1475. i Rz 1490. prema tipu u odnosu na azimute odgovarajućih linija na odabranim portulanskim kartama. 174

Slika 6—34. Maksimalne pogreške očitanja kursa na karti VDVb 1593. za rute Venecija – Othonoi (duljine oko 461 mm na karti) i Rt Leuca – Othonoi (duljine oko 38 mm na karti). 177

Slika 10—1. Obalna crta kopna i identične linije na isječku *Pisanske karte* (1290.). (izvor: K1) 237

Slika 10—2. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa Pietra Vescontea (1318.). (izvor: K2) 237

POPIS SLIKA

Slika 10—3. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz *Katalonskog atlasa* (1375.). (izvor: K3) 238

Slika 10—4. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa Andree Bianca (1436.). (izvor: K4) 239

Slika 10—5. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa Gratiosusa Benincase (1466.) (izvor: K5) 240

Slika 10—6. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskoj karti iz atlasa nepoznatog autora (1482.) koja kartografikom nalikuje na kartu GB 1466. (izvor: K6) 241

Slika 10—7. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskim kartama iz atlasa Battiste Agnesea (1538.). (izvor: K7a i K7b) 242

Slika 10—8. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskim kartama iz atlasa Dioga Homema (1570.) (izvor: K8a i K8b) 243

Slika 10—9. Obalna crta kopna i identične linije na portulanskim kartama iz atlasa Vicka Dimitrija Volčića (1593.). (izvor: K9a i K9b) 244

Slika 10—10. Maksimalni broj linija, tj. dužina (***nL max***) koje je moguće povući iz skupa točaka (n_T) tako da je svaka točka jednom linijom povezana sa svakom preostalom točkom iz skupa – primjer skupa od 8 točaka. 245

Slika 10—11. Preciznost oblaka točaka s karata iz grupe A1 u odnosu na *prosječnu portulansku kartu A1*, točnost *prosječne portulanske karte A1* u odnosu na referentne vrijednosti te prikaz vektorizirane obalne crte kopna na kartama iz skupine A1. 246

Slika 10—12. Preciznost oblaka točaka s karata iz grupe A2 u odnosu na *prosječnu portulansku kartu A2*, točnost *prosječne portulanske karte A2* u odnosu na referentne vrijednosti te prikaz vektorizirane obalne crte kopna na kartama iz skupine A2. 247

Slika 10—13. Preciznost oblaka točaka s karata iz grupe B u odnosu na *prosječnu portulansku kartu B*, točnost *prosječne portulanske karte B* u odnosu na referentne vrijednosti te prikaz vektorizirane obalne crte kopna na kartama iz skupine B 248

Slika 10—14. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti prekomorskih linija za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. 249

Slika 10—15. Srednje stvarne pogreške kartiranja udaljenosti obalnih linija za sjeverni, srednji i južni dio Jadranskog mora. 249

Slika 10—16. Prostorna raspodjela razlike apsolutnih pogrešaka azimuta s rotacijom pri *min. RMSE Re* primjenom 4-parametarske konformne transformacije i apsolutnih pogrešaka azimuta u odnosu na magnetski sjever iz vremena izrade karata 250

Slika 10—17. Prostorna raspodjela razlike apsolutnih pogrešaka azimuta s rotacijom pri *min. RMSE Re* primjenom 4-parametarske konformne transformacije i apsolutnih pogrešaka azimuta u odnosu na geografski sjever 251

Slika 10—18. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak prekomorskih ruta s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi. 252

Slika 10—19. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak obalnih ruta s reduciranim obuhvatom vrijednosti na obje osi. 252

Slika 10—20. Odnos izračunane vrijednosti portulanske milje na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 [km] i duljine ruta [km] za ukupni i pročišćeni uzorak ruta s punim obuhvatom vrijednosti na obje osi. 253

Slika 10—21. Apsolutna točnost kartiranja udaljenosti portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, izračunana na uzorku ruta iz portulana korištenih u poglavlju 6.4.4, ucrtanih preko otprije georeferenciranih karata (podaci *drugog reda točnosti*) i preko referentne karte. 254

Slika 10—22. Stvarna točnost kartiranja udaljenosti portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, izračunana na uzorku ruta iz portulana korištenih u poglavlju 6.4.4, ucrtanih preko otprije georeferenciranih karata (podaci *drugog reda točnosti*) i preko referentne karte. 254

Slika 10—23. Apsolutna točnost kartiranja azimuta portulanskih karata u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji, izračunana na uzorku ruta (ukupan uzorak te podjela na rute tipa K—K i rute tipa K—O i O—O) iz portulana korištenih u poglavlju 6.4.4, ucrtanih preko otprije georeferenciranih karata (podaci *drugog reda točnosti*) i preko referentne karte. 255

Slika 10—24. Efektivna točnost kartiranja azimuta sa Slike 10—23. 255

10.2 POPIS TABLICA

Tablica 4—1. Iznosi ručnih ispravaka deformacija na nevidljivim kružnicama mreže rumba na odabranim portulanskim kartama po X-osi (dX) i po Y-osi (dY) [mm, %] te vrijednosti ručne rotacije karata (θ_{man}) pri postavljanju rumba N-S u položaj paralelan s Y-osi [°] u svrhu pripreme karata za postupak georeferenciranja. 43

Tablica 5—1. Iznosi rotacije portulanskih karata (θ) [°] kao posljedica georeferenciranja uz primjenu 4–parametarske planarne konformne transformacije na kartu u odabranim referentnim projekcijama. 64

Tablica 6—1. Određivanje mjerila portulanskih karata na temelju razlike obuhvata obalne crte kopna Jadranskog mora na rotiranim portulanskim kartama i obuhvata na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1. 103

Tablica 6—2. Određivanje mjerila portulanskih karata na temelju razlike obuhvata obalne crte kopna Jadranskog mora na rotiranim portulanskim kartama i obuhvata na karti u Mercatorovoj projekciji φ_0=36°, M=1. 103

Tablica 6—3. Indeksi lokalnih povećanja mjerila (*ILPM*) portulanskih karata za odabrane luke te pučinske otoke ili otočja srednjeg Jadranskog mora i njihovi procijenjeni lokalni moduli mjerila pri georeferenciranju na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1. 109

Tablica 6—4. Iznosi portulanske milje (*1 PM calc.*) izračunani u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 114

Tablica 6—5. Iznosi portulanske milje (*1 PM calc.*) izračunani u odnosu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=36°, M=1. 114

Tablica 6—6. Izračun duljine portulanske milje (*1 PM calc.*) [km], usporedbom zapisa u portulanima s ekvivalentnim udaljenostima na karti u Mercatorovoj projekciji (φ_0=42,7°, M=1): 1) ukupni uzorak identificiranih ruta, 2) pročišćeni uzorak – rute čija se izračunana vrijednost portulanske milje [km] nalazi unutar ±1 *SD* [km] pripadajućeg ukupnog uzorka. 159

Tablica 6—7. Izračun duljine portulanske milje (*1 PM calc.*) [km] na temelju pročišćenog uzorka prekomorskih ruta na kartama u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, gnomonskoj projekciji φ_0=+42,7°, λ_0=+16,0°, M=1 i portulanskih karata georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 te standardne devijacije (*SD*) njezina iznosa [m] između pojedinih portulana, karata i dijelova Jadranskog mora – izračun *1 PM calc.* na temelju regionalne podjele Jadranskog mora izvršen je bez podataka iz portulana LdE 1200. 163

Tablica 6—8. Ukupne i regionalne razlike u srednjim apsolutnim iznosima pogreške podataka o udaljenostima portulana (kumulativni uzorak) za prekomorske rute (pod uvjetom *1 PM calc.*=1,29 km) u odnosu na udaljenosti na kartama u referentnim projekcijama (M=1) i u odnosu na udaljenosti na portulanskim kartama georeferenciranim na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1. 167

Tablica 6—9. Razlike u srednjim apsolutnim pogreškama podataka o udaljenostima za prekomorske rute (pod uvjetom *1 PM calc.*=1,29 km) iz svakog pojedinog portulana u odnosu na udaljenosti na kartama u referentnim projekcijama (M=1) i u odnosu na udaljenosti na svaku pojedinu portulansku kartu georeferenciranu na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1. 169

Tablica 6—10. Apsolutne pogreške prekomorskih kursova u portulanima [°] u odnosu na azimute referentnih ruta na karti u Mercatorovoj projekciji i u odnosu na azimute identičnih ruta na portulanskim kartama 171

Tablica 6—11. Apsolutne pogreške prekomorskih kursova tipa K–K u portulanima [°] u odnosu na azimute linija na karti u Mercatorovoj projekciji i u odnosu na azimute linija na portulanskim kartama. 172

Tablica 6—12. Apsolutne pogreške prekomorskih kursova tipa K–O i O–O u portulanima [°] u odnosu na azimute linija na karti u Mercatorovoj projekciji i u odnosu na azimute linija na portulanskim kartama. 173

Tablica 7—1. Pregled točnosti kartiranja položaja, udaljenosti i azimuta na odabranim portulanskim kartama u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji (u ovisnosti o parametru φ_0) (Slika 4—3.). 192

Tablica 7—2. Pregled upotrjebljivosti odabranih portulanskih karata u odnosu na referentnu kartu u Mercatorovoj projekciji (u ovisnosti o parametru φ_0) i iznos magnetske deklinacije (δ) iz vremena izrade svake karte prema modelu *CALS3K.4* (Slika 4—3.). 194

Tablica 10—1. Izračun duljine portulanske milje (*1 PM calc.*) [km] na temelju pročišćenog uzorka prekomorskih ruta na kartama u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1, gnomonskoj projekciji φ0=+42,7°, λ0=+16,0°, M=1 i portulanskih karata georeferenciranih na kartu u Mercatorovoj projekciji φ_0=42,7°, M=1 te standardne devijacije (*SD*) njezina iznosa [m] između pojedinih portulana, karata i dijelova Jadranskog mora 253