

Višekriterijski model za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja broda u gradnji

Rabar, Denis

Doctoral thesis / Disertacija

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:190:898853>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Denis Rabar

**VIŠEKRITERIJSKI MODEL ZA
MJERENJE USPOREDNE EFIKASNOSTI
DOKOVANJA BRODA U GRADNJI**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: prof. dr. sc. Duško Pavletić, dipl. ing.
Komentor: doc. dr. sc. Sandro Doboviček, dipl. ing.

Rijeka, 2021.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF ENGINEERING

Denis Rabar

**MULTICRITERIA MODEL FOR RELATIVE
EFFICIENCY MEASUREMENT OF THE
NEWBUILDING DRYDOCKING**

DOCTORAL DISSERTATION

Rijeka, 2021.

Mentor doktorske disertacije: prof. dr. sc. Duško Pavletić, dipl. ing.,
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Komentor doktorske disertacije; doc.dr.sc. Sandro Doboviček, dipl. ing.,
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Doktorska disertacija obranjena je dana 3. rujna 2021. godine, na Tehničkom
fakultetu Sveučilišta u Rijeci, pred povjerenstvom u sastavu:

1. _Prof. dr. sc. Zoran Jurković -predsjednik____
2. _Izv. prof. dr. sc. Marko Hadjina - član_____
3. _Izv. Prof. dr. sc. Boris Ljubenkov – član (FESB Split)_____

SAŽETAK

Dokovanje broda u gradnji dio je brodograđevnog procesa, poduzima se u samoj završnici gradnje broda te čini organizaciju poslova u doku, osposobljavanje broda za prvu samostalnu plovidbu i osiguravanje uvjeta za život i rad osoblja koje se na brod ukrcava u svojstvu posade i učesnika dokovanja kompleksnim zadatkom. Uz kompleksnost u tehničkom smislu, dokovanje je potrebno obaviti u najkraćem mogućem roku i uz optimalni trošak i kvalitetu, što će omogućiti brodu da u narednih pet godina službuje bez dokovanja. Dokovanje se koristi i kao razdoblje u kojem je moguće nadoknaditi zaostatke u prethodno započetim radovima na brodu. Za opis dokovanja koristi se procesni pristup gdje se *inputi* pretvaraju u *outpute* procesa. Za potrebe mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji postavljen je višekriterijski model koji koristi metodu analize omeđivanja podataka. Metoda analize omeđivanja podataka je neparametarska metoda koja se temelji na linearnom programiranju i u mjerenju koristi *inpute* i *outpute* iz procesa koji se promatra, svim promatranim brodovima pridružuje iznose efikasnosti, izdvaja primjere najbolje tehničke prakse te od njih daje uzore za neefikasne brodove, kao i iznose relativnih i apsolutnih poboljšanja za neefikasne brodove. Promatrani skup obuhvaća pet vrsta brodova, ukupno njih trideset i četiri, koji su dokovani u pet različitih remontnih brodogradilišta u zemlji i inozemstvu. U razmatranju *inputa* uzeti su podaci o bruto tonaži, opsegu radova na čeliku i bojenju te relativna brojnost posade, dok u *outpute* spadaju troškovi najma doka, usluga i energije iz doka, troškovi procesa bojenja, troškovi posade te troškovi transfera broda i kašnjenja u razdoblju dokovanja. Za analizu efikasnosti i pronalaženje slučajeva najbolje tehničke prakse korišteno je ukupno pet modela metode analize omeđivanja podataka. U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja efikasnosti i ovisnost iznosa efikasnosti o sezoni dokovanja, trajanju dokovanja i stvorenim troškovima poduhvata.

KLJUČNE RIJEČI: brod u gradnji, dokovanje, analiza omeđivanja podataka, višekriterijska usporedba, efikasnost

ABSTRACT

A newbuilding dry-docking is a part of the shipbuilding process, which is carried out by the completion of the newbuilding vessel, and represents a complex assignment in many respects, such as: dry-docking activities organization, establishment of the living and working conditions for the crew enlisted and making the vessel seaworthy for her first sea voyage. Besides the technical complexity of the activities, the dry-docking needs to be completed in the shortest possible time period, with optimal cost and quality, thus making the vessel ready for the next five year service period without subsequent dry-docking. The dry-docking period could be used as a period for the completion of delayed works on board of the vessel. A process approach is going to be used in the dry-docking process description using process inputs which are then transformed into process outputs. The multi-criteria model using the Data Envelopment Analysis methodology has been utilized in order to measure the newbuilding dry-docking relative efficiency. The Data Envelopment Analysis is a non-parametric method based on the Linear Programming using inputs and outputs derived from the researched process, giving the efficiency amount to all the vessels, and sorting out the benchmark vessels, which become the peers for the inefficient vessels. The improvement needed for the inefficient vessels is presented in absolute and relative values. The researched vessels set consists of five vessel types and thirty-four vessels in total. The vessels in this research were dry-docked in five domestic and foreign repair shipyards. The inputs consist of data related to gross tonnage, steelwork and coating work, as well as the relative crew number. The outputs comprise dry-dock rent and services cost, steelwork cost, coating cost, vessel transfer and delays costs. The dry-docking efficiency analysis and dry-docking benchmarking have been carried out using the five Data Envelopment Analysis models. The efficiency measurement results related to the dry-docking season, dry-docking duration and total cost have been presented in this thesis.

KEYWORDS: newbuilding, dry-docking, data envelopment analysis, multi-criteria comparison, efficiency

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Opis problema istraživanja.....	1
1.2. Svrha i cilj istraživanja.....	4
1.3. Očekivani znanstveni doprinos i hipoteze istraživanja.....	5
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	5
1.5. Metodologija istraživanja.....	15
1.6. Struktura doktorske disertacije.....	16
2. OPIS DOKOVANJA.....	18
2.1. Općenito o vrstama dokova i radovima u doku.....	18
2.2. O praksi dokovanja i povezanim troškovima.....	32
3. VIŠEKRITERIJSKO ODLUČIVANJE.....	35
3.1. Odabir metode višekriterijskog odlučivanja.....	35
3.2. Metoda analize omeđivanja podataka, uvod i osnovni pojmovi.....	44
3.3. Osnovni modeli metode analize omeđivanja podataka.....	48
3.4. Metoda analize omeđivanjem podataka na primjeru.....	51
3.5. Prednosti i ograničenja metode analize omeđivanja podataka.....	58
4. MJERENJE USPOREDNE EFIKASNOSTI DOKOVANJA.....	64
4.1. Osnovno o mjerenju usporedne efikasnosti dokovanja.....	64
4.2. Podaci za model mjerenja usporedne efikasnosti.....	65
4.3. Model mjerenja usporedne efikasnosti.....	70
4.3.1. Osnovni skup podataka s tri inputa i šest outputa, skalirani podaci.....	73
4.3.2. Odabir modela AOMP s obzirom na usmjerenje.....	73
4.3.3. Tipovi odabranih inputa i outputa.....	74
4.3.4. Ograničenja težina inputa i outputa.....	75
4.3.5. Izbor modela AOMP.....	75
4.3.6. Izračuni relativne efikasnosti odabranim modelima AOMP.....	76
4.4. Model s konstantnim prinosom (CCR) izračun.....	78

4.4.1.	CCR model, izračun s osnovnim skupom podataka.....	78
4.4.2.	CCR model, izračun sa dodatnim donositeljem odluka.....	83
4.5.	Model s varijabilnim prinosom (BCC) izračun.....	86
4.5.1.	BCC model, izračun s osnovnim skupom podataka.....	86
4.5.2.	BCC model, izračun s dodatnim donositeljem odluke.....	89
4.6.	Usporedba rezultata dobivenih modelima CCR i BCC.....	91
4.7.	Kategorijski model, CCR i BCC, usmjerenje na output.....	95
4.7.1.	Kategorijski model, osnove.....	95
4.7.2.	Kategorijski CCR model – izračun s osnovnim skupom podataka.....	97
4.7.3.	Kategorijski CCR model – izračun s dodatnim donositeljem odluke.....	100
4.7.4.	Kategorijski BCC model – izračun s osnovnim skupom podataka.....	104
4.7.5.	Kategorijski BCC model – izračun s dodatnim donositeljem odluka.....	107
4.8.	Analiza rezultata, kategorijski CCR i BCC model.....	110
4.9.	Rangiranje efikasnih DO – model super–efikasnosti.....	112
4.10.	Sinteza rezultata istraživanja.....	115
5.	ZAKLJUČAK.....	128
	LITERATURA.....	133
	POPIS OZNAKA I POKRATA	142
	POPIS SLIKA I TABLICA	145
	PRILOZI.....	148
	Prilog 1-1. Plan gradnje broda, proizvodni dio.....	149
	Prilog 2-1. Plan aktivnosti u doku.....	150
	Prilog 3-1. Matrica uporedbe kriterija, metoda AHP.....	153
	Prilog 3-2. Matrica uporedbe kriterija i alternativa, metoda AHP.....	153
	Prilog 4-1. Podaci za model AOMP.....	155
	Prilog 4-2. Model CCR, projekcije.....	157
	Prilog 4-3. Model CCR, referentni skup.....	164

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije.....	166
Prilog 4-5. Model BCC, referentni skup.....	172
Prilog 4-6. Kategorijski model CCR, projekcije.....	174
Prilog 4-7. Kategorijski model CCR, referentni skupovi.....	179
Prilog 4-8. Kategorijski model BCC, projekcije.....	181
Prilog 4-9. Kategorijski model BCC, referentni skupovi.....	186
 ŽIVOTOPIS.....	 188

1. UVOD

Uvodni dio ove doktorske disertacije obuhvaća opis problema istraživanja, svrhu i cilj istraživanja te očekivani znanstveni doprinos i hipoteze istraživanja. Pregled dosadašnjih istraživanja i osvrt na njih, kao i metodologija istraživanja i struktura doktorske disertacije, zaokružuju obuhvat uvodnog dijela.

1.1. Opis problema istraživanja

Dokovanje je dio brodograđevnog procesa u kojem se brod u gradnji smješta na suho, u dok, radi izvođenja radova i pregleda koji se ne mogu obaviti na brodu u plutajućem stanju. Dokovanje se u vremenskoj vrsti nalazi u samoj završnici procesa gradnje broda, a prije pokusne plovidbe, završnih radova i primopredaje broda te je karakteristično za izgradnju broda na navozu s kojeg se porinjava u more. Obzirom na tehnologiju gradnje broda na navozu, dokovanje je nužna aktivnost radi završnih strukturnih radova na vanjskoj oplati broda podvodno, a koje se obavlja zbog uklanjanja strukture koja je bila potrebna radi porinuća, pregleda trupa i opreme, završnih pregleda usisa mora, propulzije, kormila, podvodnih senzora različite namjene, sustava protiv elektrokorozijske te čišćenja i bojenja broda. Uobičajena je praksa da nakon dokovanja broda slijedi izvođenje pokusne plovidbe jer je za mjerenja brzine broda, snage propulzije i, posljedično, potrošnje goriva koja se izvede za vrijeme mjerne milje, kao i za ispitivanje upravljivosti broda, nužno potrebno prethodno dokovati brod radi uklanjanja potporne strukture koja je služila porinuću te obraslina s podvodnog dijela broda i obnove premaza boje za razdoblje do narednog dokovanja, u vrijeme kada će brod biti u službi.

U širem smislu, dokovanje je pothvat transfera broda iz brodogradilišta koje nema mogućnosti dokovati brod, u remontno brodogradilište koje u doku smješta brod na suho radi njegova pregleda i radova na podvodnom dijelu broda. Neovisno o dokovanju, vrijeme boravka broda u doku koristi se za obavljanje zaostalih radova iz prethodnih faza gradnje broda, poglavito radova opremanja i bojenja. Rezultat dokovanja je brod sposoban za izvršenje pokusne plovidbe u punom opsegu. Isto tako, brod je nakon uspješno okončanog dokovanja spreman za službu (koja započinje nakon primopredaje broda naručitelju) i interval do narednog dokovanja koji, ovisno o propisima

klasifikacijske ustanove i zahtjevima naručitelja broda, može biti između dvije i pol do pet godina.

Plan koji prikazuje dio gradnje broda u dijelu brodograđevnog procesa koji je vidljiv u proizvodnim halama, navozu i opremnoj obali kvalitativno je prikazan u **Prilogu 1-1** i uključuje ključne događaje u proizvodnom dijelu gradnje broda: a) početak rezanja čelika; b) polaganje kobilice na navoz; c) porinuće broda; d) dokovanje; e) pokusna plovidba; f) primopredaja broda naručitelju. U **Prilogu 1-1** vidljiv je položaj aktivnosti povezanih s dokovanjem i samog dokovanja u odnosu na ostale proizvodne aktivnosti. Moguće je primijetiti da u terminu dokovanja nema prikazanih aktivnosti koje se obavljaju usporedno s dokovanjem, stoga je jasno vidljivo da je dokovanje na kritičnom putu aktivnosti procesa gradnje broda. Radi pojednostavljenja prikaza brodograđevnog procesa nisu prikazani procesi ugovaranja broda, osnivanja broda, projektiranja brodske strukture i opreme, specifikacija materijala za izradu broda i opreme za ugradnju, konstruiranja brodske strukture i opreme, razradu tehnologije za izgradnju broda, nabave, skladištenja i logistike materijala za gradnju broda, što bi brodograđevni proces učinilo znatno složenijim za prikaz.

Po svojim značajkama dokovanje je složen pothvat koji obuhvaća prvo isplovljenje broda u gradnji pomoću vlastitog pogona koje uključuje: a) gotovost brodske strukture; b) dovoljnu gotovost opremnih radova; c) testiranje i integraciju brodskih strojeva i uređaja u funkcionalnu sustavnu cjelinu, po proizvodnji i distribuciji električne energije, sustavima za daljinski nadzor i upravljanje, sustavima goriva, maziva i rashlade, protupožarnim i vatrodoljavnim sustavima, sustavima za komunikaciju i navigaciju, sustavima za spašavanje te sustavima za održavanje života na brodu; d) opremljenost nastambe broda za život i rad posade; e) sposobnost za samostalnu plovidbu.

U pothvat dokovanja uključeni su brodogradilište graditelj broda, remontno brodogradilište u kojem se obavlja dokovanje, isporučitelj premaza/boje, predstavnici naručitelja broda i predstavnici klasifikacijske ustanove. Kompleksnost poduhvata dokovanja broda u gradnji iskazuje se, s jedne strane kao tehnički i tehnološki izazov privođenja završetku procesa gradnje broda, a s druge kao nastavak izvođenja radova na gradnji broda na drugom mjestu, sa svim logističkim izazovima po obavljanju radova i osiguravanju uvjeta za život i rad učesnika dokovanja. Troškovna strana pothvata dokovanja je značajna stavka završnog dijela procesa gradnje broda

Odluka o mjestu i terminu dokovanja broda je za menadžment brodogradilišta važna zbog okolnosti prebacivanja brodograđevnih aktivnosti na drugu lokaciju, mogućnosti da se za vrijeme dokovanja obave neki radovi koji su u zakašnjenju, rizika prve plovidbe broda, rizika dokovanja broda, logističkih izazova te troškova koji nastaju za vrijeme odvijanja pothvata dokovanja.

Cilj ovoga istraživanja je pronaći način mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja broda u gradnji korištenjem metodologije višekriterijskog odlučivanja. Mjerenjem usporedne efikasnosti različiti se pothvati dokovanja brodova u gradnji svode na mjeru efikasnosti i postaju međusobno usporedivi. Korištenje metode višekriterijskog odlučivanja po principu „ex post“ omogućuje usporedbu već obavljenih pothvata kao temelj za poboljšanje u odlučivanju o budućim pothvatima dokovanja.

Obzirom na važnost pothvata dokovanja, ovim radom se predlaže model za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja broda u gradnji kao tehnički i troškovno zahtjevnog poduhvata koji se nalazi na kritičnom putu aktivnosti procesa gradnje broda.

Svrha stvaranja modela za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja je, uz samo mjerenje, i određivanje uzroka neefikasnosti promatranog procesa. S obzirom da se uzroci neefikasnosti koji su nastali ranije u brodograđevnom procesu manifestiraju za vrijeme dokovanja, određivanje uzroka ima i šire značenje za cjelokupni proces.

Pri odabiru metodologije koja će se koristiti za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja, nastojat će se izabrati metoda koja zahtijeva najmanju moguću mjeru subjektivnosti u odlučivanju, a težište će biti na proračunima i zaključcima temeljenim na prikupljenim podacima.

U kontekstu ovoga rada izrazi: „usporedna efikasnost“, „relativna efikasnost“ i „efikasnost“ imaju jednako značenje, pa će se radi kratkoće i jasnoće izričaja tijekom razrade tematike koristiti izraz „efikasnost“.

Za potrebe ovog rada, brodom se smatra plovilo čeličnog trupa, s vlastitom propulzijom, namjene prijevoza tereta cijelim svijetom, osim područjima potpuno ili djelomično pokrivenima ledom, duljine veće od 100 metara, trupa izgrađenog na navozu te porinutog i dovršenog na opremnoj obali u plutajućem stanju.

Predmet istraživanja je pothvat dokovanja broda u gradnji kao dijela procesa gradnje broda.

Motivi za izradu ove doktorske disertacije rezultat su želje autora za sintezom znanja i iskustava stečenih radom u brodogradilištu i znanstveno-istraživačkih metoda koje zajedno korištene daju mjerljive rezultate jednog dijela procesa gradnje broda.

U ovom istraživanju i radu bit će korišteni obrađeni podaci s dokovanja koje je u svojem djelovanju prikupljao autor te njegova iskustva s dokovanja trideset i četiri broda u gradnji. Podaci su prikupljeni u razdoblju od 2002. do 2013. godine. Dobivena rješenja bit će vrednovana u odnosu na literaturu, iskustva i osobitosti promatranih dokovanja.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Cilj ovog rada je izrada modela mjerenja usporedne efikasnosti pothvata dokovanja broda u gradnji, koje će se provesti odabranom metodom višekriterijskog odlučivanja.

Ovaj će rad obrađivati podatke prikupljene na dokovanjima brodova u gradnji, uzimajući u obzir: a) različite tipove brodova i njihove karakteristike; b) različita remontna brodogradilišta gdje su dokovanja izvedena; c) odstupanja od planiranih aktivnosti; d) doba godine u kojem su dokovanja izvedena; e) vrijeme provedeno u moru nakon porinuća; f) relativne troškove po kategorijama aktivnosti od transfera broda do aktivnosti na brodu u doku; g) duljinu trajanja dokovanja. Nakon obrade podataka, pristupit će se njihovoj analizi, prepoznavanju granica efikasnosti dokovanja i slučajeva najbolje prakse te analizi potrebnih poboljšanja za postizanje efikasnosti kod manje efikasnih slučajeva.

Ciljevi istraživanja mogu se sažeti u aktivnosti:

- procesno opisati postupak dokovanja broda u gradnji sa stajališta organizacije posla i procesa gradnje broda
- istražiti dio brodograđevnog procesa koji se bavi završnim radovima prije primopredaje broda, s pripadnom recentnom znanstvenom i stručnom literaturom
- utvrditi međusobnu povezanost i utjecaj tehničkih i poslovnih parametara dijela brodograđevnog procesa koji se bavi dokovanjem novogradnje
- teorijski i empirijski znanstveno utemeljeno formulirati rezultate istraživanja
- predložiti model mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja broda u gradnji, sa smjernicama za uporabu modela i u drugim područjima proizvodnih operacija

- odrediti izvore neefikasnosti poduhvata dokovanja broda u gradnji.

1.3. Očekivani znanstveni doprinos i hipoteze istraživanja

Očekivani znanstveni doprinos rada očituje se u provedenom empirijskom i znanstveno utemeljenom mjerenju usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji odabranom metodom te u izradi modela koji služi mjerenju usporedne efikasnosti poduhvata dokovanja broda. Specifičnost ovoga rada je u tome da u Hrvatskoj dosad nije provedeno mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji, a prema autorovim spoznajama do sada nije nigdje u svijetu korištena metoda višekriterijskog odlučivanja u analizi efikasnosti dokovanja. Slijedom navedenog proizlazi temeljna hipoteza (H_0) ovog istraživanja:

- H_0 : primjenom metode višekriterijskog odlučivanja moguće je razviti učinkovit model mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja.

Iz temeljne hipoteze izvode se pomoćne hipoteze:

- H_1 : rezultati uporabljenog modela izračuna rezultata i interpretacija tih rezultata pomažu pri odlučivanju vezano za termine, način izvedbe i troškove poduhvata dokovanja
- H_2 : metoda višekriterijskog odlučivanja primjenjiva je u analizi i određivanju usporedne efikasnosti dokovanja broda u gradnji.

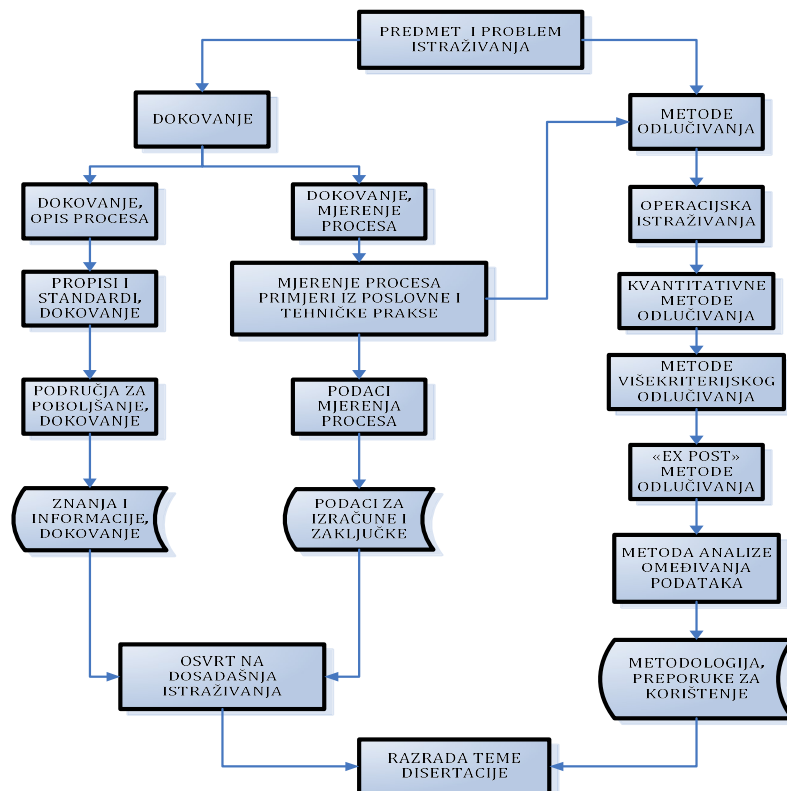
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Pregled dosadašnjih istraživanja podijeljen je na cjeline koje se bave:

- istraživanjima procesa i prakse dokovanja, karakteristikama postrojenja za dokovanja, te opisima procesa gradnje broda

- istraživanjima mjerenja procesa dokovanja broda, poglavito trajanja dokovanja i remonta brodova
- istraživanjima višekriterijskih metoda odlučivanja s njihovom primjenom
- istraživanjima mjerenja efikasnosti remontnih brodogradilišta
- istraživanjima korištenja metode analize omeđivanjem podataka.

Na **Slici 1-1** prikazan je blok dijagram pojednostavljenog tijeka pregleda dosadašnjih istraživanja po kategorijama koje su važni za daljnju razradu doktorske disertacije.



Slika 1-1. Prikaz tijeka pregleda dosadašnjih istraživanja

S ciljem stjecanja općenitih znanja o tijeku izrade doktorske disertacije korišteno je djelo **Dunleavya (2005)** kao priprema za istraživanja i izvedbu pothvata izrade ove doktorske disertacije.

Dosadašnja istraživanja vezana za dokovanje brodova odnose se isključivo na brodove u službi i analize proizvodnih kapaciteta remontnih brodogradilišta, bilo u stručnom, bilo u znanstvenom opsegu.

U dijelu literature koja se bavi brodograđevnim temama i dokovanjima, **House (2015)** opisuje povijest dokovanja, vrste dokova, operacije uplovljavanja u dok te

aktivnosti na popravcima koji se obavljaju u doku, usput objašnjavajući praksu dokovanja, uključivo odnose remontnog brodogradilišta s brodarom i posadom broda te ulogom klasifikacijske ustanove u pregledima i procjeni sposobnosti broda za službu nakon izvršenih radova u doku. Djelo daje okvir za opisivanje aktivnosti u remontu broda.

Butler (2012) opisuje radove na remontu brodova počevši od strukture, opreme na podvodnom dijelu (propulzija, kormilo, ventili i senzori) pa do popravaka cjevovoda s opremom, brodskih strojeva i uređaja, uključivo i elektroinstalaciju, s osvrtom na planiranje radova i procjenu utrošaka radnog vremena za obavljanje radova u remontu broda. Sadržaj ovog djela daje uvid u operativno djelovanje remontnog brodogradilišta.

Razradu brodograđevnog nazivlja, osnovne tipove brodova i osnovne geometrijske karakteristike brodova te razloge za obavljanje dokovanja opisao je **Van Dokkum (2003)**.

Opis prakse uzdužnog i bočnog porinuća opisao je **Eyres (2001)** te težište razmatranja stavio na potpornu strukturu i uređaj za zadržavanje broda na kosini navoza koji je smješten između brodskog trupa i saonica navoza do i za vrijeme porinuća. Važnost načina i prakse porinuća je u tome da ima utjecaja na opseg radova na brodu za vrijeme prvog dokovanja.

Pregled postrojenja za dokovanje brodova s iscrpnim podacima o dokovima po značajkama duljine, širine, gaza i nosivosti broda koji se ima dokovati te podacima o dizalicama, transportnim putovima i pratećim postrojenjima koje koriste remontna brodogradilišta prikazani su u *Drydock Facilities Handbook*, **US DoD, (1988)** i izvor su vrijednih podataka za brodogradilište čiji se brod u gradnji ima dokovati. Podaci mogu služiti u procjeni mogućnosti remontnog brodogradilišta da obavi dokovanje broda i u procjeni opsega posla koji se na brodu u doku može obaviti neovisno o radovima u doku, a ovisi o logističkoj potpori remontnog brodogradilišta.

Uz navedene podatke o značajkama remontnih postrojenja, korisne podatke za pregled postrojenja za dokovanje koje brodogradilište graditelj može poduzeti prije poduzimanja pothvata dokovanja daje priručnik *Strenght Properties of Drydock Timbers and Blocks*, **US DoD (1991)**, koji opisuje materijale, strukturu i nosivost potklada u doku, što može biti od pomoći autorima nacrtu plana dokovanja. Nacrt pod nazivom Plan dokovanja određuje način potklađivanja broda u doku. Plan dokovanja izrađuje se u brodogradilištu koje gradi brod i šalje se remontnom brodogradilištu zajedno sa upitom o mogućnosti i uvjetima dokovanja.

Korisni podaci o dokovima te o podacima i dokumentaciji koji su potrebni remontnom brodogradilištu za prihvata broda na dokovanje pronađeni su u Dock Master Training Manual-u (**Heger Inc, 2005**). Djelo opisuje praktične aspekte dokovanja koji imaju utjecaj na uspješnost dokovanja, što može biti korisno za osoblje remontnog brodogradilišta, ali i za osoblje brodogradilišta koje gradi brod kao informacija i znanje o pripremi i planiranju dokovanja broda u gradnji. Uska suradnja između remontnog brodogradilišta i brodogradilišta koje gradi brod rezultira dobrom razmjenom podataka između oba brodogradilišta. I konačno, izvođenjem dokovanja broda na siguran i efikasan način te mogućim manjim troškovima i kraćim vremenom trajanja dokovanja povećava se efikasnost pothvata dokovanja.

Opseg periodičkih pregleda u doku, koji uključuje i inicijalni pregled koji se obavlja za vrijeme gradnje broda od strane inspektora klasifikacijskih ustanova reguliran je propisima Međunarodnog udruženja klasifikacijskih ustanova (*International Association of the Classification Societies (IACS)*), dokumentom pod nazivom *Unified Requirements Z3, Periodical Survey of the Outside of the Ship's Bottom and Related Items, Revision 8*, **IACS (2019)**, koji su prihvaćeni od klasifikacijskih ustanova.

U literaturi koja se bavi mjerenjem i ocjenom procesa dokovanja nalazi se rad **Naffisah i sur. (2014)** u kojem autori razrađuju procjenu trajanja dokovanja broda pomoću metode neuronskih mreža, uvodeći algoritam za procjenu trajanja dokovanja broda.

Surjandari i sur. (2013) koriste metodu rudarenja podataka za procjenu trajanja dokovanja brodova. **Surjandari i sur. (2015)** procjenjuju trajanje dokovanja korištenjem metode kolonije mrava kombinirane s metodom stabla odlučivanja. Istraživanje se temelji na sedmogodišnjem razdoblju, a za procjenu trajanja dokovanja koristi trideset i pet atributa.

Dev i Saha (2015) obrađuju podatke dokovanja metodom linearne regresije stvarajući model za predviđanje trajanja dokovanja ovisno o veličini i starosti broda, uzimajući u obzir uzorak od 600 trgovačkih brodova dokovanih u jednom brodogradilištu.

San Cristóbal (2015) se bavi predviđanjem troškova i vremena dokovanja broda u remontu korištenjem S-krivulje vremena i troška uz pomoć sive relacijske analize (*Gray System Theory*), promatrajući proces dokovanja kao zasebni projekt.

Apostolidis i sur.(2012) razvili su model predviđanja troškova dokovanja za tankere u ovisnosti o nosivosti, tipu i starosti tankera. Uz osnovnu temu predviđanja

troškova dokovanja, zanimljiv je i dio članka koji prikazuje podatak da najveći pojedinačni trošak službe tankera čine troškovi posade broda.

Dev i Saha (2016) bave se razradom modela utroška radnih sati na brodovima u remontu metodom višestruke regresije ovisno o nosivosti, tipu i starosti broda te opsegu posla potrebnog za bojenje i zamjenu čelika i cjevovoda.

Odnose trajanja dokovanja i utroška radnih sati ovisno o tipu, starosti i nosivosti broda analizirali su i u obliku tablica i grafikona prezentirali **Dev i Saha (2018)**.

Nakon istraživanja literature o praksi dokovanja i opisu procesa dokovanja i srodnih aktivnosti u završnim radovima izgradnje broda, pristupilo se istraživanju literature o metodama odlučivanja i mjerenju procesa.

Metode odlučivanja, koje započinju intuitivnim pristupom svakog pojedinca rješavanju postavljenog problema, preko prikaza ograničenja intuitivnog odlučivanja do metoda analitičkog odlučivanja, bilo odabirom između mogućih rješenja ili pak metodama mjerenja efikasnosti, opisali su **Korhonen i Wallenius (2020)** u svome djelu kojim daju općenit pristup mehanizmima odlučivanja, savjete za izbjegavanje zamki u procesu odlučivanja te smjernice oblikovanja modela za odlučivanje.

Istraživanje se jednim dijelom povelu u području *operacijskih istraživanja* koja se, prema Hrvatskom društvu za operacijska istraživanja (**HDÖI,1994**), bave matematičkim modeliranjem realnih procesa u svrhu donošenja optimalnih odluka.

Uvod u modelski pristup operacijskih istraživanja i mjerenje procesa u svojem su djelu dali **Lukač i Neralić (2012)**, uz opis znanstvenog područja operacijskih istraživanja u kojem se proučavaju matematički modeli i modeli optimizacije kako bi se znanstvenim pristupom rješavanju pomoglo pri donošenju boljih odluka u upravljanju složenim sustavima.

Pregled područja metoda odlučivanja koje koriste linearno programiranje kao osnovu za djelovanje rezultirao je nalazom nekoliko zanimljivih metoda.

Metodu ciljnog programiranja (*Goal Programming*) uveli su **Charnes i Cooper (1961)** kao pragmatičnu metodu koja omogućuje odabir pravog rješenja između beskonačnog broja rješenja, a temelj joj je linearno programiranje.

U područje operacijskih istraživanja, u dijelu mjerenja procesa, uvedena je metoda analize omeđivanja podataka (*Data Envelopment Analysis, DEA*) **Charnesa i sur. (1978)** koja se služi metodologijom linearnog programiranja za dodjeljivanje iznosa efikasnosti svakom entitetu kojega se promatra.

Analiza stohastičke granice (ASG) (*Stochastic Frontier Analysis*, SFA) je prema **Coelli i sur. (1998)** metoda koja mjeri efikasnost razmatranih entiteta. Za razliku od analize omeđivanja podataka koja se koristi metodologijom linearnog programiranja, ASG koristi ekonometrijske metode. ASG su istodobno uveli **Aigner i sur. (1977)** te **Meeusen i van der Broeck (1977)**. Područje višekriterijskog odlučivanja obradili su **Belton i Stewart (2002)**. U uvodnom dijelu objasnili su česte zablude u odlučivanju, predstavili metode višekriterijskog odlučivanja i dali uvid u kompleksnost matematičkog modeliranja koje je dio operacijskih istraživanja.

Metodu analitičkog hijerarhijskog procesa (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) uvodi **Saaty (1980)**. Prema **Saaty (2008)**, AHP se temelji na usporedbi parova alternativnih rješenja zadanog problema u odnosu na postavljene kriterije i procijenjene težine te se oslanja na mišljenja stručnjaka koji izvode težine/prioritete važnosti svake promatrane alternative. U literaturi je obrađena uporaba metode AHP u procjeni rizika za konstrukcije mostova prema **Wang i sur. (2008)** koja je dala smjernice za daljnja istraživanja uporabe metode AHP. Između ostalih rješenja, izračuni prema AHP metodologiji mogu se izvoditi on-line softverom AHP-OS razvijenim prema **Goepel (2018)**.

Metodu TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) su **Qin i sur. (2008)** definirali kao pristup koji izabire alternativu rješenja koja se nalazi najbliže pozitivnoj idealnoj alternativni rješenja, a najdalje od negativne idealne alternative rješenja. Metoda se koristi za odabir najbolje između ponuđenih alternativa.

Nadogradnja metode TOPSIS nazvana je VIKOR (*Višekriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje*) koju uvodi **Opricović (1998)** i koja je doživjela svoje nadogradnje.

Dodavanje težina svakom atributu koji opisuje alternativu rješenja te iznalaženje najbolje alternative zbrajanjem umnožaka težina i atributa, svojstva su metode SAW (*Simple Additive Weighting*) koja je vrlo intuitivna za osobe koje donose odluke. Metodu SAW u znanost su uveli **Hwang i Yoon (1981)**.

PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) je metoda koju su uveli **Brans i Vincke (1985)**, a temelji se na međusobnoj usporedbi parova svih alternativa u odnosu na postavljene kriterije kojima se dodjeljuju težinski koeficijenti te rezultira rangiranjem alternativa rješenja postavljenog problema.

U dijelu istraživanja i pretraživanju literature koja opisuje metode višekriterijskog odlučivanja, među pregledanim znanstvenim radovima koji se bave usporedbom višekriterijskih metoda odlučivanja potrebno je istaknuti rad **Velasquesa i Hestera**

(2013) koji su obradili ukupno jedanaest metoda za višekriterijsko odlučivanje s njihovim glavnim odlikama, područjem uporabe te prednostima i nedostacima. Za homogene i precizno opisane skupove podataka te procese s višestrukim *inputima* i *outputima*, navodi autora sugeriraju metodu analize omeđivanja podataka.

Kumar i sur. (2017) usporedili su ukupno osam metoda višekriterijskog odlučivanja u području održivog razvoja obnovljivih izvora energije i dali pregled prednosti i ograničenja pojedinih metoda.

Aruldoss i sur. (2013) analizirali su metode višekriterijskog odlučivanja te prezentirali prednosti i ograničenja svojstvena pojedinim metodama.

Podjelu metoda višekriterijskog odlučivanja na višeatribucijske i višeciljne, gdje je svaka spomenuta metoda popraćena kratkim opisom, svojstvima i uporabom u uvodnom dijelu zbirke radova, dao je **Kahraman (2008)**.

Mortimer (2002) je usporedio metode operacijskih istraživanja, metodu analize stohastičke granice (ASG) i metodu analize omeđivanja podataka (AOMP).

Sarkis (2000) uspoređuje ukupno osam metoda višekriterijskog odlučivanja, nalazeći pogodnosti metode analize omeđivanja podataka kao temelja za procjenu efikasnosti aktivnosti promatranog procesa i u području mjerenja produktivnosti u procesima ili dijelovima procesa te mjerenju efikasnosti organizacija koje se opisuju odnosima procesnih parametara i produktivnošću procesa. U njegovom se radu elaborira izostanak potrebe za ekspertnim mišljenjem u određivanju težina kriterija pri izračunu efikasnosti metodom analize omeđivanja podataka.

Pretraživanjem dostupne literature pronađeni su primjeri korištenja metode višekriterijskog odlučivanja u analizi remontnih brodogradilišta koja između ostalih remontnih radova obavljaju i dokovanja.

Analizu dvanaest kineskih remontnih brodogradilišta proveli su **Yang i sur. (2017)**, pri čemu je prva analiza učinjena usporedbom brodograđevnih postrojenja, dok je druga analiza uključila uz postrojenja i radnu snagu.

Procjena efikasnosti remontnih brodogradilišta za održavanje flote trajekata na istočnoj obali Sjedinjenih Američkih Država tema je rada **Mayo i sur. (2020)** u kojem oni koriste metodu analize omeđivanja podataka.

Primjere višekriterijskih metoda odlučivanja, s težištem pretrage na „ex post“ metode u području proizvodnih operacija opisali su **Jain i sur. (2011)** razmatrajući procese proizvodnje u montaži proizvoda i kontinuirani proizvodni proces. Pokazali su

moгуćnost mjerenja efikasnosti procesa metodom analize omeđivanja podataka i osjetljivost metode na uvođenje promjena u proizvodnom procesu.

Farris i sur. (2006) iskoristili su metodu analize omeđivanja podataka u višeprojektnom okolišu vojne organizacije za vrednovanje projekata po važnosti i vremenu izvedbe.

Radovi koji koriste metodu analize omeđivanja podataka u području brodogradnje i općenito proizvodnim procesima bave se usporedbom efikasnosti brodogradilišta u svijetu.

Razradu ciljanih efikasnosti brodograđevnog procesa i pomoći u odlučivanju odabira industrijske politike metodom analize omeđivanja podataka, koristeći se usporedbom između vodećih svjetskih brodogradilišta iz Europe, Japana, Koreje i Kine s postojećim brazilskim brodogradilištem i dva hipotetička brodogradilišta u Brazilu, uzimajući u obzir tehnološku razvijenost okoline, veličinu potrebnog prostora za brodograđevnu aktivnost i cijenu radne snage, opisali su **Pires i sur. (2008)** te dali prijedloge za mjesta gradnje i kapacitete za brazilsku brodograđevnu industriju.

Pires i sur. (2009) koriste metode analize omeđivanja podataka i analitičkog hijerarhijskog procesa za mjerenje efikasnosti dvanaest brodogradilišta iz značajnih brodograđevnih područja (Koreja, Kina, Japan, Europa) te nalaze slučajeve najbolje poslovne prakse, a za ostala promatrana brodogradilišta predlažu razinu poboljšanja koja su potrebna za dostizanje najboljih.

Mjerenje efikasnosti i produktivnosti sedam velikih korejskih brodogradilišta u razdoblju od 2004. do 2009. godine metodom analize omeđivanja podataka provodi **Park (2010)**.

Za mjerenje produktivnosti brodograđevnog procesa uz uvriježenu mjeru utroška radnih sati i proizvodnosti brodograđevnog procesa po kompenziranoj bruto toni (cGT) izgrađenog broda **Krishnan (2012)** predlaže mjerenje parametara brodograđevnog procesa metodom analize omeđivanja podataka kao dopunu pokazatelju utroška radnih sati po cGT-u.

Lee (2013) daje prikaz analize djelovanja malih i srednjih brodogradilišta u Koreji koristeći osnovne AOMP modele u mjerenju tehničke efikasnosti brodogradilišta. U radu se efikasnost mjeri u duljem promatranom razdoblju, a onda koristi analizu prozora u kojoj se brodogradilišta uspoređuju na godišnjoj razini.

Zhang i Liu (2014) izvode mjerenje efikasnosti brodograđevnih kapaciteta kineske provincije Jiangsu koja je 2012. godine obuhvaćala približno 15% svjetske brodograđevne proizvodnje prema nosivosti izgrađenog brodovlja. U svom su radu koristili osnovne modele metode analize omeđivanja podataka i njihov odnos, a sve uočavajući trend smanjenja narudžbi te posljedično manju zaposlenost kapaciteta i smanjenje efikasnosti procesa. Istraživanje je obuhvatilo petogodišnje razdoblje od 2007. do zaključno 2011. godine.

Usporedbom efikasnosti hrvatskih brodogradilišta bavi se **Rabar (2015)**. Koristeći više modela metode analize omeđivanja podataka i promatrajući najveća hrvatska brodogradilišta (u to doba pet brodogradilišta) u petogodišnjem razdoblju, u radu se analiziraju odnosi tehničke i čiste tehničke efikasnosti te efikasnosti po obujmu, a predlaže i mjere za njihovo poboljšanje.

Mjerenje efikasnosti 19 indijskih brodogradilišta proveo je **Chudasama (2016)**, dajući pregled izmjerene efikasnosti i prijedloge poboljšanja za neefikasna brodogradilišta.

U području izrade sekcija brodskog trupa, **Park i sur. (2014)** razrađuju sustav mjerenja efikasnosti i planiranja izrade brodskih sekcija temeljen na optimizaciji redoslijeda izrade, s uključenim praćenjem utrošaka vremena izrade, vremena čekanja te utrošaka resursa koristeći metodu analize omeđivanja podataka.

Pretragom raspoložive znanstvene literature nije pronađen rad koji opisuje mjerenje efikasnosti dokovanja brodova u gradnji. Štoviše, analize provedene na brodovima koji su upućeni na dokovanje govore isključivo o procjeni trajanja dokovanja i procjeni efikasnosti, odnosno sposobnosti remontnih brodogradilišta za obavljanje poslova. Pronađena je uporaba metode analize omeđivanja podataka u mjerenju efikasnosti drugih proizvodnih procesa, usporedbe različitih proizvodnih entiteta i procjene mogućnosti poboljšanja za manje efikasne entitete.

Rezultati istraživanja literature pokazuju da nema slučaja analize efikasnosti dokovanja broda sa stajališta brodograditelja ili brodovlasnika metodom analize omeđivanja podataka koja bi mogla predstavljati alat za analizu efikasnosti u ovome radu.

Adler i sur. (2002) obrađuju metodu rangiranja rezultata u okviru metode analize omeđivanja podataka i zaključuju da je metoda analize omeđivanja podataka pogodna za *ex post* analize poduhvata iz prošlosti, a iz kojih je moguće stvoriti zaključke koji su korisni za buduće poduhvate, za razliku od ostalih metoda višekriterijskog odlučivanja koje se

bave optimalnim rješenjima isključivo u budućnosti, *ex ante*, a bez analize prošlih poduhvata. Rad daje naznake rješenja za rangiranje efikasnih entiteta što ga čini značajnim za razradu ove disertacije.

Hadad i Hanani (2011) proučavaju metode višekriterijskog odlučivanja, a fokus istraživanja je na metodama analitičkog hijerarhijskog procesa i metodi analize omeđivanja podataka. Oni daju prednost metodi analize omeđivanja podataka zbog njezine karakteristike da objektivno dodjeljuje težine kriterijima temeljem kojih se mjeri efikasnost, a predlažu korištenje metode analitičkog hijerarhijskog procesa za rangiranje efikasnih entiteta. Autori nastoje isključiti subjektivnost eksperata u određivanju kriterija za odlučivanje u najvećoj mogućoj mjeri, a to postižu kombinacijom metoda za višekriterijsko odlučivanje.

U kontekstu managementa, matematičko programiranje se uobičajeno koristi za vrednovanje mogućih smjerova djelovanja i odabira najboljeg puta. U slučaju AOMP, matematičko programiranje koristi kao pomoć menadžmentu u planiranju. Metoda AOMP koristi matematičko programiranje za *ex post* vrednovanje rezultata, odnosno postignuća menadžmenta, bilo da su već obavljena ili su tek u planu. U slučaju AOMP, prošireno je korištenje matematičkog programiranja kao alata za vrednovanje obavljenih pothvata kao i alata za pomoć u budućim pothvatima, kako navode **Banker, Charnes i Cooper (1984)**.

Pregled literature koja opisuje metode višekriterijskog odlučivanja navodi na zaključak da je metoda analize omeđivanjem podataka pogodna za izvođenje procesa odlučivanja po „*ex post*“ metodi, za skupove promatranih entiteta s homogenim skupom preciznih podataka i implicitno određenim odnosima između *inputa* i *outputa*. Važna je okolnost da metoda analiza omeđivanje podataka uključuje veliki broj modela koji mogu uključivati različite tipove prirasta *outputa* te različita ograničenja *inputa* i *outputa* promatranih entiteta i njihovih procesa, mogu se prilagoditi procesu i entitetima koji se promatraju, a moguća je i kombinacija različitih metoda višekriterijskog odlučivanja u procesu mjerenja efikasnosti entiteta i pronalaženju slučajeva najbolje tehničke prakse, kao i rangiranju entiteta po efikasnosti.

Istraživanja literature koja opisuje metodu analize omeđivanja podataka imaju za rezultat velik broj radova koji opisuju metodu i njene primjene. Tako, primjerice, **Thanassoulis i Silva (2018)** daju prikaz djelovanja metode analize omeđivanja podataka u slučajevima stalnog ili promjenjivog prinosa, te prikaz *inputa* i *outputa* u obliku omjera

pokazatelja koji opisuju proces, bilo na strani *inputa* ili na strani *outputa* procesa. Namjera je autora opisati metodu analize omeđivanja podataka kao poboljšanje sustava ključnih pokazatelja procesa koji se uobičajeno koriste u praćenju proizvodnog i/ili poslovnog procesa.

Rickards (2003) opisuje okolnosti potrebe za mjerenjem efikasnosti u poslovnim procesima temeljem podataka koji su dobiveni sustavom *balanced score carda* uz pomoć metode analize omeđivanja podataka, dajući teorijski temelj u prikazu krivulja regresije i granice efikasnosti i daljnji prikaz primjene metode omeđivanja podataka za mjerenje efikasnosti poslovnih jedinica.

Korištenje metode omeđivanja podataka za usporedbu i mjerenje efikasnosti u višeprojektnom okruženju opisali su **Vitner i sur. (2006)** demonstrirajući vrijednost metode za određivanje relativne efikasnosti pojedinog projekta u odnosu na ostale promatrane projekte, što pokazuje mogućnosti metode za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja, gdje svako dokovanje predstavlja odvojeni pothvat ili projekt.

Iz fonda istražene literature svakako bi trebalo izdvojiti radove koji sugeriraju ispravan način modeliranja skupa podataka i postupak koji metodu analize omeđivanja podataka čini djelotvornom za odabir, izračun i analizu podataka. Tako, primjerice, **Golany i Roll (1989)** predlažu metodologiju izbora entiteta za razmatranje, sistematizaciju podataka i blok dijagram aktivnosti na putu od prikupljanja podataka do analize dobivenih rezultata.

Sarkis (2007) te **Cook i sur. (2014)** savjetuju autore koji koriste metodu analize omeđivanja podataka u svojim radovima o usmjerenju modela, o odabiru *inputa* i *outputa* te brojnosti *inputa* i *outputa* u odnosu na broj promatranih entiteta (donositelja odluka). Na kraju naglašavaju kvalitete metode analize omeđivanja podataka kao metode za usporedbu promatranih entiteta s primjerima najbolje prakse, a metodu kao dio sustava za potporu odlučivanju.

1.5. Metodologija istraživanja

Prilikom znanstvenog istraživanja i stvaranja doktorske disertacije koristit će se sljedeće znanstvene metode (prema **Zelenika (1998)**): a) metoda generalizacije – kojom se do općeg pojma dolazi uopćavanjem pojedinačnog; b) metoda specijalizacije – uz

pomoć koje se usmjeravanjem općeg dolazi do pojedinačnog pojma; c) metode apstrakcije i konkretizacije – koje služe za stvaranje teorijskih i praktičnih modela pojava koje znanost istražuje; d) metoda klasifikacije – koja čini sistematsku i potpunu podjelu općeg pojma na posebne pojmove koje on obuhvaća (koristi se pri svrstavanju razmatranih tehničkih i poslovnih pokazatelja dokovanja novogradnje u skupine *inputa* ili *outputa* te proučavanju referentnih skupova neefikasnih entiteta); e) metoda analize – koja služi raščlani složenih misaonih cjelina na njihove jednostavnije sastavne dijelove izučavanjem svakog dijela za sebe i u odnosu na druge dijelove (koristi se pri izboru odgovarajućih modela za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja, pri čemu se utvrđuju ograničenja tih modela i predlažu rješenja, kao i prilikom tumačenja rezultata dobivenih primjenom odabranih modela); f) metoda sinteze – koja spaja jednostavne misaone tvorevina u složene, a složene u još složenije kako bi se izdvojeni elementi, pojave, odnosi ili procesi povezali te kako bi se donio sud u cjelini (koristi se za prikaz rezultata svih korištenih modela u obliku zaključka); g) komparativna metoda – koja služi usporedbi istih ili srodnih činjenica, pojava, odnosa i procesa, odnosno utvrđivanju njihove sličnosti u ponašanju i intenzitetu te razlika među njima (koristi se za usporedbu rezultata efikasnosti dokovanja); h) metoda deskripcije – koja služi jednostavnom opisivanju ili ocrtavanju činjenica, procesa ili predmeta u promatranom procesu te empirijskog potvrđivanja njihovih odnosa ili veza (koristi se prilikom opisa procesa dokovanja broda novogradnje te okolnosti nastanka neefikasnosti pojedinih entiteta i konačno obrazlaganja prednosti članova referentnog skupa za svaki neefikasn entitet/brod novogradnju); i) metoda modeliranja – kao istraživački postupak u kojem se izgrađuje sustav, u ovom slučaju matematički model koji zamjenjuje predmet ili pojavu koja se istražuje (model konkretnog u apstraktnom).

Spomenute metode biti će korištene u razradi teme ovoga rada.

1.6. Struktura doktorske disertacije

Ova doktorska disertacija podijeljena je na pet poglavlja i dodatke, kako slijedi:

- U prvom poglavlju, koje je ujedno i uvodno, opisan je predmet istraživanja, dan je pregled dosadašnjih istraživanja vezanih za dokovanje brodova, zatim radova koji primjenjuju metodu analize omeđivanja podataka u brodogradnji i radova

koji primjenjuju metodu analize omeđivanja podataka u aktivnostima povezanim s dokovanjima brodova. Uvodno poglavlje sadrži opis korištene metodologije u istraživanjima, ciljeve istraživanja, kao i opis znanstvenog doprinosa doktorske disertacije.

- Drugo poglavlje opisuje vrste dokova i dokovanje broda - identificiraju se, opisuju i raščlanjuju podaci potrebni za provedbu analize dokovanja.
- Treće poglavlje doktorske disertacije posvećeno je odabiru metode višekriterijskog odlučivanja te opisu odabrane metode u teorijskom opsegu potrebnom za razumijevanje funkcioniranja metode, uključivo izračuna i analize podataka, te stvaranja modela za ocjenu efikasnosti dokovanja brodova u gradnji.
- Četvrto poglavlje posvećeno je modeliranju procesa dokovanja, izračunima pomoću različitih modela, analizi dobivenih rezultata, ocjeni podataka i rezultata istraživanja o dokovanjima brodova u gradnji.
- Zaključci istraživanja primjenom modela za ocjenu efikasnosti dokovanja brodova u gradnji opisani su u petom poglavlju.
- Dodaci ove doktorske disertacije sadrže popis korištene literature, popis oznaka i pokrata, popis slika i tablica, priloge disertaciji te životopis autora.

2. OPIS DOKOVANJA

U dijelu koji opisuje dokovanje nalazi se opis procesa i detalji aktivnosti koje se odvijaju na brodu koji se nalazi na dokovanju, s osvrtom na tehničke uvjete koji moraju biti zadovoljeni i odnose prema remontnom brodogradilištu koje dokuje brod.

2.1. Općenito o vrstama dokova i radovima u doku

Dokovanje je poduhvat kojim se brod u plutajućem stanju smješta u dok, posebno postrojenje namijenjeno smještaju broda na suho. Dokovi djeluju na dva načina, što prema **Houseu (2015)** i **Van Dokkumu (2003)** predstavlja osnovnu podjelu na:

- suhe dokove (*graving drydock*), koji su iskopani uz obalu, opremljeni pumpnim sustavom za pražnjenje mora iz doka i od okolnog mora odvojeni pomičnim vratima, i
- plutajuće dokove (*floating drydock*), koji djelomično uranjaju u more, a kada se brod namjesti u doku, on se podiže iz mora s brodom na sebi na način da brod ostaje na suhome.

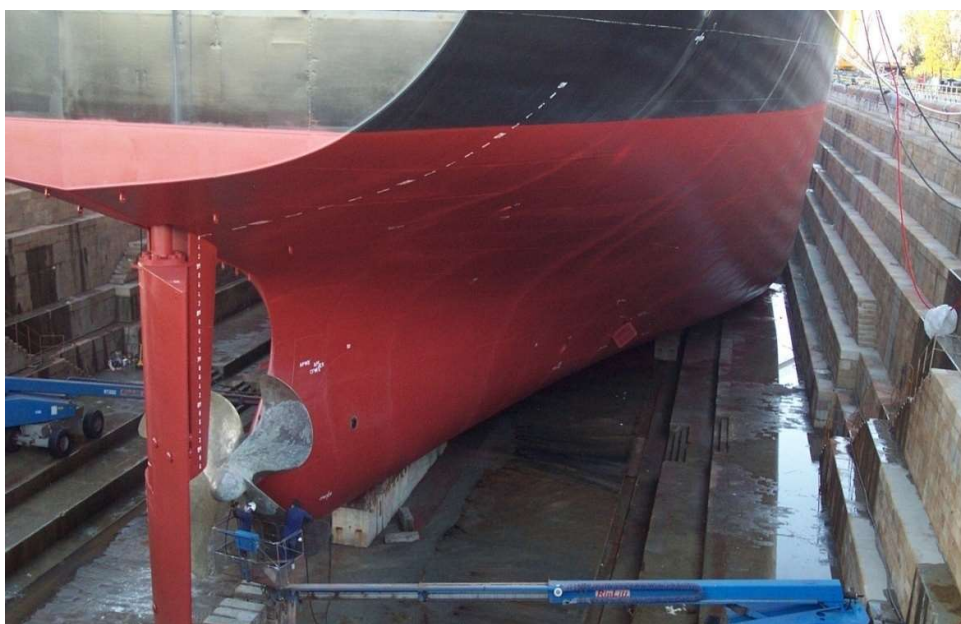
Općeniti razlozi za poduzimanje dokovanja su prema **Van Dokkumu (2003)**:

- zahtjevi međunarodnih konvencija
- zahtjevi klasifikacijskih ustanova
- održavanje broda u podvodnom dijelu, radi pregleda i obnove protuobraštajnog premaza
- saniranje posljedica nasukavanja, sudara brodova i nezgoda sličnog tipa
- pregled na suhom prije kupnje broda.

Slike 2-1 i 2-2 prikazuju brod koji se nalazi u suhom doku. Vidljivo je da je plato doka ravan i u njemu se nalaze redovi potklada, dok se zidovi doka stepenasto dižu do razine iznad mora. Za razmatranje važno je napomenuti da su mikroklimatski uvjeti za bojenje u suhom doku nešto lošiji nego u plutajućem doku koji ima otvorene krajeve koji omogućuju bolju cirkulaciju zraka te je mogućnost vlaženja površine koja se tretira bojenjem manja, dok je s druge strane visina potklada u suhom doku veća nego što je to slučaj u plutajućim dokovima što olakšava izvođenje radova.

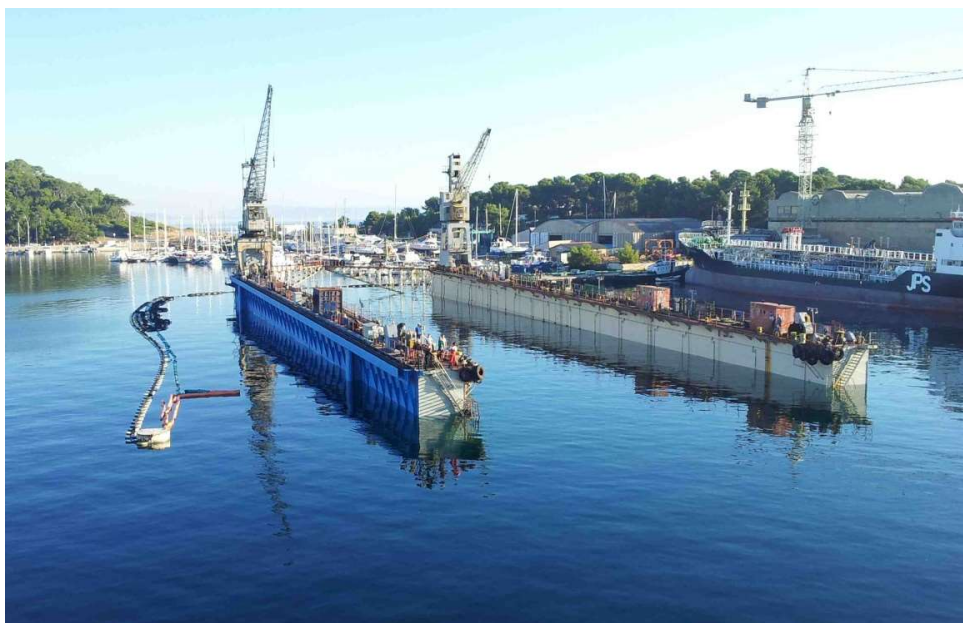


Slika 2-1. Brod u suhom doku, pramčani dio. Izvor: autor



Slika 2-2. Brod u suhom doku, krmeni dio. Izvor: autor

Slika 2-3 prikazuje plutajući dok u uronjenom stanju koji je spreman za manevar prihvata broda za dokovanje. **Slike 2-4 i 2-5** prikazuju brod u plutajućem doku. Vidljiva je struktura plutajućeg doka koja se sastoji od pontona na koji je brod svojom težinom oslonjen i tornjeva doka koji su opremljeni dizalicama za opsluživanje doka i broda te uređajima za privezivanje broda pri manevru uplovljenja i isplovljenja.



Slika 2-3. Plutajući dok u uronjenom stanju. Izvor: autor



Slika 2-4. Brod u plutajućem doku, pogled na pramac. Izvor: autor



Slika 2-5. Brod u plutajućem doku, pogled na krmu. Izvor: autor

U brodograđevnom procesu razlozi za obavljanje dokovanja novogradnje nalaze se u: a) propisima za nadzor nad gradnjom i kasnije u službi, i b) okolnostima načina gradnje.

Propisi za nadzor nad gradnjom broda u dijelu dokovanja temelje se na više propisa. Tako, primjerice, Međunarodna konvencija o sigurnosti života na moru iz 1974, s amandmanima (*International Convention for the Safety of the Life at Sea (SOLAS)*), **SOLAS (1974)** propisuje preglede podvodnog dijela broda, pojašnjeno u *International Maritime Organization (IMO) Rezoluciji A.1120(30)*, **IMO (2017)** gdje se početni pregled obavlja za vrijeme gradnje broda, dakle na navozu, prije porinuća i na prvom dokovanju. Opseg i način pregleda propisani su međunarodnim konvencijama i propisima klasifikacijskih ustanova, organizacija koje obavljaju nadzor gradnje broda u ime međunarodnih organizacija i državnih vlasti zemlje čiju će zastavu brod nakon primopredaje vijati. Tako, primjerice, *American Bureau of Shipping (ABS) Guide for Hull Survey for New Construction, August 2007/February 2014*, **ABS (2007-2014)** daje smjernice za preglede u dijelu broskog trupa, a *ABS Rules for Survey after Construction, August 2007/February 2014*, **ABS (2007-2014)** opisuje sustav pregleda brodova u službi, uključujući preglede podvodnog dijela broda, za koje se inicijalni pregledi obavljaju na prvom dokovanju, za vrijeme gradnje broda.

Potrebno je naglasiti da su svi promatrani brodovi, a riječ je o brodovima koji su građeni na navozu, uzdužnim načinom porinuća porinuti u more te nakon porinuća privezani na opremnu obalu luke brodogradilišta na opremanje i završne radove, izgrađeni jednakom tehnologijom. Princip uzdužnog porinuća i detalje potporne strukture na vanjskoj oplati broda objasnio je u svome djelu **Eyres (2001)**.

U fazi gradnje broda nakon porinuća, brodovi bivaju privezani na opremnoj obali brodogradilišta gdje se opremaju, boje i dovršavaju u svim aspektima, a brodski strojevi i uređaji puštaju se u pogon i međusobno integriraju u funkcionalne sustave.

Brod može prema doku isploviti na dva osnovna načina. Prvi je način da brod plovi u dok na vlastiti pogon, što je bolji način jer je plovidba do doka dobra prilika za preliminarno testiranje brodskih strojeva, uređaja i sustava, poglavito postrojenja vezanih za propulziju i kormilarenje, pa je boravak u doku prilika za pregled i popravak mogućih kvarova. Drugi je način plovidba u teglju, kada tegljač uzima brod u tegalj do doka i natrag. Ovaj način nosi više rizika za daljnje odvijanje radova, jer se mogući problemi sa strojevima i uređajima koji se testiraju samo u plovidbi, a mogu se pregledati i popraviti samo na suhom, ne testiraju na plovidbi do mjesta dokovanja. Primjeri takvih strojeva i uređaja su: brodski vijak (osobito brodski vijak promjenjiva uspona), bočni porivnik, brtvenice linije vratila i izvlačivi stabilizatori. U slučaju tegljenja broda prema doku i natrag u brodogradilište, mogući kvarovi takvih strojeva i uređaja budu otkriveni tek na pokusnoj plovidbi, što u konačnici može uzrokovati ponovno dokovanje broda. Također, i troškovna je strana plovidbe u teglju nepovoljnija za brodograditelja u usporedbi s plovidbom na vlastiti pogon.

U Republici Hrvatskoj utvrđivanje sposobnosti broda u gradnji za obavljanje pokusne plovidbe i transfera do doka obavlja Hrvatski registar brodova (HRB), u skladu sa Pravilima za obavljanje pokusne plovidbe **(HRB, 2009, NN65/2009)** kojima se propisuju potrebna dokumentacija i razina tehničke gotovosti broda, kao i uvjeti za boravak i rad sudionika dokovanja/pokusne plovidbe.

Dokovanje broda novogradnje ima manji opseg radova od dokovanja broda u službi jer se radi o novom brodu, gdje nema redovitog održavanja i periodičkih pregleda uvjetovanih zahtjevima klasifikacijskih ustanova koji uključuju demontažu komponenti kao što su struk kormila, pregled ležaja linije vratila i samog vratila, demontažu izvanbrodskih ventila, mjerenje debljine vanjske oplata, izmjenu dotrajale brodske strukture i slično nego se radi o radovima pripreme za testiranje u naravi – pokusnoj plovidbi i pripremama za eksploataciju koji zahtijevaju čist i obojen trup broda, a posljedično nisku razinu hrapavosti površine vanjske oplata broda. Potrebu za održavanjem podvodnog dijela vanjske oplata broda u službi dovoljno glatkom (prvenstveno bez obraslina) vezano za brzinu broda i potrošnju goriva objasnio je na

primjeru iz prakse **Belamarić (2009)**, dok je povijesni razvoj metoda za smanjenje hrapavosti i sprečavanje obrastanja vanjske oplata brodova opisao **Townsin (2003)**.

Za potrebe mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja potrebno je naglasiti da svi ovdje promatrani brodovi u gradnji imaju jednak planirani opseg radova u doku. Radovi u doku definirani su dokumentacijom koja se u osnovi sastoji od:

- popisa radova u doku, koji uključuje radove na podvodnom dijelu broda i popis usluga koje se traže od remontnog brodogradilišta
- nacрта, nacрта dokovanja za prvo dokovanje (*Docking Plan for the First Dry-docking*), opisuje smještaj broda na potklade doka na način da brod nalegne na njih dovoljno čvrstim strukturnim elementima, da se izbjegnu čepovi dna i podvodni senzori te ostaci potporne strukture od porinuća
- plana bojenja u doku, koji opisuje sustav bojenja, odnosno vrste, nijanse i debljine nanosa premaza te međupremazne intervale za sustav bojenja
- klasifikacijskih nacрта trupa broda, poglavito vanjske oplata i strukture u vezi s vanjskom oplatom, a koji općenito opisuju raspored i debljine strukturnih elemenata
- montažnih nacрта usisa mora s pripadnim rešetkama, tunela porivnika s porivnicima, katodne i anodne zaštite, smještaja brzinomjera i dubinomjera, sklopa osovinskog voda s brtvenicama, sklopa kormila, rasporeda cinkovih anoda
- u specifikacija radova s obrađenim površinama i utrošcima koja je osnova za plaćanje nastalih troškova, a što se utvrđuje s dokom (remontnim brodogradilištem).

Uobičajeni opseg radova na brodu u doku odnosi se na radove, detalje kojih navodi **Butler(2012)**:

- Pranje, čišćenje i bojenje podvodnog dijela broda
- Radovi na čeliku, vanjskoj oplati podvodnog dijela radi rezanja i brušenja ostataka strukture koja je brod držala na sanjkama za porinuće
- Pregled usisa mora i vanbrodskih ventila
- Pregled i montaža senzora kao što su: brzinomjer, dubinomjer, mjerači gaza, elektrode katodne i anodne zaštite trupa i usisa mora

- Montaža cink anoda na za to predviđena područja usisa mora, tunela porivnika, vanjske oplata i lista kormila
- Pregled linije vratila i pripadne opreme kao što su brtvenice, zaštite, rezači konopa i slično
- Pregled bočnih porivnika.

Izvanredni radovi koji se mogu pojaviti u doku prema iskustvima autora:

- oštećenja na strukturi slijedom porinuća i boravka na vezu
- obrasline na podvodnom dijelu koje su većeg opsega od uobičajenog
- pojava masnoće na podvodnom dijelu broda kao posljedica porinuća
- otklanjanje kvarova na strojevima, uređajima i sustavima primijećenim za vrijeme transfera broda iz brodogradilišta do mjesta dokovanja
- povećani opseg radova na brodu, a radi kašnjenja radova u brodogradilištu koji se nastoje nadoknaditi za vrijeme boravka broda u doku.

Kriteriji prihvatljivosti za radove na čeliku u brodogradnji, uključivo i u doku, vrednuju se prema *IACS Recommendation 47, Revision 08 Shipbuilding and Repair Quality Standard*, koji daje pregled dopuštenih odstupanja defleksija limova oplata i elemenata strukture, prikaz prihvatljivih nesavršenosti na površini oplata te načine za sanaciju grešaka koje su izvan tolerancija.

S aspekta bojenja, kriteriji prihvatljivosti za stanje površine strukturnog čelika prije nanošenja boje definirani su međunarodnim standardima niza ISO 8501, od kojih se za potrebe dokovanja broda u gradnji uobičajeno koriste dva dijela toga niza i to: ISO 8501-01:2007 Stanja površine i priprema čeličnih podloga za bojenje (*Rust grades and preparation of uncoated steel substrates after overall removal of previous coatings*) i ISO 8501-3:2006 Priprema zavora, rubova i drugih površina ručnim alatom prije bojenja (*Preparation grades of welds, edges and other areas with surface imperfections*). U praksi se koristi i NACE/SSPC niz standarda (NACE, *National Association of Chemical Engineers*; SSPC, *The Society for Protective Coatings*) koji definiraju stanja pripreme površine prije nanošenja premaza. U slučaju dokovanja brodova građenih od čelika primjenjuje se *NACE No.1/SSPC SP-5 White Metal Blast Cleaning* standard prema **NACE/SSPC (1999)**.

Povećani opseg radova na brodu u doku uzrokovan prethodno zakašnjelim radovima može utjecati na smanjenu usporednu efikasnost poduhvata dokovanja. Isto tako, potrebno je spomenuti da su radovi u doku, uključujući i angažman vlastite radne snage, skuplji nego što je to u brodogradilištu, zbog troškova rada izvan mjesta

stanovanja, troškova prehrane i dnevnica te logistike vezane uz dostavu materijala i alata za rad kada je to potrebno. Nadalje, u brodogradilištu koje gradi brodove moguće je angažirati veći broj radnika i organizirati rad u smjenama, pritom uzimajući u obzir blizinu skladišta materijala za ugradnju u brod i logistiku brodogradilišta, a sve praktički bez ograničenja u korištenju resursa energenata i internog transporta. Također je moguće trenutne viškove radne snage prerasporediti na druge zadatke na dnevnoj bazi.

Za vrijeme boravka broda u doku, radovi na podvodnom dijelu broda se u pravilu odvijaju 24 sata dnevno, rjeđe je to 16 sati dnevno. Za organizaciju cjelokupnog posla dokovanja novogradnje potrebno je posebnu pozornost posvetiti radovima na korozivnoj zaštiti, obzirom da je ona po vremenu potrebnom za izvršenje najdulja aktivnost i ima prioritet nad svim ostalim aktivnostima, kako je to prikazano u **Prilogu 2-1**. Potrebno je spomenuti da je proces korozivne zaštite osjetljiv i zbog utjecaja atmosferskih prilika. Naime, radovi se ne mogu odvijati po kiši, vlazi, pri temperaturama oplata broda blizu i ispod temperature rošenja površine koja se boja, po magli ili jakom vjetru koji raznosi boju prilikom nanošenja. Aktivnosti korozivne zaštite sastoje se od dvije glavne grupe, a to su aktivnosti na pripremi površine i aktivnosti nanošenja boje.

U grupu aktivnosti pripreme površine spadaju:

- ručno struganje obraslina
- visokotlačno pranje površine radi uklanjanja sluzi i prljavštine
- odmašćivanje površine
- pjeskarenje oštećene površine podvodnog dijela vanjske oplata
- uklanjanje pijeska/abraziva sa površine koja se boja.

U grupu aktivnosti nanošenja boje spadaju:

- nanošenje djelomičnih premaza po oštećenim/opjeskarenim površinama, kolokvijalno zvano flekanje (*touch-up*)
- nanošenje punih premaza (*full-coat*)
- nanošenje boje na oznake koje se nalaze na vanjskoj oplati podvodnog dijela trupa.

Radovi na korozivnoj zaštiti su skup aktivnosti s najduljim vremenskim trajanjem, a pritom ovisni o točno određenom redoslijedu aktivnosti pripreme površine i nanošenja premaza te definiranim međupremaznim intervalima i intervalima sušenja premaza koji moraju biti zadovoljeni prije uranjanja obojenih površina broda u more. Prema značaju i

strogo definiranoj tehnologiji radovi na korozivnoj zaštiti imaju prioritet pri planiranju aktivnosti u doku.

Postave li se aktivnosti dokovanja u, primjerice, Gantt-ov dijagram, potrebno je postići da jedino aktivnosti korozivne zaštite (bojenja) budu na kritičnom putu, dok sve ostale aktivnosti trebaju biti planirane i organizirane na način da ne ometaju odvijanje aktivnosti na korozivnoj zaštiti, sukladno zadanom planu i ne povećavaju ukupno vrijeme provedeno u doku. Plan aktivnosti prikazan je u **Prilogu 2-1** gdje je u obliku Gantt-ovog dijagrama prikazan slijed aktivnosti na dokovanju broda u gradnji. Iscrpan opis operative dokovanja i podjele uloga posade broda i posade doka za cijelo razdoblje koji opisuje **Prilog 2-1** u svom je djelu dao **Kaune (1976)**. Operacija dokovanja počinje dolaskom broda pred dok i prihvaćanjem veza broda za dok, a nastavlja se ulaskom u dok i reguliranjem pozicije uz asistenciju ronilaca. Dok se, sa centriranim brodom na željenoj poziciji, podiže iz mora i započinje spajanje priključaka na brod, pri čemu prednost imaju protupožarni vod i električna energija. Kada je plato doka na suhom, počinju radovi na postavljanju privremene energetike i doprema opreme za visokotlačno pranje vanjske oplate. Visokotlačno pranje vanjske oplate i ručno struganje obraslina prve su aktivnosti koje se moraju poduzeti kada je brod na suhom jer se obrasline najlakše skidaju dok su mokre. Aktivnost rezanja, navarivanja i brušenja na vanjskoj oplati je sljedeća aktivnost u doku. Posada broda skida čepove balastnih tankova i drenira vodu iz tankova. Zatim se pristupa postavljanju skela za radove na čeliku, za usise mora te na kraju za propeler. Radi pravodobnog nastavka radova, radovi na čeliku imaju se završiti prije početka pjeskarenja, a isto vrijedi i za radove visokotlačnog pranja, s obzirom da aktivnost pjeskarenja po svojim značajkama onemogućuje sve druge aktivnosti u doku. U primjeru koji je dan u **Prilogu 2-1** uzet je u razmatranje slučaj pjeskarenja u noćnoj smjeni, što je praksa nekih remontnih brodogradilišta. Nakon pjeskarenja nanosi se prvi djelomični premaz na opjeskarene površine. Razdoblje nakon pjeskarenja i nanošenja prvog djelomičnog premaza pa sve do nanošenja prvog punog premaza manje je rizično u smislu kašnjenja radova radi vremenskih prilika, jer su površine na koje je bilo potrebno nanijeti boju zaštićene premazom, a vrijeme potrebno za nanošenje sljedećeg premaza je relativno kratko. Sljedeći važan trenutak je nanošenje drugog punog premaza protuobraštajne boje do kojeg trebaju biti izvršeni svi pregledi na podvodnom dijelu trupa, zatvoreni svi usisi mora i brtvenica glavnog propelera te montirani čepovi balastnih tankova. Po nanošenju drugog punog premaza protuobraštajne boje potrebno je napisati sve oznake na dijelu

trupa pod vodom i balastirati brod u kondiciju u kakvoj je uplovio u dok, a nakon finalnog pregleda u doku započeti naplavljivanje doka, istovremeno skinuti sve priključke s broda i brod izvući iz doka. Izvlačenjem broda iz doka završava dokovanje broda.

Uz redoslijed aktivnosti radova u doku, potrebno je poštivati i tehničke uvjete za izvođenje radova. Za proces bojenja to su prema npr. *Hempel Technical Data Sheet*: a) temperatura i vlažnost zraka; b) povoljna razlika temperature podloge za bojenje (čelik oplata broda) od temperature i vlažnosti zraka radi izbjegavanja nanošenja boje na orošenu vanjsku oplatu broda; c) poštivanje međupremaznih intervala koji su ovisni o temperaturi i vrsti premaza; d) zabrana rada na kiši; e) zabrana radova pri jakom vjetru radi rasapa boje u atmosferu; f) poštivanje maksimalnog udjela razrjeđivača u boji; g) pravilan odabir sapnica i tlakova nanošenja boje; g) pravilno pripremljena površina na koju se nanosi boja. Preduvjeti za radove na čeliku i opremi jesu: a) pregled prostora u unutrašnjosti broda i utvrđivanje odsustva tvari koje mogu biti zapaljive ili štetne; b) osiguranje protupožarne zaštite; c) razdvajanje radova s otvorenim plamenom i alatom koji iskri od radova s bojom; d) pravilno postavljanje skela za radove na povišenim pozicijama; e) mogućnost sigurne uporabe radnih platformi za radove na visini; f) čišćenje pijeska i prašine prije rastavljanja strojno obrađenih elemenata (poglavito brtvenice propelera i porivnika). Od općenitih aktivnosti koje nisu stavljene u plan, a povezane su sa sigurnošću i zaštitom na radu potrebno je obratiti pozornost na: a) kontrolu pristupa na brod; b) stalnu vatrodojavnu službu; c) osvjetljenje u doku radi izvođenja radova na siguran način i kontrole pristupa brodu sa strane doka; d) dežurstvo u strojarnici broda; e) poznavanje sigurnosnih i komunikacijskih procedura remontnog brodogradilišta.

Uz radove na bojenju, važnost imaju i radovi u čeliku na vanjskoj oplati, i to kao preduvjet za pravilan slijed aktivnosti bojenja koje su na kritičnom putu plana aktivnosti dokovanja. **Slike 2-6 i 2-7** prikazuju primjere izgleda potporne strukture koja drži brod na navozu i sanjkama prije porinuća broda u more. Rečena je struktura postavljena iz tehnoloških potreba, da bi se brod sigurno porinuo s navoza u more, ali je u potpunosti neprimjerena za eksploataciju broda te se ostaci potporne strukture u doku moraju ukloniti kako bi se sanirala površina oplata broda. Količina potporne strukture povećava se za brodove s finom formom, kao što su brodovi za prijevoz automobila ili RO-RO kontejnerski brodovi koji su, između ostalih tipova brodova, uzeti u razmatranje u ovom radu.



Slika 2-6. Izgled potporne strukture broda na navozu, prikaz 1. Izvor: autor



Slika 2-7. Izgled potporne strukture broda na navozu, prikaz 2. Izvor: autor

Potpornu je strukturu potrebno ukloniti najkasnije u doku. Postoji, međutim, praksa podvodnog rezanja metala ugljenim elektrodama s dodatkom kisika, gdje se potporna struktura reže približno 20 mm od vanjske oplate, a ostatak se reže u doku. Praksa je pokazala da je najefikasniji način obrade ostataka potporne strukture rezanjem zvara plamenom kisika i acetilena, navarivanje postupkom ručnog elektrolučnog zavarivanja ugorenih pozicija na oplati i nakon toga brušenje površine koja je zavarena do razine oplate. Postupak popravaka oštećenja na čeliku vanjske oplate ponavlja se

nakon pjeskarenja, jer je praksa pokazala da mlaz pijeska za pjeskarenje pri svojem djelovanju na oplatu broda otvori oštećenja koja nisu bila vidljiva u prvom pregledu i za vrijeme obrade površine na kojoj je bila postavljena potporna struktura.

Slike 2-8 i 2-9 prikazuju stanje površine vanjske oplata broda nakon radova na čeliku, nakon što je struktura odrezana, površina oplata izbrušena, a sve prije pjeskarenja.



Slika 2-8. Izgled površine nakon rezanja potporne strukture i brušenja površine.
Izvor: autor

Slika 2-8 prikazuje krupni plan više pozicija potporne strukture koje su obrađene. Na **Slici 2-9** prikazana su oštećenja na vanjskoj oplati popravljena zavarivanjem. Zavarivanje je poduzeto da bi se popunile kaverne nastale nakon uklanjanja potporne strukture. **Slika 2-10** prikazuje površinu na kojoj je bila pričvršćena potporna struktura, koja je zatim obrađena rezanjem, navarivanjem i brušenjem, te je nakon toga opjeskarena i spremna za nanošenje temeljnog premaza.

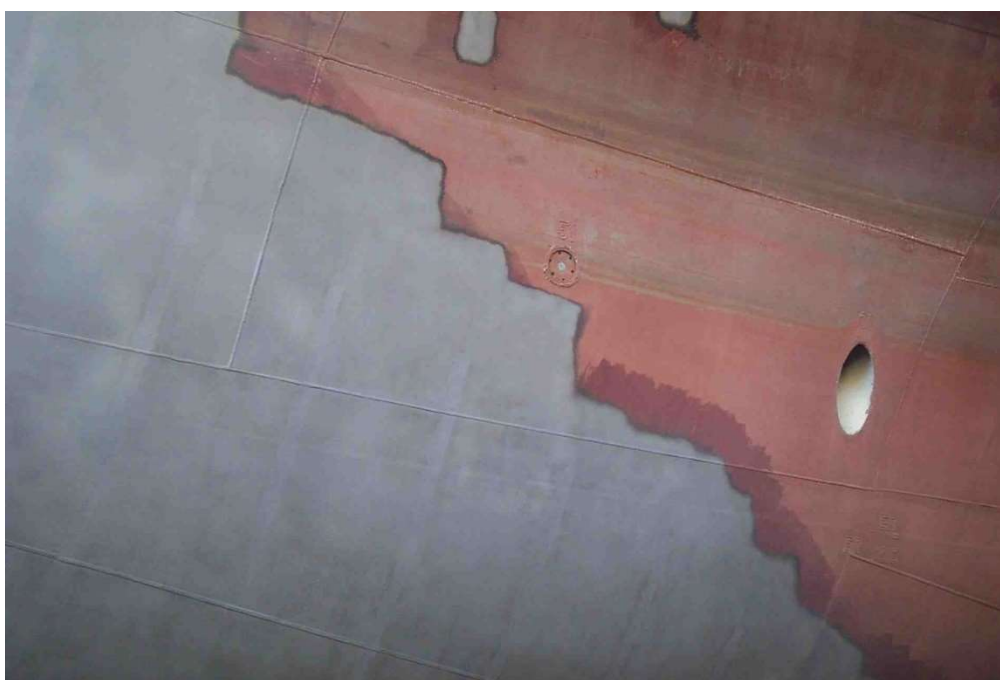
Nakon izvedenog pjeskarenja, koje se izvodi mlazom abraziva na površinu koja se namjerava tretirati, pristupa se ispuhivanju pijeska (ostataka abraziva) radi čišćenja površine prije nanošenja premaza.

Za promatrane brodove uobičajeni se sustav premaza sastoji od temeljnog premaza, veznog premaza (međupremaz) između temeljnog i protuobraštajnog premaza boje i premaza protuobraštajne boje. Ukupno je to pet do šest premaza i to: a) dva djelomična premaza na opjeskarene površine temeljnom bojom; b) jedan djelomični premaz veznim premazom između temeljne i protuobraštajne boje; c) jedan djelomični

premaz veznog premaza protuobraštajnom bojom; d) jedan do dva puna premaza protuobraštajnom bojom.



Slika 2-9. Izgled oštećenja popravljenih zavarivanjem. Izvor: autor



Slika 2-10. Opjeskarena površina spremna za bojenje. Izvor: autor

Slika 2-11 prikazuje izgled vanjske oplata nakon nanošenja jednog od djelomičnih premaza. Radi tehnološkosti rada, odnosno smanjenja mogućnosti preskakanja površina koje se boje, premazi se razlikuju u nijansi. Na **Slikama 2-12 i 2-13** prikazan je izgled završno obojenog i očišćenog broda spremnog za izlaz iz doka.



Slika 2-11. Izgled vanjske oplata nakon djelomičnog premaza. Izvor: autor



Slika 2-12. Izgled broda spremnog za izlaz iz doka, pramčani dio. Izvor: autor



Slika 2-13. Izgled broda spremnog za izlaz iz doka, krmeni dio. Izvor: autor

2.2. O praksi dokovanja i povezanim troškovima

Remontna brodogradilišta koja pružaju uslugu dokovanja u pravilu pružaju sve usluge potrebne za redovito ili izvanredno održavanje broda, uz pomoć vlastitih ili unajmljenih radnika. Za dokovanje brodova u gradnji uobičajena je podjela poslova na način da se radovi u doku i na vanjskoj oplati prepuštaju osoblju doka, dok se oni u unutrašnjosti broda obavljaju u organizaciji brodogradilišta koje gradi brod. Iznimka su pregledi ventila, brtvenica propelera, kormila i porivnika koji su novi, u probnom radu i pod garancijom proizvođača pa se stoga pregledavaju od strane brodogradilišta-graditelja broda.

Za potrebe raščlane troškova koji se stvaraju prema remontnom brodogradilištu, troškovi dokovanja broda podijelit će se na grupe troškova radi lakše usporedbe iznosa troškova s obzirom na mjesto dokovanja i vrstu broda. Pri kasnijoj raščlambi troškova radi mjerenja efikasnosti, koristit će se proširena podjela troškova. Kategorije troškova prema remontnom brodogradilištu jesu:

- a) najam doka. U ovu kategoriju spadaju dnevni najam doka, gdje se naplaćuje svaki započeti dan boravka broda u doku, s time da su prvi i posljednji dan dokovanja dvostruko skuplji ako se operacija ulaska u dok/izlaska iz doka obavlja u radno vrijeme, a za operacije izvan navedenog vremena cijena se uvećava. U ovoj kategoriji je i stavka pripreme doka, koja predstavlja radove na raspoređivanju potklada u doku, usluga privezivača i asistencija ronilaca pri ulasku broda u dok.

- b) trošak usluga. Za vrijeme boravka broda u doku priključuju se električna energija, protupožani vod (morska voda), pitka voda, komprimirani zrak, balastni vod. Zaračunavaju se svi utrošci energenata po navedenim priključcima. Također se postavljaju uzemljenje broda i prijelazni mostić/skala te se naplaćuje uporaba dizalice doka za potrebe broda.
- c) trošak radova na čeliku. Predstavljaju trošak energenata koji se u doku troše za radove na čeliku (acetilen/kisik, radni zrak, električna energija), trošak postavljanja i najma skele koja se u dok postavlja za potrebe broda te uporabe raznih pokretnih platformi za dostizanje mjesta za rad na visini, a gdje je postavljanje skele neekonomično. Zatim je tu trošak radova na uklanjanju ostataka potporne strukture za porinuće broda rezanjem, navarivanjem i brušenjem, kao i skidanje starih cink anoda i postavljanje novih.
- d) trošak radova na bojenju/korozivnoj zaštiti. Takav rad uključuje radove ručnog struganja obraslina (kolokvijalno: raškanje), niskotlačnog i visokotlačnog pranja, odmašćivanja, pjeskarenja i aplikacije sustava bojenja na vanjskoj oplati broda.

Obračun troškova obavlja se prema obavljenoj usluzi i prema utrošku. Primjerice, cijena usluge spajanja kabela za električnu energiju je jedna stavka troška, a utrošak po kWh je druga stavka troška. Tako se, na primjer, visokotlačno pranje ili pjeskarenje naplaćuju prema tretiranoj površini, a skela po izgrađenom volumenu. Troškovi u kategorijama: a) najam doka; b) trošak usluga doka; c) trošak radova na čeliku; d) trošak radova na korozivnoj zaštiti direktno je povezan s radovima koje izvodi remontno brodogradilište.

Za potrebe ovog rada u razmatranje je uzeto pet remontnih brodogradilišta u kojima su dokovani promatrani brodovi.

Brodogradilište A ima plutajuće dokove, svi promatrani brodovi mogu se smjestiti u dokove brodogradilišta A, rad je organiziran u tri smjene, sedam dana u tjednu, transportna sredstva (dizalice, viličari) i pristup za dopremu materijala su povoljni. Do brodogradilišta A potrebno je pola dana navigacije. Jaki vjetrovi i kiše mogu uzrokovati čekanja i kašnjenja radova.

Brodogradilište B ima plutajući dok dimenzija za prihvat samo jednog tipa broda od onih promatranih. Rad se odvija u dvije smjene, a doprema materijala i rezervnih dijelova je teža nego u brodogradilištu A, jer se brodogradilište B nalazi na otoku.

Jedinične cijene radova su povoljne. Do brodogradilišta B potrebno je pola dana navigacije. Vremenske prilike su povoljne za odvijanje radova.

Brodogradilište C ima suhi dok, rad se odvija u dvije smjene šest dana u tjednu, iznimno i nedjeljom. Brodogradilište C je logistički na povoljnom mjestu, transportna sredstva su kvalitetna i dostupna, carinske i lučke formalnosti produžuju proceduru dopreme materijala i rezervnih dijelova. Trošak ekipe povećan je zbog dodatnih troškova rada u inozemstvu. Brodogradilište C udaljeno je pola dana navigacije. Jaki vjetrovi i kiše mogu uzrokovati čekanja i kašnjenja radova.

Brodogradilište D ima suhi dok, radovi se odvijaju u dvije smjene, šest dana u tjednu. Jedinične su cijene nešto povoljnije u odnosu na brodogradilišta A i C. Logistički je to vrlo zahtjevan dok, s obzirom da se nalazi na otoku i u inozemstvu. Udaljeno je pola dana navigacije. U hladnijem dijelu godine moguće su višednevne magle koje otežavaju proces bojenja.

Brodogradilište E ima više suhih dokova koji mogu primiti sve promatrane tipove brodova, radi u četiri smjene, sedam dana u tjednu. Logistički je vrlo zahtjevno jer se nalazi u inozemstvu i na otoku. Moguća je nestašica vode za sanitarne i tehničke potrebe, interni transport dobro uređen, a jedinične cijene povoljne. Do njega je potrebno dva do tri dana navigacije, ovisno o tipu broda za plovidbu. Vremenske prilike su povoljne za obavljanje radova, praktički bez padalina tijekom cijele godine.

Troškovi samog dokovanja dio su ukupnih troškova pothvata dokovanja koje poduzima brodogradilište graditelj brodova u procesu gradnje broda. Uz troškove koje obračunava remontno brodogradilište, u obzir će se uzeti troškovi koji se stvaraju u organizaciji brodogradilišta koje brod gradi:

- a) trošak transfera broda do remontnog brodogradilišta, uključujući trošak goriva i posade koja plovi na brodu
- b) trošak sudionika dokovanja za vrijeme boravka broda u doku.

Odluka o početku pothvata dokovanja broda u gradnji odluka je menadžmenta brodogradilišta i ovisi o sljedećim čimbenicima:

- a) planu gradnje broda
- b) stanju gotovosti radova na brodu u odnosu na plan gradnje
- c) raspoloživosti dokova u remontnim brodogradilištima.

3. VIŠEKRITERIJSKO ODLUČIVANJE

U ovisnosti o promatranom procesu, raspoloživim podacima i ciljevima istraživanja, odabrat će se metoda višekriterijskog odlučivanja kojom će se izraditi model koji oponaša realni proces te će se na njemu moći ispitati ponašanje podataka potrebnih za donošenje odluke.

3.1. Odabir metode višekriterijskog odlučivanja

Metode višekriterijskog odlučivanja dio su područja znanosti koje se naziva *Operacijskim istraživanjima* (*Operational Research*, OR). Prema *International Federation of the Operational Research Societies* (IFORS; <https://www.ifors.org>), OR obuhvaća razvoj i primjenu širokog polja naprednih metoda i tehnika odlučivanja i mjerenja efikasnosti kao što su matematička optimizacija, simulacija, teorija repova čekanja i drugi stohastički modeli. OR metode uključuju stvaranje matematičkih modela s ciljem opisa problema. S obzirom na proračunsku i statističku prirodu većine tehnika OR, postoji čvrsta veza s računalnim i analitičkim znanostima. Zahvaljujući naglasku na međudjelovanje čovjeka i tehnologije s težištem na praktičnoj primjeni, OR se preklapa s drugim područjima, posebice s *industrijskim inženjerstvom* (*Industrial Engineering*) i *operacijskim menadžmentom* (*Operations Management*) te posljedično ima utjecaja na psihologiju i organizacijske znanosti.

OR je disciplina koja pomaže menadžerskom odlučivanju primjenom znanstvenog pristupa kroz analizu podataka, matematičko modeliranje i optimizaciju u rješavanju problema koji uključuju kvantitativne čimbenike.

Metode *višekriterijskog odlučivanja* (*Multi-Criteria Decision Making*, MCDM), prema **Triantaphyllou, E. (2000)**, predstavljaju postupak kojim se odabire najbolje rješenje iz skupa ponuđenih alternativa prema skupu kriterija za odabir najbolje alternative.

Kahraman (2008) definira metode višekriterijskog odlučivanja kao metodološki alat za izradu modela koji služe rješavanju složenih inženjerskih problema.

U daljnjoj razradi problematike potrebno je definirati glavne pojmove koji se susreću u višekriterijskom odlučivanju. *Alternative (Alternatives)* predstavljaju moguća rješenja problema kojima donositelj odluke raspolaže. U slučaju ovog rada, skup alternativa ima konačan broj članova. Svakom problemu višestrukog odlučivanja pridruženi su *višestruki atributi (Multiple Criteria)*. Atributi se također nazivaju *ciljevima (Goals)* ili *kriterijima za odluku (Decision Criteria)*. Atributi predstavljaju različita motrišta iz kojih se alternative rješenja mogu promatrati. U daljnjoj razradi izraz *višestruki atributi* bit će zamijenjen izrazom *višekriterijski atributi*. Kriteriji za odlučivanje mogu se grupirati po važnosti te se na taj način stvara hijerarhijski način organiziranja kriterija. Različiti kriteriji mogu biti izraženi različitim mjernim jedinicama te je za postupak višekriterijskog odlučivanja potrebno pronaći način prevladavanja problema različitih mjernih jedinica. *Težinski koeficijenti (Decision Weights)* predstavljaju mjeru važnosti pojedinog kriterija u višekriterijskom modelu odlučivanja.

Pri korištenju metoda za višekriterijsko odlučivanje potrebno je uzeti u obzir da sve raspoložive metode ne zamjenjuju osobu donositelja odluka. **Belton i Stewart (2002)** dali su uobičajene zablude o rezultatima i očekivanjima donositelja odluka u odnosu na metode odlučivanja:

- metoda višekriterijskog odlučivanja donijet će „pravi“ rezultat
- metoda višekriterijskog odlučivanja daje „objektivnu“ analizu koja donositelje odluka oslobađa odgovornosti za donošenje teških odluka
- metoda višekriterijskog odlučivanja učinit će donošenje odluka bezbrižnim.

Metode višekriterijskog odlučivanja su pomoć pri odlučivanju, u procesu koji integrira mjerenje procesa i procjenu vrijednosti, te izražava i upravlja subjektivnošću donositelja odluka. Prema **Belton i Stewart (2002)** te **Korhonen i Wallenius (2020)** analiza koja se poduzima metodama višekriterijskog odlučivanja ima sljedeća svojstva:

- predstavlja način za izražavanje višestrukih i oprečnih kriterija pri potpori odlučivanju
- pomaže u strukturiranju problema
- daje temelj za razgovore o rješenjima
- donositeljima odluka daje informacije o problemu, mogućem rješenju problema te o vrijednosnim sudovima u organizaciji, kao i sintezu, način prezentacije dobivenih informacija, i konačno preporučeni smjer djelovanja pri odlučivanju

- rješenja koje daju metode višekriterijskog odlučivanja dopuna su i provjera intuitivnog, premda ne mogu zamijeniti intuiciju i iskustvo
- proces višekriterijskog odlučivanja vodi k jasnijim, bolje strukturiranim i objašnjivim odlukama; on je procjena i provjera odluke
- najkorisniji pristupi su često jednostavni i transparentni
- bez obzira na jednostavne pristupe, kompleksni pristupi pomažu jednostavnim pristupima u složenom okruženju koje je potrebno analizirati.

Svojstva metoda višekriterijskog odlučivanja potrebno je primijeniti na konkretan problem istraživanja mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji, procjenom svojstava metoda i okolnostima odvijanja procesa koji se promatra.

U dosadašnjoj autorovoj praksi uočena je potreba da se proširi područje jednostavnih analiza, u kojima se analiziraju ili troškovi, ili rokovi, ili obrađene tone čelika, u odnosu na radne sate, normirane radne sate ili novčane jedinice, a bez uzročno-posljedičnog povezivanja različitih podataka vezanih za uvjete rada, prostor, stanje ulaznih materijala i specifikacija te informacija u obliku nacрта, popisa materijala i planova. Česta pojava u odlučivanju je i intuitivni pristup sa svim svojim prednostima i ograničenjima. Njega se nastoji izbjeći za vrijeme korištenja metode višekriterijskog odlučivanja. Autorovo nastojanje da se razradi problema pristupi na znanstvenoj razini koju kompleksnost i materijalna vrijednost procesa zahtijeva, dovodi do promišljanja o obogaćivanju prakse istodobne usporedbe više različitih parametara zajedničkih brodovima u gradnji (npr. efektivni sati, kompenzirane bruto tone, trošak i slično), što nameće potrebu korištenja složenije strukture ne uvijek jasno povezanih *inputa* i *outputa* za određivanje efikasnosti na već obavljenim pothvatima. U odabiru metode višekriterijskog odlučivanja nastojat će se izbjeći subjektivno dodjeljivanje težinskih koeficijenata kriterijima za odlučivanje te će se na taj način dobiti rezultati postupka višekriterijskog odlučivanja temeljeni na prikupljenim podacima, na koje će se potom primijeniti intuicija i iskustvo u odlučivanju koje je svojstveno ljudima. Nakon provedene analize i mjerenja efikasnosti obavljenih pothvata, dobiveni podaci mogu se koristiti za simulaciju budućih pothvata ili pak određivanje slabih točaka procesa. Množina podataka koji prate pothvat dokovanja broda u gradnji i okolnosti da se dokuju brodovi različitih tipova u različitim remontnim brodogradilištima i različitim dokovima, kao i u različitoj razini gotovosti broda, daju mogućnost za višeslojnu obradu i interpretaciju podataka. Dokovanja se obavljaju u različito doba godine i na različitom mjestu, s različitim

brodovima u različitom stupnju dovršenosti. Iskustvo je pokazalo da ne postoje dva jednaka dokovanja broda po vremenu trajanja i stvorenom trošku, bez obzira što su brodovi u seriji koji se dokuju identični po svojim tehničkim značajkama.

Za potrebe mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja broda u gradnji, prikupljeni su podaci za ukupno trideset i četiri broda, izgrađena u ukupno jedanaest serija brodova, koji čine pet tipova brodova, a koji su dokovani u pet remontnih brodogradilišta u zemlji i inozemstvu, u različitim vremenskim uvjetima i u različito doba godine, što čini skup podataka koji je potrebno podvrći analizi i procijeniti slučaj (ili slučajeve) najbolje tehničke prakse. Promatrani pothvati dokovanja brodova u gradnji popraćeni su značajnim obujmom jednoobraznih i preciznih podataka za sve odabrane brodove, i oni predstavljaju homogeni skup podataka. Za analizu podataka bilo je potrebno pronaći metodu koja je prikladna za relevantnu usporedbu sličnih entiteta, što je povoljno za slučaj brodogradnje. Za razliku od brodograđevne industrije u J. Koreji, Kini i Japanu, gdje se grade velike serije brodova, za brodogradnju u Europi, pa tako i u Hrvatskoj, karakteristična je gradnja malih serija brodova (obično do četiri broda), ili pak pojedinačnih brodova, obično namijenjenih posebnim vrstama uporabe, gdje je jedan brod ujedno i cijela serija brodova.

Pretraživanje literature i proučavanje karakteristika najčešće korištenih metoda, doveli su do identifikacije prednosti, ograničenja i karakterističnih područja primjene. U obzir su uzete sljedeće metode: ciljno programiranje, analiza omeđivanja podataka, analiza stohastičke granice, analitički hijerarhijski proces, TOPSIS, VIKOR, SAW i PROMETHEE. Prikaz izdvojenih metoda višekriterijskog odlučivanja izveden je u **Tablici 3-1**, gdje će se, uz proučavanje literature, navesti prednosti i ograničenja navedenih metoda višekriterijskog odlučivanja.

Za odabir optimalne metode mjerenja usporedne efikasnosti koristit će se metoda AHP. Metoda AHP je široko rasprostranjena metoda višekriterijskog odlučivanja, strukturirana prema odlukama, kriterijima za odluku i alternativama rješenja.

AHP kao metodu višekriterijskog odlučivanja razvio je **Saaty (1980)**. Izvorno je namijenjena raščlambi složenih problema višekriterijskog odlučivanja u hijerarhijsku strukturu, a zatim za procjenu relativne važnosti kriterija za odlučivanje usporedbom po parovima kriterija. Metodologija AHP uspoređuje alternative odluka sa svakim pojedinim kriterijem na način da se u konačnici odredi ukupni prioritet za svaku alternativu odluke. Krajnji rezultat je rangiranje alternativa rješenja prema unaprijed zadanim kriterijima.

Tablica 3-1. Prednosti i ograničenja metoda višekriterijskog odlučivanja

Naziv metode	Prednosti metode	Ograničenja metode	Primjena metode	Izvori podataka
Ciljno programiranje	- može se koristiti u rješavanju problema s velikom količinom podataka - stvara beskonačan broj alternativa među kojima traži rješenje.	nesposobnost određivanja težinskih koeficijenata	planiranje proizvodnje, stvaranje rasporeda aktivnosti, energetika, upravljanje vodoprivredom, poslovanje	Velasques i Hester (2013), Aruldoss i sur. (2013)
Analiza omeđivanja podataka	- djeluje s više <i>inputa</i> i <i>outputa</i> - nije potrebno poznavati vezu <i>inputa</i> i <i>outputa</i> - dodjeljuje težinske koeficijente - efikasnost se može analizirati i kvantificirati.	- osjetljivost na ekstremna opažanja - ne djeluje s nepotpunim podacima - osnovni modeli ne rangiraju efikasne entitete.	mjerenje efikasnosti neprofitnih organizacija, bankarstvo, energetika, vodno gospodarstvo, poljoprivreda, raspored postrojenja, poslovanje	Velasques i Hester (2013), Coelli i sur. (1998), Coelli i sur. (2005), Mortimer (2002), Aruldoss i sur. (2013)
Analiza stohastičke granice	- djeluje s više <i>inputa</i> i <i>outputa</i> - otpornost na stanovite greške mjerenja - dodjeljuje težinske koeficijente.	- potrebno je poznavati odnose <i>inputa</i> i <i>outputa</i> - ne djeluje s nepotpunim podacima	poslovanje, bankarstvo, proizvodnja, poljoprivreda	Coelli i sur. (1998), Mortimer (2002), Coelli i sur. (2005),
Analitički hijerarhijski proces	- jednostavnost uporabe - koristi jednostavne matematičke operacije - hijerarhijska struktura prilagođava se objektu analize.	- problemi međuovisnosti kriterija i alternativa - za određivanje težinskih koeficijenata potrebno je ekspertno mišljenje.	planiranje, odabir proizvoda, upravljanje resursima, politička strategija, strategija poslovanja	Velasques i Hester (2013), Kumar i sur. (2017), Aruldoss i sur. (2013)

Izvor: istraživanje autora

Tablica 3-1. Prednosti i ograničenja metoda višekriterijskog odlučivanja (nastavak)

Naziv metode	Prednosti metode	Ograničenja metode	Primjena metode	Izvori podataka
Metoda TOPSIS	• metoda slijedi jednostavan proces • jednak je broj koraka izračuna neovisno o broju atributa koji se proučavaju.	• djeluje na temelju Euklidske udaljenosti, ne raspoznaje pozitivne i negativne vrijednosti atributa • vrijednosti atributa moraju monotono rasti ili padati.	logistika i transport, vodno gospodarstvo, gospodarenje energijom, strojarstvo	Velasques i Hester (2013), Kumar i sur. (2017)
Metoda VIKOR	• unaprijeđena metoda TOPSIS • proračunava odnose idealnih pozitivnih i negativnih rezultata, čime uklanja nedostatak TOPSIS-a	• teškoće u konfliktnim situacijama • potrebne preinake u slučaju korištenja škrtih/siromašnih podataka	strojarstvo, proizvodne aktivnosti, gospodarenje energijom, zdravstvo	Kumar i sur. (2017)
Metoda SAW	• metoda intuitivna za korisnika • ne zahtijeva kompleksne izračune • pogodna za jedno dimenzijske probleme.	• dobivene procjene ne pokazuju realnu situaciju, dobiveni rezultat može biti nelogičan • ne omogućuje uporabu višekratnih alternativa rješenja.	vodno gospodarstvo, financije, management, energetska planiranje, optimizacija	Velasques i Hester (2013), Kumar i sur. (2017), Aruldoss i sur. (2013)
Metoda PROMETHEE	• jednostavnost uporabe • može koristiti kvalitativne i kvantitativne podatke/atribute • koristi podatke koji imaju neizvjesna i neizrazita svojstva.	• ne pruža uvid u kriterije dodjele težinskih koeficijenata • ovisi o donositelju odluka koji dodjeljuje težinske koeficijente.	proizvodnja, transport, financije, poljoprivreda, analiza rizika	Velasques i Hester (2013), Kumar i sur. (2017),

Izvor: istraživanje autora

Ova metoda uključuje znanja i iskustva donositelja odluke u raščlambi, subjektivnoj ocjeni kriterija i alternativa i sintezi rezultata.

Prema **Saaty (1990)**, i interpretaciji **Wang i sur. (2008)**, neka $C_1, \dots, C_m$ predstavljaju m kriterija odluke, a $W = (w_1, \dots, w_m)^T$ je njihov težinski vektor normaliziranih koeficijenata relativne važnosti kao rezultat međusobne usporedbe parova kriterija koji zadovoljava uvjet: $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ i $w_j \geq 0$ za $j = 1, \dots, m$. Usporedba parova kriterija između m kriterija može se izvesti prikupljanjem stručnih mišljenja ili po

mišljenju donositelja odluke. Usporedba kriterija rangirana je na razine od 1 do 9, gdje 1 znači jednaku važnost kriterija, 3 umjerenu važnost, 5 jaku važnost, 7 vrlo jaku važnost, a 9 ekstremnu važnost jednog kriterija u odnosu na drugi. Vrijednosti 2, 4, 6 i 8 označavaju međuvrijednosti. Za inverznu usporedbu koriste se recipročne vrijednosti. Rezultat je matrica međusobnih usporedbi kriterija dimenzija $m \times m$ u sljedećem obliku:

$$A = (a_{ij})_{m \times m} = \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Vrijednost a_{ij} predstavlja odnos odluke na w_i/w_j sa $a_{ii} = 1$ i $a_{ij} = 1/a_{ji}$ za $i, j = 1, \dots, m$. Matrica $A = (a_{ij})_{m \times m}$ je konzistentna u slučaju ispunjenja uvjeta: $a_{ij} = a_{ik}a_{kj}$ za svaki $i, j, k = 1, \dots, m$. Iz matrice usporedbi kriterija A , težinski koeficijent W određuje se prema izrazu:

$$AW = \delta_{max} W \quad (2)$$

Gdje je δ_{max} maksimum vrijednosti vektora prioriteta A . Postoji mogućnost da donositelj odluke ne donese konzistentne usporedbe, a potrebno je da matrica usporedbi A ima prihvatljivu razinu konzistentnosti koja se naziva omjerom konzistentnosti (CR), a provjerava se sljedećim izrazom:

$$CR = \frac{\frac{(\delta_{max} - z)}{(z - 1)}}{RI}, \quad (3)$$

RI predstavlja slučajni indeks nekonzistencije, a z predstavlja broj alternativa. Vrijednost RI za usporedbu parova alternativa četvrtog, petog i šestog reda su 0,85, 1,12 i 1,15 prema **Saaty (1977)**. Ako je $CR \leq 0,1$, smatra se da matrica usporedbi kriterija ima prihvatljivu razinu konzistencije prema **Saaty (1980)** i **Saaty (1990)**.

Alternative odluke uspoređuju se međusobno po parovima u odnosu na svaki kriterij na isti način kao i kriteriji međusobno u prethodnom koraku. Po završetku izračuna bilježe se dobivene težine alternativa u odnosu na svaku pojedinu težinu kriterija. U sljedećem koraku izračunava se sveukupna težina svake alternative prema metodi SAW, **Hwang & Yoon (1981)** prema izrazu:

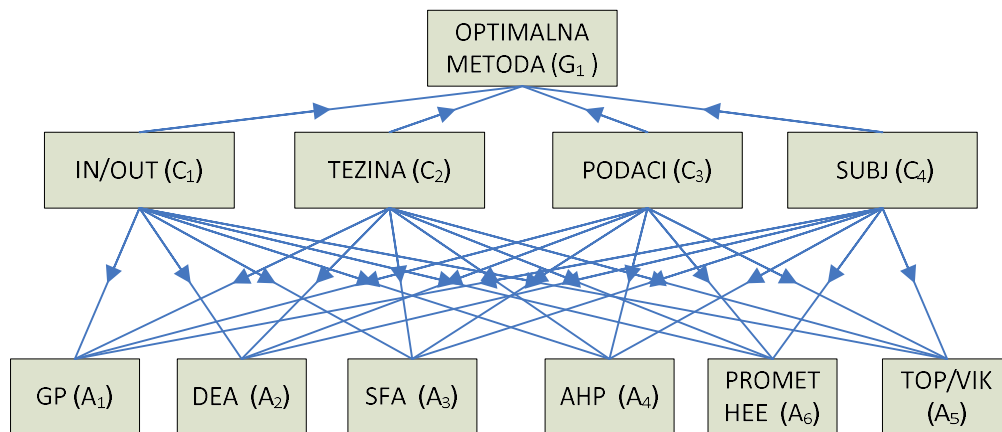
$$w_{A_i} = \sum_{j=1}^m w_{ij} w_j, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

gdje w_j ($j = 1, \dots, m$) predstavlja težinske koeficijente kriterija, a w_{ij} ($i = 1, \dots, n$) predstavlja težinske koeficijente alternative rješenja u odnosu na kriterij j , dok je w_{A_i} ($i = 1, \dots, n$) ukupna težina alternative rješenja. Najbolja alternativa rješenja bit će ona koja

ima najbolju ukupnu težinu w_{A_i} u odnosu na traženi cilj. Izračuni prema AHP metodi obaviti će se softverom **AHP-OS (2019)** prema **Goepel (2018)**.

U odnosu na istraživanje metoda višekriterijskog odlučivanja s ciljem odabira optimalne metode mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji uspostavljeni su kriteriji za odabir metode. **Tablica 3-1** sadrži sažetak osnovnih karakteristika proučavanih metoda višekriterijskog odlučivanja na koje će se odnositi kriteriji za odabir optimalne metode višekriterijskog odlučivanja.

Hijerarhija ciljeva, kriterija i alternativa za odabir optimalne metode prikazana je na **Slici 3-1**.



Slika 3-1. AHP metoda, prikaz hijerarhije ciljeva, kriterija i alternativa

Na **Slici 3-1** cilj odlučivanja je pokazan oznakom G, kriteriji za odabir oznakom C, a oznaku A imaju alternative rješenja koje se traži. Kriteriji za odabir metode mjerenja usporedne efikasnosti jesu: neparametarsko svojstvo metode i odsustvo potrebe da odnosi *inputa* i *outputa* budu eksplicitno određeni, označeni kao IN/OUT, svojstvo metode da određuje težinske koeficijente kriterijima za odlučivanje, označeno kao TEZINA, procjena koriste li promatrane metode kvantitativne i/ili kvalitativne podatke, označeno kao PODACI te mjera subjektivnog utjecaja u izračunima metoda koje su obuhvaćene odabirom, označeno kao SUBJ. Alternative za odabir optimalne metode su ciljno programiranje (GP), analiza omeđivanja podataka (DEA), analiza stohastičke granice (SFA), analitički hijerarhijski proces (AHP), metoda TOPSIS i VIKOR (TPO/VIK) i metoda PROMETHEE (PROMETHEE).

Nakon obavljenih usporedbi kriterija, gdje je uspostavljena hijerarhija kriterija i usporedbe alternativa u odnosu na kriterije, dobiveni su rezultati koji su prikazani u

Tablici 3-2. Koraci u odlučivanju prikazani su u **Prilogu 3-1** koji prikazuje matricu usporedbe kriterija, te u **Prilogu 3-2** koji prikazuje matrice usporedbe alternativa sa svakim pojedinim kriterijem.

Tablica 3-2. Rezultati odabira metode mjerenja usporedne efikasnosti

Svrha odluke	Kriteriji		Alternative							
	Kriteriji	Ukupni prioritet kriterija	Koeficijent konzistencije CR	GP (A1)	DEA (A2)	SFA (A3)	AHP (A4)	TOP/VIK (A5)	SAW (A6)	PROMETHEE (A7)
Odabir optimalne metode odlučivanja	IN/OUT(C1)	0,499	0,075	0,030	0,520	0,221	0,092	0,055	0,028	0,055
	TEZINA(C2)	0,286	0,086	0,042	0,574	0,195	0,063	0,046	0,030	0,051
	PODACI(C3)	0,06	0,033	0,041	0,112	0,084	0,228	0,242	0,051	0,242
	SUBJ(C4)	0,155	0,066	0,155	0,425	0,235	0,037	0,039	0,073	0,037
Ukupni težinski koeficijent alternativa (W_{Ai})				0,053	0,496	0,207	0,083	0,061	0,037	0,062
Normalizirani težinski koeficijenti alternativa				0,107	1,000	0,417	0,167	0,123	0,075	0,125

Izvor: izračun autora, softver AHP-OS

Koeficijenti konzistencije CR kretali su se u rasponu od 0,033 do 0,086 što je manje od preporučenih 0,1.

Iz rezultata prikazanih u **Tablici 3-2** proizlazi da je metoda AOMP (alternativa DEA (A2)) najpovoljniji izbor od ponuđenih alternativa za metodu mjerenja efikasnosti dokovanja brodova u gradnji. Kriteriji koji idu u korist metode AOMP su određivanje težinskih koeficijenata i njeno svojstvo da nije potrebno imati eksplicitno određenu vezu *inputa* i *outputa* procesa koji se promatra. Metodi AOMP ne ide u prilog njeno svojstvo da ne može procesirati kvalitativne podatke, ali usporedbom kriterija došlo se do zaključka da taj kriterij ima nizak ukupni prioritet. U daljnjim razmatranjima će se za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji koristiti metoda analize omeđivanja podataka.

3.2. Metoda analize omeđivanja podataka, uvod i osnovni pojmovi

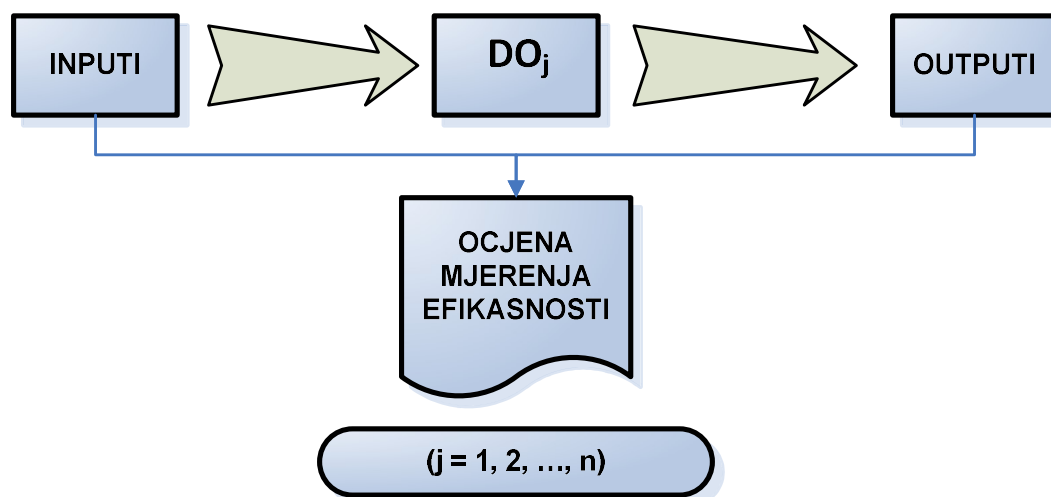
Metoda analize omeđivanja podataka AOMP, (DEA, *Data Envelopment Analysis*) koristi se za vrednovanje efikasnosti entiteta koji koriste resurse za stvaranje outputa. AOMP uključuje modele linearnog programiranja koji mogu uključivati višestruke inpute i outpute bez unaprijed definiranih težina i bez potrebe za eksplicitnim vezama *inputa* i *outputa*. Metoda izračunava skalarnu vrijednost efikasnosti i određuje vrijednosti *inputa* i *outputa* za postizanje efikasnosti procesa koji se metodom proučavaju (**Bowlin, 1998**).

AOMP je uvedena u znanost 1978. godine radom Charnesa, Coopera i Rhodesa pod naslovom „*Measuring the efficiency of decision making units*“ (**Charnes, Cooper i Rhodes, 1978**). Njihov rad temelji se na radu **Farrela (1957)** koji je prvi empirijski izmjerio proizvodnu efikasnost. AOMP je od 1978. godine u uporabi u svrhu procjenjivanja usporedne efikasnosti entiteta koji su podvrgnuti ispitivanju.

U prilog uporabi metode govori i pregled bibliografije o AOMP-u za razdoblje od 1978. do 2016. (**Emrouznejad et al., 2018**) gdje je vidljiv porast broja radova koji koriste AOMP. U razdoblju od 2000. godine, kada je objavljeno približno 100 radova, do 2011. godine, kada je objavljeno približno 900 radova, prosječni broj radova u razdoblju od 2011. do 2015. godine kretao se oko 900 godišnje. Prema istom izvoru, u razdoblju od 2015. do 2016. godine najzastupljeniji su radovi iz područja poljoprivrede, bankarstva, lanaca opskrbe, prijevoza i javnih politika. Prema istom autoru ključne riječi u radovima jesu efikasnost, odlučivanje, tehnička efikasnost, a nalaze se na drugom, trećem i četvrtom mjestu po učestalosti pojavljivanja u ključnim riječima radova.

Osnovni pojmovi koji se koriste u metodologiji AOMP te njihov međusobni odnos prikazani su na **Slici 3-2**. Entiteti koji se podvrgavaju analizi nazivaju se **donositeljima odluka** –DO(DMU, *Decision Making Unit*) a može se raditi o bilo kojem proizvodnom ili neproizvodnom entitetu koji koristi određene *inpute* kako bi ostvario određene *outpute*. Drugim riječima, DO izvodi transformaciju *inputa* u *outpute*.

Inputima se smatraju parametri koji ulaze u promatrani proces, dok se **outputima** smatraju parametri koji su rezultat promatranog procesa. U okviru metode AOMP *inputima* je poželjan smjer smanjenje, a *outputima* je poželjan smjer povećanje vrijednosti. Međuodnosi DO te *inputa* i *outputa* za jedan DO prikazani su na **slici 3-2**. Princip se ponavlja za svaki pojedini DO uključen u analizu.



Slika 3-2. Međuodnosi *inputa*, *outputa* i DO. Izvor: autor

Zbog objašnjenja pojmova vezanih za efikasnost i mjerenje efikasnosti uzet će se primjer s jednim *inputom* na osi x koji predstavlja dane provedene u doku i jednim *outputom* na osi y koji predstavlja recipročnu vrijednost troškova dokovanja. Recipročna vrijednost troškova koristi se na strani *outputa* zato jer logika metode AOMP nalaže da se *outputi* teže povećanju, što bi u slučaju troškova bilo nerazumno. Podaci za primjer mjerenja efikasnosti prikazani su u **Tablici 3-3**.

Tablica 3-3. Podaci za primjer mjerenja efikasnosti

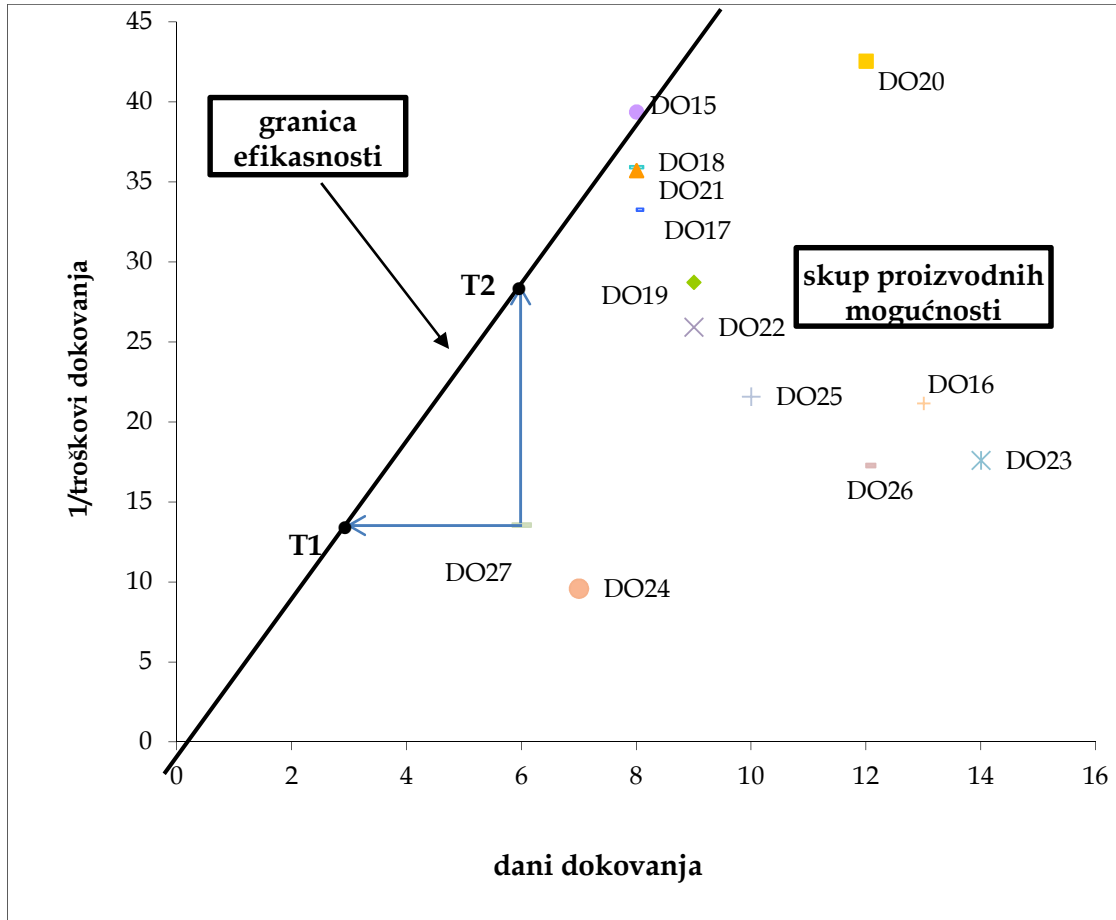
DO	DO15	DO16	DO17	DO18	DO19	DO20	DO22	DO23	DO24	DO25	DO26	DO27
dani dokiranja	8	13	8	8	9	12	9	14	14	10	12	6
1/troškovi dokiranja	39,38	21,17	33,28	35,94	28,74	42,55	25,94	17,60	15,85	21,60	17,30	13,56

Izvor: autor

Podaci iz **Tablice 3-3** uvršteni su koordinatni sustav prikazan na **Slici 3-3**.

Granica efikasnosti pravac je koji prolazi kroz ishodište i točku DO15(8; 39,38) i na taj način omeđuje sve ostale prikazane točke desno od pravca jer točka DO15 pokazuje najveći odnos između *inputa* i *outputa* u zadanom skupu DO. Područje u kojem se nalaze svi ostali DO naziva se *skup proizvodnih mogućnosti*. Za razumijevanje principa djelovanja metoda potrebno je istaknuti da se u skupu proizvodnih mogućnosti efikasnost DO smanjuje se s povećanjem njihove udaljenosti od granice efikasnosti. Neefikasni DO27(6; 13,56) može postati efikasan smanjenjem *inputa* ili povećanjem *outputa*, odnosno

dostizanjem točke T1 (2,75; 13,56) ili točke T2 (6; 29,54), koje se nalaze na granici efikasnosti kako je prikazano na **Slici 3-3**. Točke T1 i T2 nazivaju se projekcijama DO27 na granicu efikasnosti.



Slika 3-3.Primjer s jednim *inputom* i jednim *outputom*

Pojam efikasnosti može se definirati kao odnos ostvarene koristi i korištenih resursa (**Cooper, Seiford, Tone, 2006**), ali i kao obavljanje zadatka na pravi način **Drucker (2005)**.

Mjerenje efikasnosti određenog DO jedan je od osnovnih zadataka pri upravljanju proizvodnim ili poslovnim pothvatima i procesima. Pojam efikasnosti nije strogo određen. Smatra se da je DO efikasniji što koristi manje *inputa*, a ostvaruje više *outputa*. Na taj način efikasnost možemo shvatiti kao odnos dobivenog i uloženog. Za DO koji koristi jedan *input* x kako bi proizveo jedan *output* y , tj. ima pridruženu točku (x,y) , jedna od mogućih mjera efikasnosti može biti izražena kao:

$$\text{efikasnost DO} = \frac{y}{x}$$

gdje je $x > 0, y \geq 0$, a iznos efikasnosti vrijednost veća od nule.

U situaciji promatranja više *inputa* i *outputa* u slučaju neparametarskog pristupa nije moguće odrediti efikasnost iz omjera *inputa* i *outputa* jer oni nisu izraženi istim mjerama (npr. duljina, površina, vrijeme, trošak, cijena). Prema tome, efikasnost se može smatrati omjerom *inputa* i *outputa* samo u slučaju kada se radi o jednom *inputu* i jednom *outputu*. Pokušaji da se iz slučaja jednog *inputa* i jednog *outputa* prijeđe na slučaj višestrukih *inputa* i višestrukih *outputa* popraćeni su problemom određivanja težina *inputima* i *outputima*. Za korištenje sustava višestrukih *inputa* i *outputa*, zbog obujma izračuna koje treba izvesti, potrebno je iskoristiti prednosti koje pružaju softverska rješenja, jedno od kojih je **DEA-Solver-Pro-7.0 (Saitech Inc.)**, a koristit će se u izračunima mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji.

Pomoću spomenutih težina formiraju se *virtualni input* i *virtualni output* kao linearne kombinacije tih težina i vrijednosti *inputa*, odnosno *outputa*, kako bi se konačno došlo do omjera jednog *inputa* i jednog *outputa*. Bez obzira o kojem se broju *inputa* i kojem broju *outputa* radi, cilj je svakog DO postizanje maksimalne efikasnosti.

Ranije je naznačeno da se pod pojmom efikasnosti DO podrazumijeva omjer između ostvarenih *outputa* i korištenih *inputa*. Smatra se da je DO efikasniji kada koristi manju količinu *inputa*, a ostvaruje veću količinu *outputa*. Prema **Cooper i sur. (2006)**, mjera efikasnosti može se proširiti na slučajeve s više *inputa* i više *outputa*, pa tada za DO koji ima pridruženu točku (x,y) , pri čemu je $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ $y = (y_1, y_2, \dots, y_s)$, vrijedi:

$$\text{efikasnost DO} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \quad (5)$$

gdje je: y_r = količina outputa r ,

u_r = težina dodijeljena outputu r ,

x_i = količina inputa i ,

v_i = težina dodijeljena inputu i .

Nazivnik $x' = \sum_{r=1}^s u_r y_r$ naziva se virtualnim *inputom*, a brojnik $y' = \sum_{i=1}^m v_i x_i$ virtualnim *outputom*. Na ovaj se način problem više *inputa* i više *outputa* svodi na problem jednog *inputa* i jednog *outputa*. Težine v_i ($i = 1, 2, \dots, m$) i u_r ($r = 1, 2, \dots, s$) nazivaju se *virtualnim multiplikatorima*. U izrazu (5) postoje određena ograničenja, tj. *virtualni multiplikatori* moraju biti nenegativni i nazivnik mora biti veći od nule.

3.3. Osnovni modeli metode analize omeđivanja podataka

Zamislimo skup od n DO, $(DO_j, j = 1, 2, \dots, n)$. Svaki od njih proizvodi s *outputa*, a za njihovo stvaranje ima m *inputa*. Neka je $x_j = \{x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}$ vektor *inputa*, a $y_j = \{y_{rj}, r = 1, 2, \dots, s\}$ vektor *outputa* za DO_j . Tada je skup podataka određen dvjema matricama, matricom *inputa*: $X = (x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$ i matricom *outputa*: $Y = (y_{rj}, r = 1, 2, \dots, s, j = 1, 2, \dots, n)$.

Temeljni princip djelovanja AOMP modela u vrednovanju efikasnosti $DO_o, o \in \{1, 2, \dots, n\}$ ¹ sastoji se u traženju virtualnih DO s *inputima* i *outputima* definiranim kao linearnim kombinacijama *inputa* i *outputa* ostalih DO u skupu DO, odnosno $X\lambda$ i $Y\lambda$, gdje je $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, $\lambda > 0$ predstavlja vektor težina (koeficijenata linearne kombinacije) promatranih DO. Virtualni DO treba biti bolji (ili barem ne lošiji) od promatranog DO_o . Problem traženja virtualnog DO može se općenito formulirati kao standardni problem linearnog programiranja:

Model usmjeren na *inpute*

$$\min_{\theta, \lambda} \theta$$

$$\text{uz ograničenja: } \theta x_o - X\lambda \geq 0$$

$$Y\lambda \geq y_o$$

$$\lambda \geq 0$$

$$e\lambda = 1$$

Model usmjeren na *outpute*

$$\max_{\eta, \lambda} \eta \quad (6)$$

$$\text{uz ograničenja: } X\lambda \leq x_o \quad (7)$$

$$\eta y_o - Y\lambda \leq 0 \quad (8)$$

$$\lambda \geq 0 \text{ (AOMP-CCR)} \quad (9)$$

$$e\lambda = 1 \text{ (AOMP-BCC)} \quad (10)$$

Modeli analize omeđivanja podataka su nazvani po svojim autorima - CCR model nazvan je po autorima **Charnesu, Cooperu i Rhodesu (1978)**, dok je BCC model nazvan po autorima **Bankeru, Charnesu i Cooperu (1984)**.

Kombinacije uvjeta od (6) do (9) i od (7) do (10) stvaraju modele CCR, odnosno BCC model. Uvjet (7) sastoji se od m ograničenja koja se odnose na *inpute*, dok je uvjet (8) broj s ograničenja koja se odnose na *outpute*, a uvjet (9) od n ograničenja, koliki je i broj entiteta. U uvjetima istraživanja koje se provodi u ovom radu, tri su *inputa* ($m = 3$), šest je

¹Procedura se temelji na Cooper, Seiford i Tone, 2006, str. 87-89

outputa ($s = 6$) i 34 su entiteta ($n = 34$). Vektor λ pokazuje veličine doprinosa efikasnih DO projekciji DO_o na granicu efikasnosti. Zahvaljujući dodatnom ograničenju (10) koje sadrži BCC model, njegova granica efikasnosti u bitnom se razlikuje od granice efikasnosti koju pokazuje CCR model. Na **slici 3-4** je za jednostavni sustav s jednim *inputom* i jednim *outputom* prikazano pružanje granice efikasnosti za oba modela, CCR i BCC, gdje skup proizvodnih mogućnosti za model CCR čini pravac kroz ishodište i točku DO15, a skup proizvodnih mogućnosti za model BCC po dijelovima je linearna funkcija koja spaja točke P, DO27, DO15 i DO20. Na istoj slici bit će objašnjena usmjerenja na *inpute* i *outpute*, te efikasnost po opsegu.

Za daljnja razmatranja potrebno je napomenuti kako je svaki neefikasn DO bliži svojoj BCC projekciji nego svojoj CCR projekciji, što je razlogom da iznos BCC efikasnosti nije nikada niži od iznosa CCR efikasnosti.

Optimalna vrijednost funkcije cilja θ^* ($0 < \theta^* \leq 1$) u modelu usmjerenom na *inpute* je rezultat efikasnosti, a za neefikasn DO_o je također faktor smanjenja *inputa* (*inpute* DO_o treba smanjiti s x_o na $\theta^* x_o$). U modelu usmjerenom na *outpute*, optimalna vrijednost funkcije cilja η^* ($\eta^* \geq 1$) je recipročna vrijednost postignute vrijednosti efikasnosti, a za neefikasn DO_o je faktor povećanja *outputa* (*outpute* DO_o treba povećati s y_o na $\eta^* y_o$). Navedeno čini najvažniju razliku između CCR modela usmjerenog na *inpute* i BCC modela usmjerenog na *outpute*.

Odnosi vrijednosti efikasnosti modela usmjerenog na *inpute* θ i iznosa efikasnosti modela usmjerenog na *outpute* η prema (3), (4) i (5) definirani su kao:

$$\lambda = \frac{\mu}{\eta}, \quad \theta = 1/\eta. \quad (11)$$

Slijedom navedenog, odnos optimalnog rješenja modela usmjerenog na *outpute* i optimalnog rješenja modela usmjerenog na *inpute* glasi:

$$\eta^* = \frac{1}{\theta^*}, \quad \mu^* = \frac{\lambda^*}{\theta^*}. \quad (12)$$

Iz ograničenja (7) i (8) vidljivo je da u modelu usmjerenom na *inpute* ($X\lambda, Y\lambda$) nadmašuje ($\theta^* x_o, y_o$) kada je $\theta^* < 1$. Zahvaljujući tom svojstvu, viškovi *inputa* $s^- \in \mathbf{R}^m$ i manjkovi *outputa* $s^+ \in \mathbf{R}^s$ definirani su kao dopunske varijable, odnosno udaljenosti do efikasnog dijela granice efikasnosti:

$$s^- = \theta x_o - X\lambda, \quad (13)$$

$$s^+ = Y\lambda - y_o, \quad (14)$$

gdje je $s^- \geq 0$, a $s^+ \geq 0$, za svako izvedivo rješenje (θ, λ) modela usmjerenog na *inpute*.

Optimalno rješenje modela za dopunske varijable udaljenosti do efikasnog dijela granice efikasnosti modela usmjerenog na *outpute* (t^-, t^+) definira se izrazima:

$$t^- = x_o - X\mu, \quad t^+ = Y\mu - \eta y_o. \quad (15)$$

Ove su vrijednosti povezane s modelom s usmjerenjem na *inpute* odnosom

$$t^{-*} = \frac{s^{-*}}{\theta^*}, \quad t^{+*} = \frac{s^{+*}}{\theta^*}. \quad (16)$$

Optimalno rješenje modela usmjerenog na *outpute* povezano je s optimalnim rješenjem modela usmjerenog na *inpute* odnosom:

$$\eta^* = \frac{1}{\theta^*}, \quad \mu^* = \frac{\lambda^*}{\theta^*}. \quad (17)$$

Za ispitivanje mogućih viškova *inputa* i manjkova *outputa*, koristi se postupak u dva koraka. U prvom koraku, θ se minimizira, u drugom koraku, zbroj viškova *inputa* i manjkova *outputa* se maksimizira zadržavajući odnos $\theta = \theta^*$ (optimalna funkcija cilja postignuta je u prvom koraku).

Definicija 1 (Efikasnost)

Ako optimalno rješenje $(\theta^*, \lambda^*, s^{-*}, s^{+*})$, dobiveno u postupku s dva koraka zadovoljava uvjet $\theta^* = 1$ i nema udaljenosti do efikasnog dijela granice efikasnosti ($s^{-*} = 0, s^{+*} = 0$), tada se DO_o naziva efikasnim; u suprotnom je neefikasan.

Definicija 2 (Referentni skup)

Za neefikasan DO_o , njegov referentni skup E_o definiran je kao:

$$E_o = \{j | \lambda_j^* > 0\} (j \in \{1, 2, \dots, n\}). \quad (18)$$

Optimalno rješenje može se izraziti kao:

$$\theta^* x_o = \sum_{j \in E_o} x_j \lambda_j^* + s^{-*}, \quad (19)$$

$$y_o = \sum_{j \in E_o} y_j \lambda_j^* - s^{+*}. \quad (20)$$

Ovi izrazi sugeriraju da se efikasnost od DO_o može poboljšati ako se vrijednosti *inputa* smanje radijalno za faktor θ^* (na taj način uklanjajući tehničku neefikasnost) te je višak *inputa* zabilježen u s^{-*} poništen i vrijednosti *outputa* povećane su za iznos manjka *outputa* u s^{+*} (uklanjajući mješovitu neefikasnost). Opisano poboljšanje može se izraziti formulom poznatom kao *projekcija*:

$$\hat{x}_o = \theta_B^* x_o - s^{-*}, \quad (21)$$

$$\hat{y}_o = y_o + s^{+*}. \quad (22)$$

Koristeći analogni postupak, dopunske varijable(t^-, t^+) modela usmjerenog na *outpute* definirane su izrazima: $t^- = x_o - X\lambda$ i $t^+ = Y\lambda - \eta y_o$, dok je projekcija prikazana izrazima:

$$\hat{x}_o = x_o - t^{-*}, \quad (23)$$

$$\hat{y}_o = \eta_B^* y_o + t^{+*}. \quad (24)$$

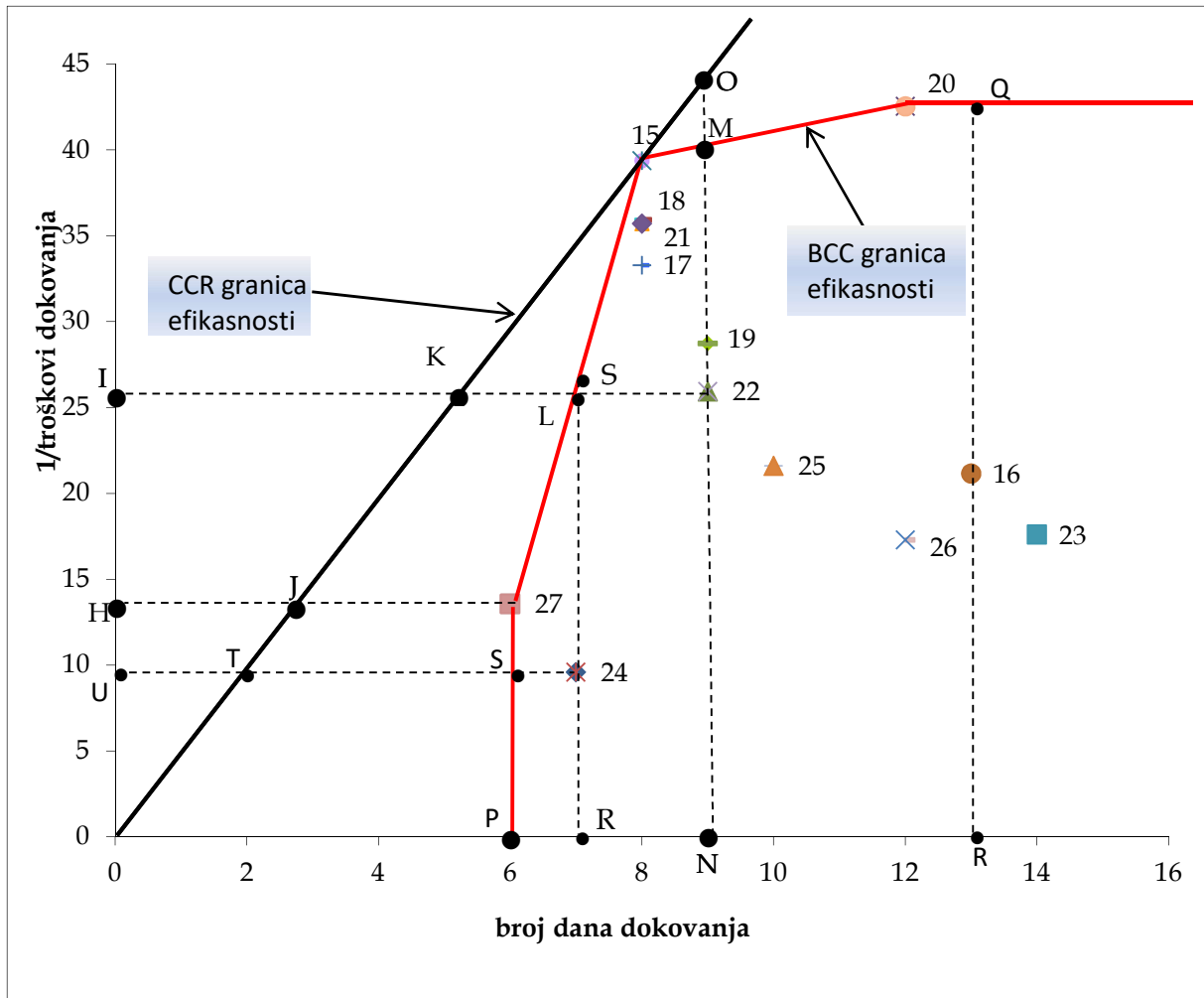
Referentni skupovi i projekcije neefikasnih DO-a ovise o usmjerenju modela, dok granica efikasnosti ne ovisi o usmjerenju modela.

3.4. Metoda analize omeđivanjem podataka na primjeru

Način djelovanja metode AOMP bit će objašnjen kroz praktični primjer s jednim *inputom* i jednim *outputom* prema podacima iz **Tablice 3-3**. Na **Slici 3-4** prikazan je sustav s jednim *inputom* i jednim *outputom*, uz istovremeni prikaz razrade komponenti efikasnosti za točku DO22.

Slika 3-4 prikazuje granicu efikasnosti CCR modela, a to je pravac koji prolazi kroz ishodište i točku DO15, a za model BCC granicu efikasnosti predstavlja razlomljeni pravac koji prolazi kroz točke P(6,0), DO27(6; 13,56), DO15(8; 39,38), DO20(12; 42,55). U modelu usmjerenom na *outpute*, projekcija DO22 (9; 25,94) na granicu efikasnosti CCR je točka O(9; 44,303), koja ima vrijednost *inputa* koji se ne mijenja u odnosu na DO22 i vrijednost *outputa* koji je potrebno ostvariti za postizanje efikasnosti. Za DO22 u modelu BCC koji je usmjeren na *outpute*, projekcija na BCC granicu efikasnosti nalazi se u točki M(9; 40,173). U modelu usmjerenom na *inpute*, projekcije DO22 na granice CCR i BCC efikasnosti nalaze se u točkama K(5,27; 25,94) za CCR i L(6,96; 25,94) za BCC.

Usmjerenje na *inpute* promatra se u odnosu na granicu efikasnosti paralelno sa osi x, a usmjerenje na *outpute* promatra se u odnosu na granicu efikasnosti paralelno sa osi y, neovisno o kojem se modelu radi (CCR ili BCC).



Slika 3-4. Slučaj jednog *inputa* i jednog *outputa*, CCR i BCC efikasnost

Efikasnost za DO22 po CCR modelu s usmjerenjem na *inpute* iznosi:

$$\theta_{CCR-I}^{*}(DO22) = \frac{IK}{IDO22} = \frac{5,27}{9} = 0,5855 < 1,$$

a za CCR model s usmjerenjem na *outpute*:

$$\theta_{CCR-O}^{*}(DO22) = \frac{NDO22}{NO} = \frac{25,94}{44,303} = 0,5855 < 1,$$

dok efikasnost po BCC modelu usmjerenom na *inpute* iznosi:

$$\theta_{BCC-I}^{*}(DO22) = \frac{IL}{IDO22} = \frac{6,95}{9} = 0,773 < 1.$$

a iznos efikasnosti po BCC modelu usmjerenom na *outpute* je:

$$\theta_{BCC-O}^{*}(DO22) = \frac{NDO22}{NM} = \frac{25,94}{40,173} = 0,6457 < 1.$$

Iznosi efikasnosti neovisni su o usmjerenju u CCR modelu, jer je CCR granica efikasnosti pravac, dok su iznosi efikasnosti BCC modela ovisni o usmjerenju jer je granica BCC efikasnosti razlomljeni pravac.

Podaci iz **Tablice 3-4** obuhvaćaju podatke koji su korišteni u obradi za stvaranje **Slike 3-4** i izračune svih CCR efikasnosti, BCC efikasnosti i efikasnosti s obzirom na opseg u modelima usmjerenim na *inpute* i modelima usmjerenim na *outpute* za smanjeni broj DO (DO15 – DO27). Radi bolje preglednosti slike za slučaj jednog *inputa* i jednog *outputa*, DO su označeni simbolom i brojem same DO.

Tablica 3-4. Slučaj s jednim *inputom* i jednim *outputom*, s iznosima efikasnosti s obzirom na opseg za usmjerenje na *inpute* i *outpute*

1			2	3		4	
podaci o DO			CCR efikasnost	usmjerenje na <i>inpute</i>		usmjerenje na <i>outpute</i>	
DO	dani dokovanja	1/troškovi dokovanja		BCC efikasnost	efikasnost s obzirom na opseg	BCC efikasnost	efikasnost s obzirom na opseg
DO15	8	39,38	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
DO16	13	21,17	0,3307	0,5068	0,6525	0,4975	0,6649
DO17	8	33,28	0,8450	0,9409	0,8981	0,8450	1,0000
DO18	8	35,94	0,9125	0,9666	0,9440	0,9125	1,0000
DO19	9	28,74	0,6486	0,7973	0,8135	0,7153	0,9068
DO20	12	42,55	0,7203	1,0000	0,7203	1,0000	0,7203
DO21	8	35,71	0,9068	0,9644	0,9402	0,9068	1,0000
DO22	9	25,94	0,5855	0,7732	0,7572	0,6457	0,9068
DO23	14	17,60	0,2554	0,4509	0,5664	0,4137	0,6174
DO24	7	9,58	0,2781	0,8571	0,3244	0,3619	0,7682
DO25	10	21,60	0,4387	0,6622	0,6625	0,5272	0,8322
DO26	12	17,30	0,2928	0,5241	0,5587	0,4065	0,7203
DO27	6	13,56	0,4591	1,0000	0,4591	1,0000	0,4591
prosječna efikasnost:			0,5903	0,8034	0,7152	0,7102	0,8151

Izvor: obrada autora

S obzirom na BCC projekciju DO22 s usmjerenjem na *outpute*, na granicu efikasnosti u točki M, uzori za DO22 jesu točke DO15 i DO20 jer se točka M nalazi na dijelu granice kojeg formiraju DO15 i DO20. Za postizanje efikasnosti potrebno je performanse DO22 poboljšati za 54,87%. Entitet DO22 može se djelotvorno poboljšati pomicanjem u točku M. Obzirom da je M virtualni entitet, usporedba M s DO22 ima smisla tek nakon izražavanja outputa točke M linearnom kombinacijom *outputa* točaka DO15 i DO20. To se čini na sljedeći način:

$$x_1 = 0,75 * 8 + 0,25 * 12 = 9,$$

$$y_1 = 0,75 * 39,38 + 0,25 * 42,55 = 40,173,$$

Temeljem izračuna koeficijenata linearne kombinacije zaključuje se da u formiranju projekcije D022 na efikasnu granicu s usmjerenjem na *outpute*, D015 ima koeficijent 0,75, a D020 koeficijent 0,25. Veći udio D015 vidljiv je iz **Slike 3-4**, jer je točka M znatno bliže D015 nego D020. Referentni skup za neefikasni entitet D022 tako čine D015 s $\lambda_1 = 0,75$ i D020 s $\lambda_2 = 0,25$, kako je vidljivo u **Tablici 3-5** te oni postaju uzori za poboljšanje efikasnosti u usmjerenju na *outpute*.

Tablica 3-5. Referentni skup za BCC model, usmjerenje na *outpute*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
1	D015	1,0000	1	1,0000	D015	1,00		
2	D016	0,4975	10	2,0102	D020	1,00		
3	D017	0,8450	6	1,1834	D015	1,00		
4	D018	0,9125	4	1,0959	D015	1,00		
5	D019	0,7153	7	1,3981	D015	0,75	D020	0,25
6	D020	1,0000	1	1,0000	D020	1,00		
7	D021	0,9068	5	1,1028	D015	1,00		
8	D022	0,6457	8	1,5487	D015	0,75	D020	0,25
9	D023	0,4137	11	2,4171	D020	1,00		
10	D024	0,3619	13	2,7628	D015	0,50	D027	0,50
11	D025	0,5272	9	1,8967	D015	0,50	D020	0,50
12	D026	0,4065	12	2,4598	D020	1,00		
13	D027	1,0000	1	1,0000	D027	1,00		

Izvor: obrada autora

Za slučaj BCC projekcije D022 s usmjerenjem na *inpute* koji se nalazi u točki L(6,96; 25,94) uzori su točke D015(8; 39,38) i D027(6; 13,56) koje čine granicu BCC efikasnosti. Za postizanje efikasnosti, performanse D022 potrebno je poboljšati za 29,37%, odnosno pomaknuti D022 u točku L. Linearna kombinacija točaka D015 i D027 je:

$$x_1 = 0,48 * 8 + 0,52 * 6 = 6,95,$$

$$y_1 = 0,48 * 39,38 + 0,52 * 13,56 = 25,94.$$

U formiranju projekcije D022 na efikasnu granicu s usmjerenjem na *inpute* D015 ima koeficijent 0,48, a D027 ima koeficijent 0,52, kako je vidljivo u **Tablici 3-6**.

Iz prikaza projekcija DO22 na granicu efikasnosti s usmjerenjima na *inpute* i *outpute* koji su prikazani na **Slici 3-3**, kao i referentnih skupova u **Tablicama 3-5 i 3-6** vidljivo je da za BCC model iznosi efikasnosti i referentni skupovi ovise o usmjerenju modela.

Tablica 3-6. Referentni skup za BCC model, usmjerenje na *inpute*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
1	DO15	1,0000	1	1,0000	DO15	1,00		
2	DO16	0,5068	12	1,9730	DO15	0,29	DO27	0,71
3	DO17	0,9409	6	1,0628	DO15	0,76	DO27	0,24
4	DO18	0,9666	4	1,0345	DO15	0,87	DO27	0,13
5	DO19	0,7973	8	1,2543	DO15	0,59	DO27	0,41
6	DO20	1,0000	1	1,0000	DO20	1,00		
7	DO21	0,9644	5	1,0369	DO15	0,86	DO27	0,14
8	DO22	0,7732	9	1,2933	DO15	0,48	DO27	0,52
9	DO23	0,4509	13	2,2176	DO15	0,16	DO27	0,84
10	DO24	0,8571	7	1,1667	DO27	1,00		
11	DO25	0,6622	10	1,5100	DO15	0,31	DO27	0,69
12	DO26	0,5241	11	1,9080	DO15	0,14	DO27	0,86
13	DO27	1,0000	1	1,0000	DO27	1,00		

Izvor: obrada autora

Na primjeru DO16 (13; 21,17) pokazat će se projekcija na neefikasni dio granice efikasnosti modela BCC s usmjerenjem na *outpute*. BCC efikasnost za DO16 izračunat će se prema:

$$\theta_{BCC-o}^*(DO16) = \frac{RDO16}{RQ} = \frac{21,17}{42,55} = 0,4975 < 1$$

Projekcija DO16 na granicu efikasnosti nalazi se u točki Q koja se nalazi na neefikasnom dijelu granice neefikasnosti (neefikasni dio jer DO20 dominira, odnosno koristi manju količinu *inputa* za ostvarenje iste količine *outputa*), što implicira ne samo manjak *outputa*, nego i višak *inputa* za postizanje projekcije točke DO16 na efikasni dio granice efikasnosti. U ovom slučaju, projekcija DO16 na granicu efikasnosti nalazi se u točki DO20, koja se nalazi na efikasnom dijelu granice efikasnosti, pa stoga slijedi da input DO16 treba smanjiti s vrijednosti 13 na vrijednost 12, što predstavlja višak *inputa* u iznosu 1.

Slučaj projekcije na neefikasni dio granice efikasnosti u slučaju BCC modela s usmjerenjem na *inpute* prikazat će se na DO24(7; 9,58). Izračun BCC efikasnosti za DO24 je:

$$\theta_{BCC-I}^*(DO24) = \frac{SU}{UDO24} = \frac{6}{7} = 0,8751 < 1$$

Projekcija DO24 na granicu efikasnosti nalazi se u točki S (6; 9,58), koja se nalazi na neefikasnom dijelu granice efikasnosti. Točkom S dominira DO27 na granici efikasnosti, što pokazuje višak *inputa*, kao i manjak *outputa*. Rješenje za postizanje efikasnosti DO24 je smanjenje *inputa* za 1 i povećanje *outputa*, odnosno dopunske varijable u iznosu od 3,98 za dostizanje DO27.

Prepoznavanje i procjenjivanje uzroka neefikasnosti iznimno je važno u ocjenjivanju DO. Sljedeći važan korak u istraživanju neefikasnosti je istražiti je li neefikasnost uzrokovana neefikasnim djelovanjem samog DO ili pak uvjetima u kojima DO djeluje. Zbog navedenog, potrebna je usporedba iznosa efikasnosti DO po CCR i BCC modelu. CCR model pretpostavlja skup proizvodnih mogućnosti s konstantnim prinosom. Kako ne uzima u obzir učinak opsega (prinosa), CCR iznos naziva se *tehnička efikasnost* (*Technical efficiency*). Nasuprot tome, BCC model pretpostavlja skup proizvodnih mogućnosti s varijabilnim (rastućim ili padajućim) prinosom. BCC model, za razliku od CCR modela, uzima u obzir učinak opsega u uvjetima promjenjivog prinosa (*VRS, Variable Returns to Scale*). Ako je DO efikasan prema BCC modelu, tada ostvaruje *čistu tehničku efikasnost* (*Pure technical efficiency*) u uvjetima promjenjivog prinosa. Ako je DO efikasan prema BCC modelu, a ostvaruje nisku efikasnost prema CCR modelu, tada djeluje lokalno efikasno, ali ne i globalno efikasno, zbog efikasnosti DO po opsegu. Na taj se način efikasnost po opsega (*SE, Scale Efficiency*) pojedinog DO može izraziti kao kvocijent dviju efikasnosti.

Definicija 3 (Efikasnost po opsegu)

Neka su θ_{CCR}^* i θ_{BCC}^* iznosi efikasnosti DO po CCR, odnosno BCC modelu. Efikasnost po opsegu definirana je kao:

$$SE = \frac{\theta_{CCR}^*}{\theta_{BCC}^*} \quad (25)$$

Efikasnost po opsegu očigledno nije veća od 1, a za BCC efikasnog DO sa svojstvima konstantnog prinosa, efikasnost po opsegu jednaka je 1. Prema ranije navedenom, odnos

(21) prikazuje dekompoziciju efikasnosti, odnosno neefikasnost raščlanjuje na sastavne dijelove :

$$\theta_{CCR}^* = \theta_{BCC}^* \times SE \quad (26)$$

ili

$$[\text{Tehnička efikasnost(TE)}] = [\text{Čista tehnička efikasnost (ČTE)}] \times [\text{Efikasnost po opsegu (EO)}].$$

Ovaj izraz, koji je jedinstven, opisuje izvore neefikasnosti, bilo da je neefikasnost uzrokovana neefikasnim djelovanjem, bilo neadekvatnim uvjetima opisanima efikasnošću prema opsegu, bilo objema okolnostima.

Pojašnjenje pojma efikasnosti po opsegu prikazat će se na primjeru sa **Slike 3-3**. U razmatranje će se uzeti DO27 u modelu s usmjerenjem na *inpute*:

$$EO(DO27) = \frac{\theta_{CCR}^*(DO27)}{\theta_{BCC}^*(DO27)} = \frac{JH}{DO27H} = \frac{2,76}{6} = 0,46 < 1$$

iz čega proizlazi da DO27 djeluje čisto efikasno (ČTE=1), dok je njegova tehnička efikasnost ograničena zbog neefikasnosti po opsegu. Efikasnost po opsegu je za DO15 jednaka 1, što znači da on djeluje u najproduktivnijem opsegu djelovanja. Od ostalih neefikasnih DO, efikasnost po opsegu za DO22, usmjereno na *inpute*, može se izraziti:

$$EO(DO22) = \frac{\theta_{CCR}^*(DO22)}{\theta_{BCC}^*(DO22)} = \frac{\frac{IK}{IDO22}}{\frac{IL}{ILO22}} = \frac{IK}{IL} = \frac{5,27}{6,97} = 0,7561 < 1,$$

te se gornja formula može izraziti kao

$$TE(DO22) = \text{ČTE}(DO22) \times EO(DO22) \text{ ili:}$$

$$\frac{IK}{IDO22} = \frac{IL}{ILO22} \times \frac{IK}{IL}$$

Kada se u gornju formulu unesu podaci, to je:

$$\frac{5,27}{12} = \frac{6,97}{12} \times \frac{5,27}{6,97}$$

$$\text{odnosno,} \quad 0,4391 = 0,5808 \times 0,7651$$

Na taj se način izražava ukupna neefikasnost (0,4391) entiteta DO22 uzrokovana njegovim tehnički neefikasnim (0,5808) djelovanjem i istodobno nepovoljnim opsegom djelovanja (0,7651). Veći dio neefikasnosti leži, dakle, u čistoj tehničkoj neefikasnosti, a manji u neefikasnosti s obzirom na opseg.

Prema **Cooper i sur. (2006)** i **Kumar i Gulati (2008)** tehničku efikasnost predstavlja sposobnost transformiranja *inputa* u *outpute* u odnosu na maksimalni

potencijal promatranog DO, za razliku od čiste tehničke efikasnosti koja daje mjeru menadžerske sposobnosti da organizira transformaciju *inputa* u *outpute*. Efikasnost po opsegu opisuje sposobnost menadžmenta da odabere optimalnu veličinu resursa za odvijanje procesa u promatranom DO. Mjera efikasnosti po opsegu govori o sposobnosti menadžmenta da odabere optimalnu veličinu resursa koju koristi u procesu koji se mjeri.

Kako se kod CCR i kod BCC modela nudi izbor usmjerenja na *inpute* ili pak na *outpute*, odabire se usmjerenje koje bolje odgovara cilju procesa kojega se analizira. Za razmatranje dokovanja broda u gradnji uzima se u obzir da je cilj dokovanja broda u gradnji izvršenje pothvata s najmanjim troškovima i u najkraće moguće vrijeme. Promatranje troškova, koji su dijelom povezani s vremenom provedenim u doku, navodi na usmjerenost na *outpute*.

Relativna efikasnost dokovanja određenog broda u gradnji dobivena odabranom metodom AOMP znači stupanj njegove uspješnosti u odnosu na sve ostale promatrane brodove.

AOMP čini skup modela i metoda zasnovanih na matematičkom programiranju u situaciji koja u izvjesnoj mjeri odudara od standardnog načina uporabe. Izračun efikasnosti se zasnivana na podacima iz nekog prošlog razdoblja pa se modeli matematičkog programiranja koriste nakon donošenja odluke kao mjerilo njezine efikasnosti bez obzira na koji se način do odluke došlo. Iz ovoga proizlazi da su mogućnosti za donošenje odluka s ciljem povećanja efikasnosti ograničene. Takvo naknadno korištenje iznimno je važno jer ne samo da upućuje na neefikasnost, nego i na izvore i iznose neefikasnosti, pa su moguće korekcije budućih odluka na osnovu kojih se može efikasno djelovati. U situaciji kada je DO efikasan, od značaja je određivanje područja mogućih promjena njegovih podataka, ali na način da promatrani DO i dalje ostane efikasan.

3.5. Prednosti i ograničenja metode analize omeđivanja podataka

Odluka o korištenju metode AOMP za modeliranje procesa mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji temeljena je na iskustvu autora i literaturi vezano za izvedbe pothvata dokovanja, kao i za rezultate pretrage literature za metodom koja će omogućiti modeliranje procesa.

Iz pregleda literature prema **Coelli i sur. (1998)**, **Moritmer (2002)**, **Coelli i sur. (2005)**, **Kahraman (2008)**, **Velasques i Hester (2013)**, **Aruldoss i sur. (2013)**, te **Korhonen i Wallenius (2020)**, a uz preporuke za uporabu prema **Golany i Roll (1989)**, **Sarkis (2007)** i **Cook i sur. (2014)**, mogu se sagledati prednosti i ograničenja metode AOMP u procesu mjerenja relativne efikasnosti, u ovom slučaju mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji. Za promatranu namjenu prednosti metode AOMP jesu:

- neparametarski pristup:
 - ne zahtijeva poznavanje eksplicitne veze između *inputa* i *outputa*
 - ne zahtijeva određivanje težina *inputa* i *outputa*
- proizvoljnost odabira *inputa* i *outputa* vezano uz vrstu i veličinu njihovih mjernih jedinica
- izbor tipa modela prema vrsti prinosa (konstantni ili varijabilni prinos)
- prilagodljivost modela strategiji managementa procesa koji se promatra (smanjenje *inputa* ili povećavanje *outputa*)
- nije potrebno ekspertno mišljenje za određivanje težinskih koeficijenata *inputa* i *outputa*
- raspoloživost literature i web stranica te brojnost softverskih aplikacija jednostavnih za uporabu.

Ograničenja koja su karakteristična za metodu AOMP, a primjetljiva su u ovom radu, jesu:

- mjeri se relativna efikasnost DO u promatranom skupu, dok uključivanje novih DO može promijeniti granicu efikasnosti
- iznosi efikasnosti koji se dobivaju prema podacima jednog procesa ili organizacije ne mogu se direktno uspoređivati s rezultatima drugog procesa ili organizacije
- nepouzdanost rezultata u slučaju premalog broja DO u odnosu na ukupni broj *inputa* i *outputa*
- pojava nedostajućih podataka,
- greške u mjerenju ili prikupljanju podataka utječu na rezultate izračuna,
- osjetljivost na ekstremna opažanja i slučajne pogreške.

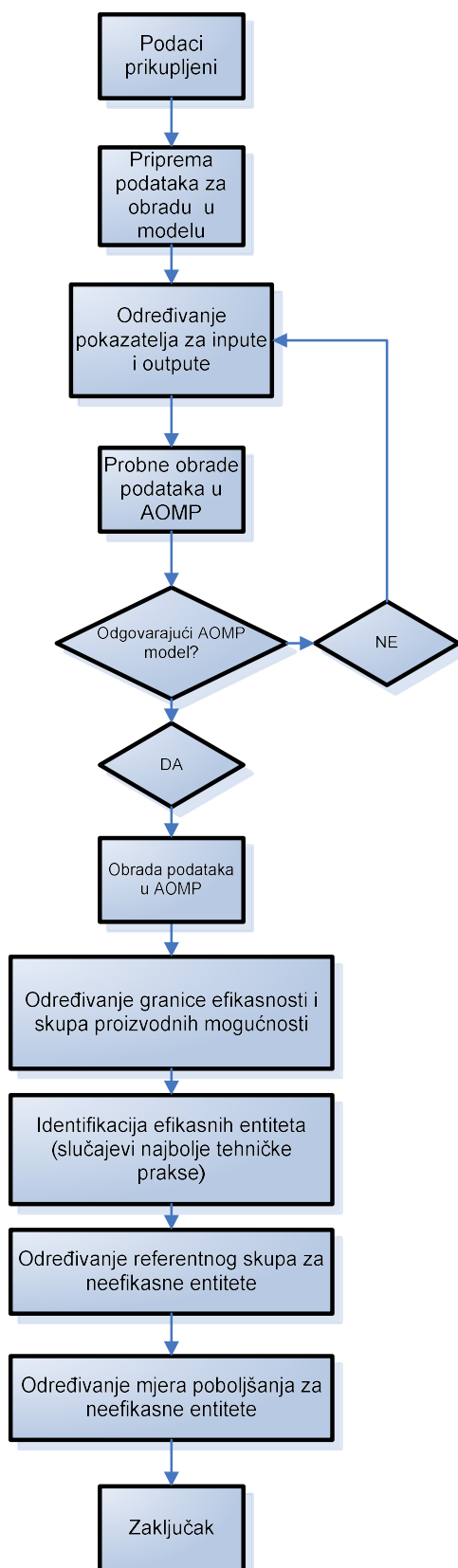
U ovom radu navedena ograničenja metode AOMP neće utjecati na izvedbu izračuna metodom AOMP jer se radi o homogenom skupu podataka u kojem greške nisu uočene,

modeli ne pokazuju pojavu ekstremnih rezultata i nema nedostajućih podataka. Usporedbe rezultata izračuna obavljat će se samo u okviru promatranog skupa, bez uključivanja podataka iz nekih drugih izračuna ili skupova podataka.

Vezano za metodu AOMP, često se postavlja pitanje odnosa broja DO i ukupnog broja *inputa* i *outputa*. Poznato je da se zbog određenog broja stupnjeva slobode postavlja zahtjev da broj DO mora biti veći od zbroja *inputa* i *outputa*. Prema **Golanyju i Rollu (1989)**, broj DO treba biti barem dva puta veći od zbroja *inputa* i *outputa*, dok **Banker i sur. (1989)** te **Friedman i Sinuany-Stern (1998)** navode da broj DO treba biti barem tri puta veći od zbroja *inputa* i *outputa* sustava koji se proučava AOMP metodom. Prema **Boussofiane i sur. (1991)**, broj DO ne bi trebao biti manji od umnoška broja *inputa* i *outputa* procesa koji se promatra.

Kada je u pitanju osjetljivost na ekstremna opažanja i slučajne pogreške, osnovna je pretpostavka da slučajne pogreške ne postoje i da se sva odstupanja od procijenjene granice skupa proizvodnih mogućnosti, čiji se smještaj i oblik određuju isključivo na osnovu najuspješnijih djelovanja, odnose na neefikasnost. Isto tako, pri interpretaciji rezultata potreban je oprez. Moguć je slučaj da promatrani DO(brod) koji je ocijenjen relativno efikasnim ne mora nužno biti onaj koji iz danih *inputa* daje maksimalno moguće *outpute*, nego je on relativno efikasan, odnosno efikasan u usporedbi s ostalim promatranim brodovima. Određivanje efikasnosti poslovnog pothvata ili procesa (ili dijela procesa) metodom AOMP može se prikazati blok dijagramom kako to opisuje **Slika 3-5**. Proces korištenja metode AOMP započinje prikupljanjem podataka o procesu kojeg se želi promatrati. Važno je istaknuti da je potrebno prikupiti dovoljnu količinu podataka koji opisuju promatrani proces i koji će biti prikazani u kategorijama *inputa* i *outputa*. Pritom zbroj *inputa* i *outputa* ne bi trebao prijeći trećinu broja DO koji se promatraju.

Znanje i spoznaje o promatranom procesu, kao i znanja o tome koje kategorije podataka teže smanjenju, a koje povećanju vrijednosti, od ključnog su značenja za odabir *inputa* i *outputa* jer o tome ovise i rezultati obrade podataka te procjene efikasnosti promatranog procesa. U dijelu priprema za obradu podataka, određuje se koje će kategorije podataka biti *inputi*, a koje *outputi*. U dijelu prilagodbe podataka za obradu metodom AOMP potrebno je prema znanjima o procesu koji se promatra odrediti hoće li analiza podataka biti usmjerena prema *inputima* ili prema *outputima*, ovisno o tome što je za promatrani proces od većeg značaja i što se može lakše poboljšavati.



Slika 3-5. Određivanje efikasnosti po metodi AOMP, blok dijagram

Primjerice, broj radnika koji sudjeluju u dokovanju moguće je smanjiti ili povećati do određene granice, dok je, nasuprot tomu, površina podvodnog dijela *input* kojeg je

gotovo nemoguće smanjiti za određeni tip i veličinu broda. U ovom slučaju površina podvodnog dijela broda je *input* na koji nemamo utjecaja, tj. *nekontrolabilni input*.

Podatak duljine trajanja dokovanja ima svoju najnižu vrijednost ispod koje se ne može ići jer je definirana tehnologijom bojenja, dok su sva vremena trajanja veća od te vrijednosti posljedica vremenskih prilika i nepredviđenih radova i/ili organizacije radova bilo za vrijeme dokovanja, bilo u prijašnjim fazama gradnje broda, bilo u transferu broda do mjesta dokovanja. Skraćivanje tehnološkog vremena bojenja bilo bi moguće smanjiti korištenjem boja koje imaju kraće međupremazne intervale, premda se postavlja pitanje postoje li takve boje, i ako postoje, opravdava li cijena uštedu u vremenu.

Nakon odabira *inputa* i *outputa* te usmjerenja modela AOMP pristupa se probnim obradama podataka gdje se uočavaju anomalije u podacima, potreba za recipročnim vrijednostima dijela podataka te entiteti s ekstremnim vrijednostima, bilo po efikasnosti, bilo po neefikasnosti. Potrebno je naglasiti da izmjene u podacima trebaju biti takve naravi da sve podatke iz jedne kategorije mijenjaju na isti način. Primjerice, uvođenje recipročne vrijednosti, odnosno skaliranja troška bojenja potrebno je uvesti jednako za sve promatrane DO. Na taj se način održava jednak odnos između vrijednosti za sve promatrane DO. Po otklanjanju anomalija, pristupa se obradi podataka metodom AOMP s ažuriranim podacima. Uobičajeno se podaci prvo obrađuju osnovnim modelima AOMP, a to su CCR i BCC, prema ranije utvrđenom usmjerenju (na *inpute* ili *outpute*). Po završenim obradama pristupa se analizi svakog pojedinog modela gdje se provjerava, analizira i utvrđuje sljedeće:

- broj efikasnih i neefikasnih DO
- iznosi efikasnosti (najveća, najmanja, srednja, standardna devijacija skupa prikupljenih podataka, broj DO koji imaju efikasnost manju od prosječne)
- najefikasniji DO, tj. slučajevi najbolje tehničke prakse
- projekcije manje efikasnih DO na granicu efikasnosti te mogućnosti poboljšanja
- skupovi referentnih DO sastavljeni od efikasnih DO koji predstavljaju uzore za svaki pojedini neefikasni DO
- zaključci s mjerama poboljšanja i mogućim proširenjima modela.

Metoda analize omeđivanja podataka odabrana je za razradu efikasnosti dokovanja brodova u gradnji s obzirom na okolnost da za sve promatrane entitete postoje jednoznačni precizni podaci i da postoje odnosi između *inputa* i *outputa* koje je teško izraziti eksplicitnim matematičkim izrazom. S druge strane, metoda analize omeđivanja

podataka zbog svog neparametarskog pristupa ne traži od korisnika znanje o vezi *inputa* i *outputa*, nego sama pronalazi tu povezanost te na taj način uklanja subjektivnost korisnika u analizi podataka, što je u razradi ove problematike i cilj. Iznos efikasnosti je broj u intervalu od 0 do 1 (0-100%) koji kazuje rezultat za svaki pojedini DO, što je za menadžment koji upravlja procesom od velike važnosti jer se vrlo brzo može razlučiti efikasno od neefikasnog te se nakon prve informacije o efikasnosti mogu dobiti analize za DO koje su menadžmentu zanimljive. U koraku nakon analize mogu se dati prijedlozi za poboljšanja u odnosu na analizirane podatke. Na kraju je potrebno naglasiti da bez znanja procesa, u ovom slučaju brodograđevnog, s naglaskom na tehnologiji gradnje broda, brodskoj strukturi, opremanju broda, bojenju, funkcioniranju brodskih strojeva, uređaja i sustava, kao i o samom dokovanju, nije moguće kvalitetno iskoristiti model mjerenja efikasnosti dokovanja koji koristi metodu analize omeđivanja podataka za mjerenje efikasnosti dokovanja broda u gradnji, obzirom da se izvori neefikasnosti, a posljedično i rješenja za neefikasnosti, nalaze u brodograđevnom procesu, a ne u metodi kojom se neefikasnost identificira.

Za potrebe testiranja višekriterijskog modela mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji, osim postojećih brodova uvodit će se fiktivni brodovi s izmijenjenim podacima koji će služiti testiranju modela i demonstraciji njegovih mogućnosti. Valja napomenuti da prema **Zhu (2015)** svaki novopridruženi entitet koji se pokaže neefikasnim nakon provedenog proračuna efikasnosti ima svojstvo da ne mijenja iznose efikasnosti preostalih entiteta. U slučaju da je novi entitet efikasan, on utječe na granicu efikasnosti, dok se iznosi efikasnosti ostalih entiteta mijenjaju te se uspostavlja novi poredak za usporedbu iznosa efikasnosti, što u konačnici daje mogućnost za poboljšanja.

4. MJERENJE USPOREDNE EFIKASNOSTI DOKOVANJA

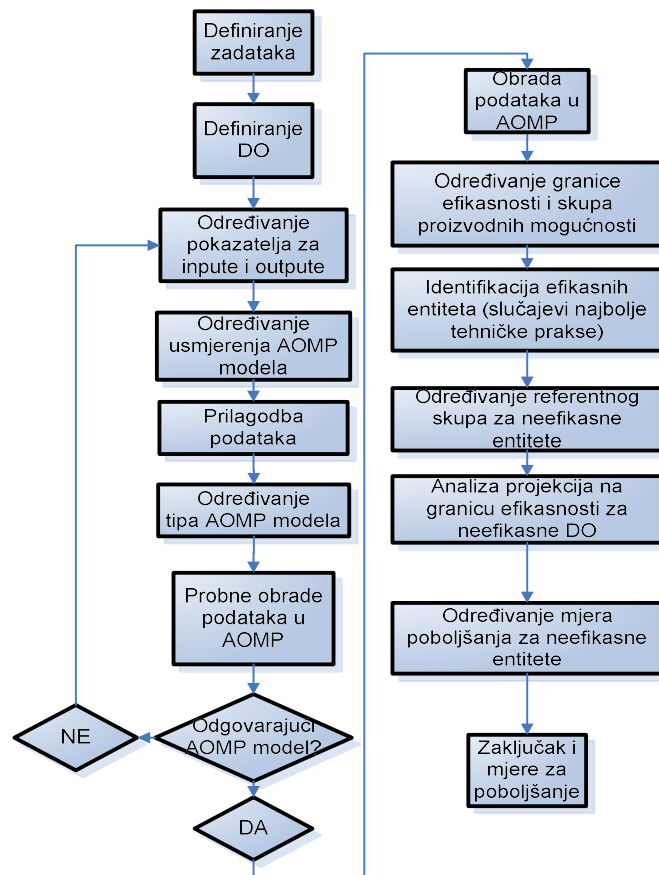
U slučaju ovoga rada, modeliranje je proces kojim se pothvat dokovanja opisuje kao proces sa svojim *inputima* i *outputima*. Realni proces odvija se prema planovima, nacrtima, popisima materijala i uputama, a aktivnosti u procesu obavljaju menadžment i radnici uz pomoć alata, strojeva i materijala koji se ugrađuju u brod. Rezultat rada je opremljen i dokovan brod s uspostavljenim funkcijama, a rezultati rada također uključuju troškove koji su nastali kao posljedica aktivnosti u procesu.

Cjelokupni proces modeliranja realnog procesa metodom AOMP treba sadržavati znanja o procesu koji se proučava i uključivati pokazatelje koji predstavljaju proces. **Triantis (2011)** opisuje stvaranje modela koji oponaša procese koji se odvijaju u realnim uvjetima i preporučuje testiranje stvorenog modela radi provjere njegovog ponašanja.

4.1. Osnovno o mjerenju usporedne efikasnosti dokovanja

Preporuke koje su dali **Cook i sur. (2014)** za odabir modela AOMP kojom se izvodi analiza procesa sastoje se od definiranja svrhe analize, određivanja entiteta koji se proučavaju, njihovih *inputa* i *outputa*, usmjerenja i tipa modela i interpretacije rješenja. **Slika 4-1** napravljena je u skladu s njihovim preporukama.

Postupak počinje definiranjem zadatka. U ovom slučaju to je određivanje slučajeva najbolje tehničke prakse dokovanja i određivanje mjera poboljšanja za neefikasne DO. Nakon definiranja zadatka, pristupa se pripremi podataka za izračun, nakon čega slijedi određivanje pokazatelja koji će se koristiti kao *inputi* i *outputi* modela koji se izračunava. Nakon određivanja pokazatelja određuje se usmjerenje te se obavljaju probne obrade podataka, a kada se utvrdi da je odabran ispravan model, slijedi obrada podataka, određivanje granice efikasnosti i skupa proizvodnih mogućnosti. Po određivanju granice efikasnosti i skupa proizvodnih mogućnosti, proces se nastavlja identifikacijom slučajeva najbolje tehničke prakse i određivanjem referentnih skupova za poboljšanje neefikasnih dokovanja, kao i projekcija neefikasnih DO na granicu efikasnosti. Na kraju se određuju mjere za poboljšanje.



Slika 4-1. Postupak mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja, izvor: autor

4.2. Podaci za model mjerenja usporedne efikasnosti

Iz podataka o brodovima u gradnji odabiru se pokazatelji koji se smatraju odgovarajućima za opisivanje pothvata dokovanja broda u gradnji, a s druge strane opisuju resurse koji se koriste kako bi se postigli ciljevi. Usporedo s odabirom pokazatelja i resursa, podaci pothvata dokovanja analiziraju se prema stručnim kriterijima. Iz navedenog skupa podataka uzet će se podaci koji će se koristiti u modelu mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji. Pri donošenju odluke koji će se pokazatelji odabrati, potrebno se voditi zahtjevom za uključanjem onih *inputa* i *outputa* koji najbolje odražavaju proces. Potrebno je napomenuti da postoje podaci, kao npr. sezona dokovanja ili mjesto dokovanja, koji se ne mogu izraziti kao *input* ili *output* jer su kvalitativni, ali se takvi podaci mogu koristiti u analizi rezultata mjerenja efikasnosti radi procjene utjecaja spomenutih podataka na rezultate poduhvata dokovanja, kao i u dijelu rada u kojem će se predlagati poboljšanja u pripremi i izvođenju pothvata dokovanja.

Podatak trajanja dokovanja izostavljen je iz skupa koji će se obrađivati metodom AOMP iz dva razloga: a) dani dokovanja uključeni su u troškove; b) podatak dana dokovanja koristit će se za analizu nakon izvršenih izračuna metodom AOMP.

Podaci odabrani za izračune i mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja izvedeni su iz zabilježenih podataka o brodovima i obavljenim dokovanjima. Za analizu, izračune i mjerenje efikasnosti upotrijebit će se podaci koji su podijeljeni u dvije kategorije: a) podaci o brodu, posadi i mjestu dokovanja; b) podaci o troškovima dokovanja po kategorijama.

U kategoriji podataka o brodu, posadi i mjestu dokovanja nalaze se podaci:

- a) tip broda. Opisuje tip broda koji se uzima u analizu, a pruža informaciju o raznolikosti tipova brodova. Značenja kratica su sljedeća: PCTC (*Pure Car and Truck Carrier*) – brod za prijevoz automobila, ChT (*Chemical Tanker*) – tanker za prijevoz kemikalija, ConRO – brod za kombinirani prijevoz vozila i kontejnera, TSHD (*Trailing Suction Hopper Dredger*) – usisni jaružar, Wcarrier – brod za prijevoz vagona. Izvor su bilješke autora, ali valja napomenuti da su prema značajkama oblika trupa i opreme u podvodnom dijelu brodovi tipa ConRO i PCTC jednaki te će u razmatranjima biti svrstani u istu grupu.
- b) omjer između broja članova posade koji su ukrcani na brod za vrijeme dokovanja i optimalnog broja članova posade za vrijeme dokovanja radi dežurstva (nautičkog i strojarskog), logistike, radova i pregleda u doku te pripreme broda za pokusnu plovidbu nakon izvršenog dokovanja. Ovaj omjer daje bezdimenzijsku mjeru opsegu radova za vrijeme dokovanja broda u gradnji. Optimalni broj članova posade ovisan je o tipu broda, a temelji se na podacima i iskustvu. Izvor su bilješke autora.
- c) bruto tonaža. Ona daje podatak o obujmu broda. Karakteristično za ovo razmatranje je da za sličnu duljinu preko svega brodovi veće bruto tonaže imaju manji blok koeficijent, što nije općenito pravilo. Podatak o bruto tonaži promatranih brodova u gradnji dostupan je na www.vesselfinder.com/vessels.
- d) cGT, kompenzirane bruto tone. Izračun je izveden prema **OECD (2007)**, u svrhu analize, a predstavlja mjeru kompleksnosti izgradnje pojedinog tipa broda u odnosu na njegovu veličinu (obujam) opisanu bruto tonažom. Izvor je izračun autora.

- e) duljina potpornih elemenata za porinuće koji se imaju obraditi u doku daje informaciju o količini radova na čeliku u doku, a djelomično utječe i na količinu sagrađene skele. volumen izgrađene skele obrnuto je razmjeran blok koeficijentu trupa, odnosno ovisi o povećanju finoće forme broda. Izvor su bilješke autora.
- f) omjer duljine potpornih elementa i bruto tonaže. Omjer omogućava unošenje dvaju *inputa* u kombinaciji na način da je efikasniji DO onaj koji ima manji odnos duljine elemenata za rezanje i volumena broda, slijedeći logiku da je na strani *inputa* smanjenje poželjan smjer, s opaskom da je bruto tonaža u nazivniku te na taj način veća vrijednost bruto tonaže biva nagrađena *inputom*, a uklanja se potreba za uvođenjem nekontrolabilnog *inputa* bruto tonaže. Izvor su bilješke autora.
- g) površina vanjske oplata podvodno daje informaciju o površini koja se tretira u procesu bojenja/korozivne zaštite za vrijeme dokovanja. Izvor su bilješke autora.
- h) broj mjeseci koje je brod proveo u moru od porinuća do dokovanja daje informacije o propadanju vanjskih površina broda, koje će se tretirati u doku, uslijed utjecaja atmosfere i mora. Izvor su bilješke autora.
- i) umnožak površine podvodnog dijela vanjske oplata i broja mjeseci koje je brod proveo u moru prije dokovanja. To je podatak čije povećanje govori o većem opsegu posla na bojenju u doku, s obzirom da protokom vremena površina vanjske oplata propada, bilo zbog atmosferskih utjecaja, prašine ili masnoće u atmosferi, bilo zbog prljanja i obraštanja u moru. Izvor su bilješke autora. Uvođenjem ovog umnoška uklanja se potreba za nekontrolabilnim *inputom* površine podvodnog dijela vanjske oplata jer su nekontrolabilni *inputi* izvan kontrole donositelja odluke. Izvor podataka su bilješke autora.
- j) broj dana provedenih u doku predstavlja informaciju o trajanju radova i temelj je za analizu planiranih i ostvarenih dana provedenih u doku. Izvor su bilješke autora. Podatak se neće direktno koristiti u izračunima metodom AOMP jer je minimalni broj dana dokovanja ograničen tehnologijom bojenja, a namjera je ne ograničavati model AOMP koji će se koristiti. Izvor su bilješke autora.

- k) mjesto dokovanja utječe na trošak transfera broda, troškove posade (domaće ili inozemno mjesto), jedinične troškove stavki dokovanja, trajanje dokovanja, a može se iskoristiti za daljnje analize. Izvor su bilješke autora.
- l) mjesec dokovanja (tjedan dokovanja). To je podatak za daljnje analize povezanosti iznosa efikasnosti i termina dokovanja zbog moguće veze iznosa efikasnosti dokovanja i sezone u kojoj se dokovanje obavlja.

Kategorije troškova dokovanja:

- a) najam doka. Predstavlja trošak po utrošenom danu dokovanja, a uključuje i pripremu doka. Podatak je šifriran. Izvor su bilješke autora.
- b) usluge i energija iz doka. Uključuju potrebu za energijom, tehničkim plinovima, komprimiranim radnim zrakom i ostalom logistikom doka. Temelji se na broju priključaka, broju dana i pojedinačnim utrošcima. Podatak je šifriran. Izvor su bilješke autora.
- c) radovi u čeliku. Predstavljaju troškove obrade ostataka strukture od porinuća i moguća oštećenja trupa nastala od porinuća do dokovanja. Postavljanje skele uključeno je ovu stavku. Podatak je šifriran. Izvor su bilješke autora.
- d) bojenje u doku. Obuhvaća troškove pripreme površine i nanošenje sustava premaza. Temelji se na trošku po fazi rada i jedinici površine koja je tretirana. Podatak je šifriran. Izvor su bilješke autora.
- e) transfer broda. Uključuje utrošak radnog vremena posade i goriva do doka, a ovisi o tipu broda i udaljenosti do doka. Uzima se jedna i pol relacija do doka jer se povratak broda prema brodogradilištu smatra pokusnom plovidbom. U slučaju čekanja broda pred dokom, bilo zbog meteoroloških prilika, bilo zbog nespremnosti broda (rijetko) ili nespremnosti doka (često), uzima se u obzir trošak potrošenog goriva, a za trošak radnika u transferu broda računa se trošak: i) transfera i čekanja broda pred dokom; ii) prekoračenja broja dana dokovanja (kada broj dana dokovanja prijeđe planirani broj dana). Podatak je šifriran. Izvor su bilješke autora. Kategorija troška transfera i kašnjenja može se izraziti kao

$$C_{TT} = 1,5 \times (C_{TR} + C_{CR}) + (C_{AN} + C_{CrAn}) + n_{dd}(C_{CRD})$$

gdje je: C_{TT} – trošak transfera i kašnjenja

C_{TR} – trošak transfera broda

C_{CR} – trošak posade u transferu

C_{AN} – trošak broda na sidru (čekanje)

C_{CrAn} – trošak posade na sidru (čekanje)

n_{dd} – broj dana kašnjenja dokovanja (dani prekoračenja plana)

C_{CRD} – dnevni trošak ekipe u doku.

- f) posada u doku. Uključuje angažman radnika koji dovršavaju brod u doku, a predstavlja mjeru opsega radova i izvor dodatnih troškova za brodogradilište, premda u danom trenutku odvijanja pothvata gradnje broda može predstavljati jedino rješenje za nadoknadu posla na zakašnjelim radovima. Podatak je šifriran. Izvor su bilješke autora.

Potrebno je istaknuti da je troškovna dimenzija *outputa* odabrana zato što se na taj način može mjeriti isti opseg posla u različitim mjestima dokovanja i na različitim vrstama brodova, ujedno poštujući preporuke **Dyson i sur. (2001)** o korištenju parametara koji su zajednički svim DO i obuhvaćaju jednake aktivnosti svih DO. Potrebno je napomenuti da se troškovima mogu mjeriti tehnički, tehnološki, meteorološki i organizacijski parametri pothvata, s obzirom da pri svakom produljenju trajanja dokovanja ili povećanom opsegu radova troškovi rastu. Primjerice, obuhvaćena je udaljenost do mjesta dokovanja, moguća čekanja pred remontnim brodogradilištem radi vremenskih prilika ili nespremnosti doka za prihvrat broda na dokovanje. Nadalje, trošak obuhvaća povećani opseg radova radi mogućih oštećenja, obraslina ili zamašćenja podvodnog dijela vanjske oplata. Produljeno trajanje dokovanja moguće je radi povećanog opseg radova ili pak zbog meteoroloških uvjeta, s obzirom da kiša i ekstremna vlaga u zraku odgađaju radove na bojenju. Isto tako, jak vjetar onemogućava nanošenje boje, dok kiša umanjuje efikasnost radova na trupu, odnosno čeliku. Potrebno je naglasiti da prema prikazu kritičnog puta aktivnosti iz **Priloga 2-1**, kašnjenja u procesu bojenja direktno produljuju vrijeme boravka u doku. S druge strane, tehnološka rješenja smanjenja duljine elemenata pričvršćenih na vanjsku oplatu podvodno i projektiranje sustava bojenja s manje premaza i/ili skraćenim međupremaznim intervalima pomažu u skraćenju roka dokovanja. Uzimajući u obzir meteorološke uvjete, zrak s optimalnim sadržajem vlage i optimalnom temperaturom pogoduje procesu bojenja. Također je za radove u doku poželjno doba

godine kada je svijetli dio dana dulji od noćnog jer se na većim temperaturama ubrzava sazrijevanje i sušenje nanesenih premaza boje, što u konačnici pridonosi ukupnom skraćanju trajanja dokovanja.

4.3. Model mjerenja usporedne efikasnosti

Obzirom na određenje modela AOMP da se ovisno o usmjerenju modela teži smanjenju *inputa* ili povećanju *outputa*, za potrebe ovog istraživanja kategorija troškova koja se nalazi na strani *outputa* bit će skalirana, tj. iskazat će se u recipročnom iznosu (prema **Yaisawarng i Klein, 1994, Lovell i sur. 1995 i Liu i sur. 2009**) da bi se na taj način smanjenje troška (povećanje recipročne vrijednosti) pokazalo kao povećanje *outputa*. Posljedično, u izračunu projekcija neefikasnih DO na granicu efikasnosti, sve će se vrijednosti *outputa* preračunavati prema originalnim podacima.

Podaci koji se nalaze u jakoj korelaciji, kao što su bruto tonaža (*GT*) i duljina rezanja elemenata potporne strukture za porinuće broda (*L_{rez}*), bit će svedeni na međusobne omjere i na taj će se način:

- a) optimirati vrijednosti tako da se ublaže razlike između duljine elemenata na trupu, vanjske oplata i postignutih cijena, a održavajući trend
- b) u obradu podataka unijeti dvije varijable u obliku jednog *inputa*, s obzirom na ograničenja broja *inputa/outputa* prema metodi AOMP
- c) izbjeći uporaba nekontrolabilne varijable, a to je u ovom slučaju bruto tonaža, upotrebom koje se gubi na opsegu ispitivanja metodom AOMP
- d) izbjeći uporaba skalirane vrijednosti bruto tonaže, a ovom kvocijentu je duljina reza u brojniku (manje je bolje), dok je vrijednost bruto tonaže u nazivniku (više je bolje), a obje su vrijednosti u kategoriji *inputa*, gdje je težnja smanjenje vrijednosti.

Za potrebe stvaranja modela mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji, a radi svođenja ograničenja korištenog modela AOMP na najmanju moguću mjeru, koristit će se omjeri *inputa* i recipročne vrijednosti *outputa* (prema **Sarkisu, 2000 i Dysonu i sur., 2001**) te će se na taj način proširiti mogućnost za prijedloge poboljšanja nakon analize projekcija neefikasnih DO na granicu efikasnosti.

Slijedom navedenog, uveden je kvocijent:

$$\frac{L_{rez}}{GT}$$

gdje je L_{rez} duljina elemenata potporne strukture za porinuće na podvodnom dijelu vanjske oplata, koji se režu, navaruju i bruse u doku, a GT bruto tonaža broda.

U **Prilogu 4-1** prikazan je skup podataka za trideset i četiri DO koji će se obrađivati metodom AOMP u ovom istraživanju.

Podaci u **Prilogu 4-1** bit će dijelom šifrirani na način da se izmijene izvorne vrijednosti radi zaštite izvora podataka, a da se istovremeno održe međusobni odnosi vrijednosti između entiteta. Šifriranje ovog oblika ne utječe na metodu AOMP obzirom da je metoda neparametarska. Također, šifriranje je način da se originalni podaci zaštite od zlorabe, premda su dio bilješki autora.

U sljedećem koraku potrebno je odrediti koji će se pokazatelji svrstati u *inpute*, a koji u *outpute*. Općenito se smatra da su *inputi* pokazatelji kojima je poželjan smjer smanjenje iznosa, a *outputi* pokazatelji kojima je poželjan smjer povećanje iznosa.

Uzet će se u razmatranje usmjerenje modela AOMP na *outpute*, s obzirom da *outputi* predstavljaju mjerljive troškove, kategoriju koju je u svakom proizvodnom i poslovnom procesu potrebno smanjiti na optimalnu razinu.

Proces će se prvo obraditi modelima CCR i BCC te će se na osnovu dobivenih rezultata odrediti model AOMP-a koji najbolje odgovara skupu *inputa* i *outputa* i najbolje modelira ponašanje odnosa *inputa* i *outputa*.

Po odabiru modela AOMP-a analizirat će se rezultati obrade *inputa* i *outputa* te će se pristupiti određivanju granice efikasnosti i skupa proizvodnih mogućnosti za zadane entitete sa svojim *inputima* i *outputima*. Efikasni entiteti bit će zabilježeni kao slučajevi najbolje prakse i služit će kao primjeri u referentnim skupovima za analizu manje efikasnih entiteta. Manje efikasni entiteti bit će analizirani kroz referentne skupove koje čine efikasni entiteti, ne bi li se na taj način manje efikasni entiteti usporedili sa skupom najefikasnijih entiteta te tako dobio iznos *outputa* na kojem bi manje efikasni entiteti dostigli granicu efikasnosti i tako postali efikasni. U modelu usmjerenom na *outpute*, iste je potrebno povećati bez povećanja *inputa*. Podaci o dokovanjima brodova u gradnji podijeljeni su za potrebe ovog istraživanja na dvije kategorije. Prva kategorija podataka opisuje brod i njegove karakteristike i sadrži podatke o terminima dokovanja i rezultatima postignutim na samim dokovanjima, gdje su razni tehnički pokazatelji utrošaka energije i rada, bilježeni po radnom satu, kilovat satu energije, tretiranoj

površini ili pak vremenu trajanja, svedeni na novčane jedinice te su na taj način pokazatelji ujednačeni po jedinici mjere, u ovom slučaju mjere novca, što olakšava usporedbu jednakog opsega poslova na različitim brodovima i na različitim mjestima odvijanja radova.

Za obradu u CCR i BCC prema *outputima* usmjerenim modelima odabrani su *inputi* (I) i *outputi* (O), ukupno njih devet, i to tri *inputa* i šest *outputa*, što odgovara preporukama za broj *inputa* i *outputa* u odnosu na broj DO kojih je trideset i četiri. S obzirom da su tri *inputa* sastavljena od po dva podatka, model će izračunavati rezultate na temelju dvanaest pokazatelja.

Slijede varijable za koje se smatra da najbolje opisuju pothvat dokovanja broda u gradnji. Uzet će se u obzir da nema ograničenja u kontrolabilnosti bilo *inputa*, bilo *outputa*, i na taj način dati sloboda odabira optimalnih težina *inputima* i *outputima* za vrijeme izračuna metodom AOMP. Oznake **X** su oznake *inputa*, a **Y** oznake *outputa*:

- omjer broja članova ukrane i optimalne posade (X_1)
- omjer duljine elemenata za obradu i bruto tonaže (X_2)
- umnožak broja mjeseci od porinuća do dokovanja i površine podvodnog dijela vanjske oplata (X_3)
- trošak najma doka (Y_1),
- trošak usluga doka (Y_2)
- trošak radova na čeliku (Y_3),
- trošak radova na bojenju (Y_4),
- trošak transfera i kašnjenja broda (Y_5)
- trošak posade u doku (Y_6)

Tablica 4-1 prikazuje deskriptivnu statistiku skupa podataka kojeg čine podaci tri *inputa* i šest *outputa* za sva trideset i četiri DO prema **Prilogu 4-1**.

Maksimalne i minimalne vrijednosti, te srednje vrijednosti i standardne devijacije prikazuju mjeru rasapa statističkog skupa po svakom promatranom *inputu* ili *outputu*. Radi stjecanja dojma odnosa vrijednosti koji vladaju u promatranom skupu podataka, dodan je red u kojem se nalaze odnosi minimalnih i maksimalnih vrijednosti svakog pojedinog *inputa* i *outputa*. Prikazani podaci su šifrirani radi sprečavanja zlouporaba.

Tablica 4-1. Deskriptivna statistika *inputa* i *outputa* uključenih u model AOMP

	inputi			outputi					
	omjer ukrcane i minimalne posade (X1)	omjer duljina reza/GT (X2)	površina x mjesec u moru (X3)	najam doka (Y1)	usluge i energija (Y2)	radovi na čeliku (Y3)	radovi na bojenju (Y4)	transfer broda (Y5)	posada za dok (Y6)
Maksimum	2,169	7,020	50553,20	20,3852	16,3266	26,1305	28,1391	88,5108	91,0650
Minimum	1,096	1,168	9777,73	1,7829	1,3161	2,7052	5,4142	4,5177	19,6043
Srednja vrij.	1,516	4,730	20546,05	12,8177	7,3360	12,6968	16,1213	18,9986	54,5918
St. Devijacija	0,284	1,808	8050,88	5,2004	3,7012	7,2491	5,7613	17,5406	20,0411
Odnos minimalne i maksimalne vrijednosti	1:1,98	1:6,01	1:5,17	1:11,43	1:12,40	1:9,66	1:5,20	1:19,59	1:4,65

Izvor: izračun autora

4.3.1. Osnovni skup podataka s tri *inputa* i šest *outputa*, skalirani podaci

Svi podaci *inputa* uvode se u izvornom obliku. U navedena tri *inputa* kombiniraju se podaci ukupno šest pokazatelja, a na taj će se način izbjeći uvođenje nekontrolabilnih *inputa* koji u konačnici oduzimaju metodi mogućnost umanjivanja *inputa* pri izradi projekcija neefikasnog DO na granicu efikasnosti. Podaci *outputa*, koji su izraženi u obliku troška, uvode se u model u recipročnom obliku. Na taj način održavaju se svi međusobni odnosi pojedinog *outputa*, a *outputi* imaju težnju povećanja za izražavanje povoljnijeg rezultata.

4.3.2. Odabir modela AOMP s obzirom na usmjerenje

U procesu obrade podataka odabrat će se modeli usmjereni na *outpute*, s obzirom da *outputi* predstavljaju rezultate pothvata dokovanja broda. Usmjerenje na *outpute* značit će težnju za povećanjem *outputa* za zadane *inpute* što je i cilj pothvata. Nakon provedene obrade podataka, a u fazi analize rezultata recipročne izvorne i ciljane vrijednosti *inputa* i *outputa*, *outputi* će se ponovno preračunati i na taj način će se doći do pravilnih postotaka povećanja ili smanjenja vrijednosti skaliranih *outputa* za postizanje efikasnosti.

4.3.3. Tipovi odabranih *inputa* i *outputa*

Metoda AOMP pretpostavlja odabir *inputa* i *outputa* koji se koriste u obradi tako da je *inpute* i *outpute* po tipu potrebno svrstati u kontrolabilne ili nekontrolabilne. U ovom radu težit će se uporabi kontrolabilnih *inputa* i *outputa* jer će se na taj način u metodi AOMP otkloniti dodatna ograničenja.

Uporaba odnosa duljine reza u čeliku i bruto tonaže služi da se unese podatak o količini rada u čeliku, kao i volumen broda kao *input*. Obzirom da je bruto tonaža po svojstvima konstanta, uvedena je u nazivnik odnosa duljinom reza u čeliku, koji je definiran kao kontrolabilni *input*, jer duljina reza u čeliku može ovisiti o tipu i veličini broda, ali i o tehničkim i tehnološkim rješenjima za podupiranje broda na navozu. Ukupno se ovaj odnos može prikazati kao kontrolabilan te su na taj način izbjegnuta ograničenja.

Slična okolnost pojavljuje se u umnošku površine podvodnog dijela vanjske oplata i broja mjeseci u moru prije dokovanja. Površina podvodnog dijela vanjske oplata je gotovo fiksna vrijednost, jer je veći dio površine nedostupan za tretman kada je brod u brodogradilištu, posebice kada je riječ o brodovima koji nemaju značajne promjene gaza u službi, kao npr. brodovi za prijevoz vozila. Međutim, kada je u pitanju vrijeme boravka broda u moru, podaci mogu varirati ovisno o odlukama o vremenu boravka broda na navozu ili o skraćanju boravka broda u moru prije dokovanja na drugi način, ali ovisno i o tehnološkim rješenjima koja se reflektiraju na cijeli proces gradnje broda. Na ovaj način umnožak površine podvodnog dijela vanjske oplata i vremena boravka broda u moru do dokovanja predstavljaju kontrolabilan *input*.

Važno je napomenuti da se unošenjem odnosa dvaju pokazatelja u jedan *input* postiže obogaćivanje podataka koje se obrađuje, jer u ovom se slučaju četiri parametra kombiniraju u dva *inputa*. Na ovaj je način kontrolabilnost *inputa* neupitna, a mogućnost za prijedloge poboljšanja povećana.

Tako se prema preporukama **Golanya i Rolla (1989)**, **Dysona i sur. (2001)** i **Cook i sur. (2014)** u *inputima* nalaze omjeri *inputa*, a u *outputima* cjeloviti podaci troškova.

4.3.4. Ograničenja težina *inputa* i *outputa*

Nakon odabira skupa podataka i njihovog skaliranja te odabira modela i određivanja tipova *inputa* i *outputa*, slijedi odluka o ograničavanju težina pojedinih *inputa* i/ili *outputa*. Premda AOMP svim *inputima* i *outputima* pristupa ravnopravno, u praksi je moguće izvesti stanovitu vrstu nadzora nad rezultatima efikasnosti relativnim ili apsolutnim ograničavanjem težina pojedinih *inputa* ili *outputa*. Na taj se način u model unosi iskustvo i znanje o procesu kojeg se promatra. Međutim, bez obzira na dostupne alate, zbog težnje za što većom objektivnošću analize, kao i težine spoznaje svih uzročno-posljedičnih veza koje prate pothvat dokovanja broda, primjerice opseg radova u uobičajenom i izvanrednom dijelu, lokalne vremenske prilike, stanje radova na brodu, rizici kašnjenja primopredaje broda, ili spremnost doka za izvođenje radova, težine *inputa* i/ili *outputa* se za potrebe ovog rada neće ograničavati.

4.3.5. Izbor modela AOMP

Prema dostupnoj literaturi, najčešće se koriste modeli CCR i BCC, odnosno CRS (*Constant Return to Scale*) i VRS (*Variable Return to Scale*). Izbor modela ovisi o karakteristikama podataka i procesa kojeg se analizira. Obilježja prinosa presudan su čimbenik odabira modela koji će se koristiti u analizi. Kada povećanje *inputa* prati proporcionalno povećanje *outputa*, tada se radi o konstantnom prinosu i koristi se model CCR. Ako postoji odmak od proporcionalnog povećanja *outputa* za povećanje *inputa*, tada se može govoriti o varijabilnom prinosu. U takvim se okolnostima koristi BCC model.

Prema **Charnes i sur. (2006)**, temeljeno na radu **Ahn i sur. (1988)**, u slučaju da nije sigurno pokazuje li proces koji se promatra svojstva konstantnog ili varijabilnog prinosa, preporučuje se analiziranje promatranog procesa modelima CCR i BCC. Pritom se rezultati obaju modela uspoređuju. U slučaju približno jednakih rezultata modela CCR i BCC radi se o slučaju s konstantnim prinosom. U situaciji kada se rezultati modela CCR i BCC znatno razlikuju radi se o slučaju s varijabilnim prinosom. Nakon izračuna modelima CCR i BCC pristupit će se ocjeni efikasnosti po opsegu.

Modeli CCR i BCC nude izbor usmjerenja na *inpute* ili *outpute* te se odabire usmjerenje koje bolje odgovara cilju procesa kojeg se promatra. Za proces dokovanja

broda u gradnji odabire se usmjerenje na *outpute* koji predstavljaju troškove. Potrebno je spomenuti da je dio troškova vezan uz opseg radova, ali je dio troškova (u dijelu najma doka, troškova posade i troškova čekanja pred dokom) uvjetovan trajanjem dokovanja. Što je trajanje dokovanja kraće, manji su i troškovi ovisni o tijeku vremena. Jednako je potrebno je istaknuti, kako navode **Jacobs i sur. (2006)**, da izbor modela ne ovisi samo o teorijskim postavkama, nego i o specifičnostima procesa koji se promatra i svrsi same analize.

4.3.6. Izračuni usporedne efikasnosti odabranim modelima AOMP

Relativna ili usporedna efikasnost dokovanja pojedinog broda u gradnji dobivena primjenom odabranog modela AOMP znači stupanj uspješnosti obavljanja pothvata dokovanja prema stvarnim vrijednostima *inputa* i *outputa* u usporedbi s ostalim analiziranim brodovima iz skupa podataka. Svaki je promatrani brod donositelj odluke. Za svaki brod će se u prvom koraku ispitati efikasnost primjenom dvaju modela:

- CCR s usmjerenjem na *outpute*
- BCC s usmjerenjem na *outpute*.

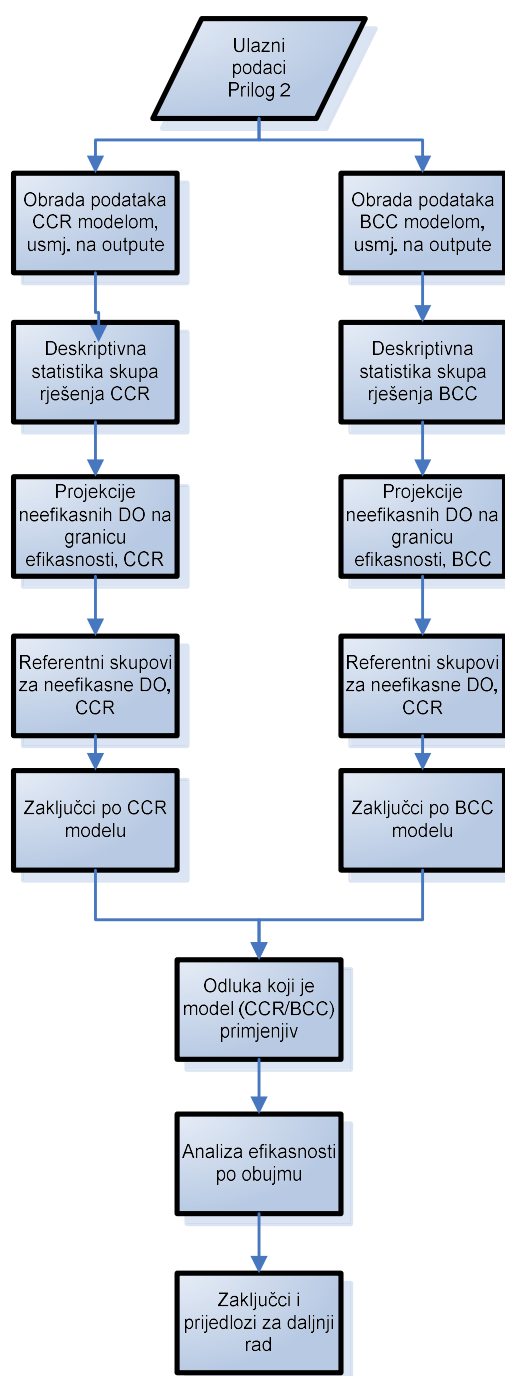
Slika 4-2 prikazuje odvijanje procesa ispitivanja efikasnosti, gdje je u paraleli prikazano ispitivanje efikasnosti po CCR i BCC modelu. Ispitivanja i njihovi rezultati međusobno su neovisni do trenutka odlučivanja o tome koji će se model koristiti obzirom na svojstva prinosa promatranog skupa podataka – radi li se o rezultatima modela s konstantnim prinosom ili pak rezultatima modela s varijabilnim prinosom. Za kasnije ispitivanje efikasnosti s obzirom na opseg koriste se rezultati obaju modela.

Prvi korak uključuje proračunavanje modela CCR koji pretpostavlja konstantne prinose i proračunavanje modela BCC koji pretpostavlja varijabilne prinose s obzirom na opseg djelovanja.

Usporedba rezultata dobivenih proračunavanjem po modelima CCR i BCC, koja se ima provesti u drugom koraku, omogućit će opažanje izvora neefikasnosti u širem opsegu. Naime, usporedbom rezultata dobivenih po modelima CCR i BCC omogućuje se ispitivanje efikasnosti s obzirom na opseg djelovanja te utjecaj opsega djelovanja na tehničku efikasnost. Ovisno o rezultatima usporedbe, pristupit će se izboru relevantnijeg modela.

Treći korak ispitivanja efikasnosti činit će detaljna analiza rezultata dobivenih odabranim modelom.

Obrada podataka biti će izvedena u softveru Saitech DEA Solver Pro 7.0 prema podacima u **Prilogu 4-1**.



Slika 4-2. Odvijanje procesa ispitivanja efikasnosti. Izvor: autor

4.4. Model s konstantnim prinosom (CCR) izračun

Nakon određivanja osnovnih uvjeta za AOMP model, pristupa se izračunu efikasnosti modelima s konstantnim prinosom. U izračunima će se koristiti osnovni skup podataka, s kasnijim dodavanjem izmijenjenog DO.

4.4.1. CCR, izračun s osnovnim skupom podataka

Relativna tehnička efikasnost dokovanja brodova u gradnji modelom CCR usmjerenom na outpute prikazana je u **Tablici 4-2**. Obrađeni su svi DO te su ocijenjene njihove usporedne efikasnosti. Svi unijeti DO imaju pridružen iznos efikasnosti te nema nijednog DO s neprimjernim podacima.

Tablica 4-2. Rezultati modela CCR, usmjerenje na *outpute*

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO01	0,7714	16	1,2963
DO02	0,3830	31	2,6109
DO03	0,4124	30	2,4249
DO04	1,0000	1	1,0000
DO05	0,6070	22	1,6474
DO06	0,6267	20	1,5957
DO07	0,3530	33	2,8329
DO08	1,0000	1	1,0000
DO09	0,7952	14	1,2575
DO10	0,3437	34	2,9095
DO11	0,5199	26	1,9235
DO12	0,7581	18	1,3192
DO13	0,5367	24	1,8631
DO14	0,9664	11	1,0348
DO15	0,5203	25	1,9221
DO16	0,7617	17	1,3129
DO17	1,0000	1	1,0000

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO18	0,8576	12	1,1661
DO19	0,6823	19	1,4657
DO20	0,9688	10	1,0322
DO21	0,7738	15	1,2924
DO22	0,5059	27	1,9765
DO23	0,5892	23	1,6971
DO24	0,4721	29	2,1181
DO25	0,3775	32	2,6490
DO26	0,8154	13	1,2264
DO27	1,0000	1	1,0000
DO28	1,0000	1	1,0000
DO29	0,4782	28	2,0914
DO30	0,6148	21	1,6265
DO31	1,0000	1	1,0000
DO32	1,0000	1	1,0000
DO33	1,0000	1	1,0000
DO34	1,0000	1	1,0000

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Tablica 4-3 prikazuje deskriptivnu statistiku rezultata po CCR modelu, usmjerenom na *outpute*. Izračun pokazuje da ima 9 relativno efikasnih DO, a 25 relativno neefikasnih DO.

Tablica 4-3. Deskriptivna statistika obrade po CCR, usmjerenje na *outpute*

broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
34	9	25	0,7203	0,2303	1,0000	0,3437	16 (47%)

Izvor: izračun autora

Rezultati obrade podataka pokazuju relativnu efikasnost cijele serije brodova koju predstavljaju DO31, DO32, DO33 i DO34 tipa *WCarrier*, i serije brodova koju predstavljaju DO27 i DO28 tipa TSHD. Od brodova tipa PCTC relativno su efikasni DO04 i DO08, dok od tipa ChTanker relativnu efikasnost pokazuje DO17. Važno je napomenuti da svaka vrsta promatranih brodova ima barem jednog efikasnog predstavnika, a posljedično i mogućnost uvrštenja u referentni skup za neefikasne DO. Može se zamijetiti da su DO31, DO32, DO33 i DO34 najmanji po svojim dimenzijama, slijedom čega jedini mogu biti dokovani u remontnom brodogradilištu B, u kojem su troškovi najma i usluga doka najmanji po jedinici troška, što znači da su u povoljnijem položaju u odnosu na ostale promatrane brodove. Serija brodova DO27 i DO28 dokovana je u remontnom brodogradilištu A. Ova dokovanja karakteriziraju kratka razdoblja i troškovi na prosječnoj razini skupa promatranih DO. Efikasni entiteti tipa PCTC, DO04 i DO08, dokovani su u remontnim brodogradilištima A i C, spadaju u brodove čije je dokovanje složenije zbog finije brodske forme, što iziskuje stanovito povećanje troškova, ali su rokovi u odnosu na tip broda relativno kratki, a pri transferu brodova u dok nije bilo kašnjenja koja uzrokuju povećanje troškova pothvata. Isto tako, potrebno je primijetiti da ni odnos ukrcane posade u odnosu na osnovnu posadu kod svih efikasnih DO, osim u slučaju DO32, nije premašio prosječnu vrijednost, a kod DO04 dostigao je minimum svih promatranih brodova.

Prema statistici rezultata dobivenih po modelu CCR usmjerenom na *outpute*, prikazanoj u **Tablici 4-3**, vidljivo je da srednja vrijednost usporedne efikasnosti

promatranog skupa iznosi 0,720322, a od ukupno 34 DO, 25 DO je neefikasno, od kojih njih 16 ima efikasnost manju od prosječne.

Uzimajući u obzir recipročnu vrijednost prosječnog iznosa efikasnosti skupa DO po modelu CCR, koja iznosi 1,3883, proizlazi da neefikasni DO prosječno moraju povećati efikasnost za 38,83% da bi dostigli granicu efikasnosti.

Projekcije DO na granicu efikasnosti modela usmjerenog na *outpute* prikazani su u **Prilogu 4-2**, čija se tablica sastoji od stupaca podataka *inputa* i *outputa* i to: i) vrijednosti koje je svaki pojedini DO pokazao u praksi; ii) vrijednosti projekcije koju je potrebno dostići da bi promatrani DO dostigao granicu efikasnosti; iii) apsolutne razlike između projekcije i stvarne vrijednosti; iv) relativna (postotna) razlika između projekcije i stvarne vrijednosti. Valja napomenuti da je navedeno smanjenje *outputa* naizgled u suprotnosti sa metodom AOMP koja teži da se *outputi* povećavaju. Međutim, u **Prilogu 4-2** nalaze se skalirane vrijednosti *outputa* iz **Priloga 4-1**, jer su za potrebe metode AOMP u obradu podataka svi *outputi* uneseni u skaliranom obliku, a nakon izvedene obrade ponovno preračunati u neskalinani oblik radi pravilnog očitavanja podataka. Isti će se princip održati za sve buduće obrade podataka koje će se obaviti prema podacima iz **Priloga 4-1**.

Razrada potrebnih promjena po *inputima* i *outputima* za postizanje efikasnosti nalazi se u **Tablici 4-4**, koja prikazuje projekcije na granicu efikasnosti za DO18. Entitet DO18 s usporednom efikasnošću od 0,85759 i recipročnom vrijednošću usporedne efikasnosti od 1,166054 mora prosječno povećati efikasnost za 16,61%, što znači smanjiti troškove za prosječno 14,24% za postizanje efikasnosti. Izraz koji opisuje izračun je:

$$\frac{PR - PO}{PO} = \text{recipročna vrijednost rel. efikasnosti (skalirano)} \times 100\%$$

za skalirane podatke, a

$$\frac{1000/PR - 1000/PO}{1000/PO} = \text{recip. vrijednost rel. efikasnosti (neskalirano)} \times 100\%$$

za neskalinane podatke, gdje je PO vrijednost skaliranog *outputa* (stupac „podaci“ iz **Tablice 4-4**), a PR je vrijednost projekcije skaliranog *outputa* na granicu efikasnosti (stupac „projekcija“ iz **Tablice 4-4**).

Po *inputu* omjera ukrcane i optimalne posade, traži se smanjenje od 26,90%. U kategoriji *outputa*, trošak najma doka je potrebno smanjiti za 67,90%, trošak usluga doka za 58,70%, trošak rada na čeliku za 14,24%, trošak bojenja za 14,24%, troškove transfera broda i kašnjenja za 52,03%, te troškove osoblja za 52,33%. Ova smanjenja potrebno je

sagledati u kontekstu okolnosti izvođenja pothvata, s obzirom da je za DO18 pri transferu broda utrošen jedan i pol dan više od planiranog radi nepovoljnih vremenskih prilika i da je dokovanje trajalo jedan dan više nego što se za takav tip broda može minimalno postići radi kiše za vrijeme boravka broda u doku. Dokovanje broda DO18 obavljeno je u mjesecu prosincu kada su nepovoljne vremenske prilike i niske temperature očekivane.

Tablica 4-4. DO18, projekcije na granicu efikasnosti, CCR model

red.br.	DO	1/efikasnost			
	I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
18	DO18	1,1661			
	omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,9770	1,4453	-0,5318	-26,90%
	omjer duljina reza/GT (X2)	3,2559	3,2559	0,0000	0,00%
	pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	24423,33	24423,33	0,00	0,00%
	najam doka (Y1)	11,4537	3,6765	-7,7771	-67,90%
	usluge doka (Y2)	5,8701	2,4245	-3,4456	-58,70%
	rad na čeliku(Y3)	5,9389	5,0931	-0,8457	-14,24%
	radovi na bojanju (Y4)	9,8695	8,4640	-1,4055	-14,24%
	transfer i kašnjenje (Y5)	16,7154	8,0181	-8,6973	-52,03%
	posada za dokovanje (Y6)	60,9386	29,0482	-31,8904	-52,33%

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Nadalje, povećani broj sudionika dokovanja posljedica je odluke menadžmenta radi povećanog opsega radova u doku uzrokovanih kašnjenjima radova u prethodnim fazama. U apsolutnim iznosima troškova, trošak posade u iznosu 60,93 novčanih jedinica te trošak transfera i kašnjenja u iznosu 16,71 novčanih jedinica imaju najveći utjecaj. U ovom slučaju neefikasnost DO18 posljedica je, dakle, odluke za povećanim angažmanom radne snage te vremenskih prilika u okolnostima transfera broda i izvođenja radova u doku.

Usporedba vrijednosti *inputa* i *outputa* efikasnih DO te prikaz deskriptivnih statistika efikasnih DO i cijelog skupa s 34 DO prikazani su u **Tablici 4-5**.

Referentni skup za neefikasni DO sadrži efikasne DO kojih je *output* usmjerenost (u usmjerenju na *outpute*) najsličnija onoj koju ima neefikasni DO. Pitanje koje se nameće jest kojeg će se člana referentnog skupa proglasiti uzorom za neefikasan DO i na taj način omogućiti utvrđivanje dostižnih ciljeva kojima neefikasni DO treba težiti. Projekcija neefikasnog DO na granicu efikasnosti izražava se linearnom kombinacijom efikasnih DO iz referentnog skupa neefikasnog DO, gdje koeficijenti uz efikasne DO predstavljaju

njihove udjele u formiranju projekcije neefikasnog DO na granicu efikasnosti. Stoga, za uzor valja odabrati efikasni DO s najvećim pripadajućim koeficijentom.

Tablica 4-5. Usporedba efikasnih DO i deskriptivne statistike

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DO	tip broda	mjesto dokiranja	broj dana u doku	umnožak površine i mjeseci u moru	omjer posade i barne posade	omjer duljina reza/GT L/GT*1000	trošak posade (šifrirano)	najam doka (šifrirano)	usluge i energija (šifrirano)	rad na čeliku (šifrirano)	radovi na bojenju (šifrirano)	Trošak transfera i kašnjenja (šifrirano)	Trošak ukupno (šifrirano)
DO04	PCTC1	A	9	16642,67	1,096	6,173	32,2408	20,3852	5,7813	11,6520	13,7023	4,5177	88,2793
DO08	PCTC2	C	9	9777,73	1,277	6,546	44,6968	14,4868	6,6864	23,7291	17,2929	6,7622	113,6542
DO17	ChT2	A	8	24998,00	1,506	3,256	41,2556	10,7154	5,1754	6,5829	18,7058	6,1523	88,5875
DO27	TSHD	A	7	29399,73	1,534	1,168	30,8630	8,6581	3,2372	7,3009	9,4499	9,3639	68,8729
DO28	TSHD	A	6	50553,20	1,137	1,168	19,6043	5,9328	3,4951	6,6323	10,8669	6,3328	52,8641
DO31	Wcarrier	B	6	16179,60	1,173	7,020	20,7853	1,7829	1,5183	4,1882	5,4142	5,9194	39,6081
DO32	Wcarrier	B	6	19788,00	1,613	7,020	28,5797	1,8083	1,6928	2,7052	8,2802	6,1556	49,2217
DO33	Wcarrier	B	7	10941,60	1,427	7,020	29,4851	1,9994	1,6883	3,9621	8,1363	9,3836	54,6548
DO34	Wcarrier	B	7	11290,80	1,253	7,020	25,9028	1,9994	1,3161	4,5100	8,0987	7,4940	49,3211
Deskriptivna statistika efikasnih DO	maksimum			50553,20	1,613	7,020	44,6968	20,3852	6,6864	23,7291	18,7058	9,3836	113,6542
	minimum			9777,73	1,096	1,168	19,6043	1,7829	1,3161	2,7052	5,4142	4,5177	39,6081
	prosjeak			21063,48	1,335	5,154	30,3793	7,5298	3,3990	7,9181	11,1052	6,8979	67,2293
	st. Dev.			12869,37	0,189	2,557	8,3607	6,6574	2,0429	6,4817	4,5252	1,6079	24,5704
	maks/min			5,17	1,472	6,013	2,2800	11,4339	5,0803	8,7717	3,4550	2,0771	2,8695
Deskriptivna statistika skupa 34 DO	maksimum			50553,20	2,169	7,020	91,0650	20,3852	16,3266	26,1305	28,1391	88,5108	224,5165
	minimum			9777,73	1,096	1,168	19,6043	1,7829	1,3161	2,7052	5,4142	4,5177	39,6081
	prosjeak			20546,05	1,516	4,746	54,5918	12,8177	7,3360	12,6968	16,1213	18,9986	122,5622
	st. Dev.			8050,88	0,284	1,791	20,0411	5,2004	3,7012	7,2491	5,7613	17,5406	46,5767
	maks/min			5,17	1,978	6,013	4,6452	11,4339	12,4049	9,6594	5,1973	19,5921	5,6684

Izvor: izračun autora

Referentni skupovi za neefikasne DO prikazani su u **Prilogu 4-3**, jer se u referentnom skupu efikasnog DO nalazi on sam. Članovi referentnog skupa za pojedini neefikasni DO predstavljaju smjernice (uzore) za poboljšanje neefikasnog DO, i to preko određenog koeficijenta λ . Prema podacima iz **Priloga 4-3**, za DO18 projicirana se vrijednost *outputa* najma doka ($Y_{1,DO18}$) može preko referentnog skupa, kojega čine DO27, DO31 i DO32, izraziti prema:

$$Y_{1,DO18}^* = \lambda_{DO27} Y_{1,DO27} + \lambda_{DO31} Y_{1,DO31} + \lambda_{DO32} Y_{1,DO32},$$

što uvrštenjem vrijednosti $Y_{1,DO}$ iz **Priloga 4**, za DO27, DO31 i DO32 i vrijednosti $Y_{1,DO}$ daje

$$271,9943 = 0,605943 \times 115,4992 + 0,159286 \times 560,8929 + 0,203739 \times 552,993.$$

Dobivena vrijednost 271,9943 je skalirana vrijednost projekcije *outputa* $Y_{1,DO18}$ na granicu efikasnosti koja nakon preračuna u neskalirani oblik iznosi 3,676548 kako je i

navedeno u **Prilogu 4-2**. Za model CCR, s usmjerenjem na *outpute*, primjeri najbolje tehničke prakse su entiteti D004 i D008 tipa PCTC, D017 tipa ChTanker, D027 i D028 tipa TSHD, te D031, D032; D033 i D034, tipa *Wcarrier*. Primjeri najbolje tehničke prakse ujedno su članovi referentnih skupova za neefikasne DO, koji su prikazani u **Prilogu 4-3**.

4.4.2. CCR, izračun sa dodatnim donositeljem odluka

Za potrebe ispitivanja rezultata modela CCR nakon prethodne analize rezultata modela na entitetu D018, čija je efikasnost 0,8576, napravljen je poseban entitet, D018X, kojemu su u *outputima* uklonjene vrijednosti troškova koji su uzrokovani kašnjenjima zbog vremenskih prilika u transferu i za vrijeme dokovanja. Na taj su način uklonjeni troškovi od jednog i pol dana čekanja na sidru pred dokom te jedan dan dokovanja više zbog nepovoljnih vremenskih prilika. **Tablica 4-6** prikazuje vrijednosti razlika u podacima između entiteta D018 i D018X.

Tablica 4-6. Razlike između podataka D018 i D018X

1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
DO	tip broda	broj dana u doku	omjer posade i bazne posade (X1)	omjer duljina reza/GT (X2)	trošak posade (šifrirano) (Y6)	najam doka (šifrirano) (Y1)	usluge i energija (šifrirano) (Y2)	rad na čeliku (šifrirano) (Y3)	radovi na bojenju (šifrirano) (Y4)	trošak transfera i kašnjenja (šifrirano) (Y5)
D018	ChT2	9	1,977	3,256	60,9386	11,4537	5,8701	5,9389	9,8695	16,7154
D018X	ChT2	8	1,977	3,256	54,1676	10,4295	5,5342	5,9389	9,8695	6,2311
razlika apsolutno		1	0,000	0,000	6,771	1,024	0,3359	0,0000	0,0000	10,4842
razlika relativno		11,11%	0,00%	0,00%	11,11%	8,94%	5,72%	0,00%	0,00%	62,72%

Izvor: izračun autora

Iz podataka je vidljivo smanjenje troška posade radi skraćenja dokovanja, smanjenje troška dokovanja i troška usluga i energije te konačno troškova transfera i kašnjenja broda. Podaci D018X uneseni su u skup podataka iz **Priloga 4-1** umjesto podataka za D018 te je proveden izračun po modelu CCR. Rezultati iznosa efikasnosti i rang DO prikazani su u **Tablici 4-7**, gdje je vidljivo da je D018X dostigao granicu

efikasnosti i iznos efikasnosti 1. Na ovaj način pokazana je reakcija modela za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji pri zamjeni podataka postojećeg DO.

Za ovaj slučaj izračuna DO18X nije potrebno analizirati projekciju na granicu efikasnosti za DO18X jer se entitet nalazi na samoj granici efikasnosti i sve su udaljenosti do granice efikasnosti jednake nuli.

Tablica 4-7. Rezultati modela CCR, s DO18X

1	2	3	4
DO	iznos relativne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO01	0,7714	16	1,2963
DO02	0,3830	31	2,6109
DO03	0,4124	30	2,4249
DO04	1,0000	1	1,0000
DO05	0,6070	22	1,6474
DO06	0,6267	20	1,5957
DO07	0,3530	33	2,8329
DO08	1,0000	1	1,0000
DO09	0,7952	14	1,2575
DO10	0,3425	34	2,9193
DO11	0,5199	26	1,9235
DO12	0,7581	17	1,3192
DO13	0,5367	24	1,8631
DO14	0,9663	12	1,0349
DO15	0,5203	25	1,9221
DO16	0,7563	18	1,3222
DO17	1,0000	1	1,0000

1	2	3	4
DO	iznos relativne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO18X	1,0000	1	1,0000
DO19	0,6823	19	1,4657
DO20	0,9688	11	1,0322
DO21	0,7738	15	1,2924
DO22	0,5059	27	1,9765
DO23	0,5892	23	1,6971
DO24	0,4721	29	2,1181
DO25	0,3775	32	2,6490
DO26	0,8154	13	1,2264
DO27	1,0000	1	1,0000
DO28	1,0000	1	1,0000
DO29	0,4782	28	2,0914
DO30	0,6145	21	1,6275
DO31	1,0000	1	1,0000
DO32	1,0000	1	1,0000
DO33	1,0000	1	1,0000
DO34	1,0000	1	1,0000

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Tablica 4-8 prikazuje usporedbu statistike rezultata izračuna modela CCR za DO18, koji je prikazan u **Tablici 4-2**, i novog izračuna s podacima DO18X. Podaci pokazuju povećanje srednje vrijednosti efikasnosti sa 0,720322 na 0,724306 te povećanje broja efikasnih DO s 9 na 10.

Tablica 4-8. Deskriptivna statistika, CCR model, s DO18X

DO	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
DO18	34	9	25	0,7203	0,2303	1,0000	0,3437	16 (47%)
DO18X	34	10	24	0,7243	0,2340	1,0000	0,3425	16 (47%)

Izvor: izračun autora

4.5. Model s varijabilnim prinosom (BCC) izračun

Nakon izračuna u modelima s konstantnim prinosom, pristupa se izračunima u modelima s varijabilnim prinosom, prvo s osnovnim skupom podataka, a onda s dodatnim DO.

4.5.1. BCC model, izračun s osnovnim skupom podataka

Rezultati obrade podataka modelom sa svojstvom varijabilnog prinosa BCC, usmjerenim na *outpute*, prikazani su u **Tablici 4-9**, koja prikazuje postignute iznose usporedne efikasnosti i rang svakog DO, pri čemu je potrebno uzeti u obzir da svi DO kojima je pridružena usporedna efikasnost u iznosu 1 dijele prvo mjesto po rang.

Tablica 4-9. Rezultati modela BCC, usmjerenje na *outpute*

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO01	0,7913	19	1,2638
DO02	0,4028	32	2,4827
DO03	0,4124	31	2,4249
DO04	1,0000	1	1,0000
DO05	0,6972	24	1,4343
DO06	1,0000	1	1,0000
DO07	0,3642	33	2,7459
DO08	1,0000	1	1,0000
DO09	0,7958	18	1,2566
DO10	0,3444	34	2,9038
DO11	0,7134	22	1,4018
DO12	0,8133	16	1,2296
DO13	0,7222	21	1,3846
DO14	0,9681	13	1,0329
DO15	0,6758	26	1,4798
DO16	0,8042	17	1,2435
DO17	1,0000	1	1,0000

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO18	0,8701	14	1,1493
DO19	0,6839	25	1,4621
DO20	1,0000	1	1,0000
DO21	1,0000	1	1,0000
DO22	0,7402	20	1,3509
DO23	0,6061	28	1,6499
DO24	0,7037	23	1,4210
DO25	0,4382	30	2,2821
DO26	0,8414	15	1,1885
DO27	1,0000	1	1,0000
DO28	1,0000	1	1,0000
DO29	0,4834	29	2,0687
DO30	0,6551	27	1,5264
DO31	1,0000	1	1,0000
DO32	1,0000	1	1,0000
DO33	1,0000	1	1,0000
DO34	1,0000	1	1,0000

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

U skupu od 34 člana, efikasnih po modelu nađeno je 12 DO, prosječan je iznos usporedne efikasnosti 0,780211, dok je minimalni iznos usporedne efikasnosti 0,344374. Neefikasnih je 22 DO, a ukupno je zabilježeno 15 DO koji imaju usporednu efikasnost manju od prosječne.

Tablica 4-10 prikazuje deskriptivnu statistiku rezultata dobivenih obradom podataka po modelu BCC usmjerenom na *outpute*.

Tablica 4-10. Deskriptivna statistika, BCC model, usmjerenje na *outpute*

broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
34	12	22	0,7802	0,2144	1,0000	0,3444	15 (44%)

Izvor: izračun autora

Vidljivi su prosječno veći iznosi usporedne efikasnosti i veći broj relativno efikasnih DO u odnosu na model CCR s obzirom da je već u opisu metode AOMP zaključeno da su svi CCR efikasni DO ujedno i BCC efikasni. Uz CCR efikasne DO, u BCC modelu granicu efikasnosti dostigli su DO6 koji pripada tipu PCTC te DO20 i DO21 koji pripadaju tipu ChTanker. Obrada BCC modelom dala je recipročnu vrijednost prosječne efikasnosti koja iznosi 1,2817, što govori da neefikasni DO moraju prosječno povećati efikasnost za 28,17% za dostizanje granice efikasnosti.

Primjerice, DO18, čija je usporedna efikasnost u BCC modelu 0,870099, a recipročna vrijednost usporedne efikasnosti iznosi 1,149293, mora prosječno povećati efikasnost za 14,92%, što nakon preračuna podataka znači da je troškove potrebno smanjiti za prosječno 12,99% kako bi se dostigla granica efikasnosti.

Ciljne vrijednosti *inputa* i *outputa* za DO18, u apsolutnim i relativnim vrijednostima, prikazane su u **Tablici 4-11**.

Prema projekcijama pojedinih *inputa* i *outputa* rezultati su: odnos ukrcane i optimalne posade potrebno je smanjiti za 25,65%, trošak najma doka treba smanjiti za 65,22%, trošak usluga doka za 56,24%, trošak radova na čeliku za 12,99%, trošak bojenja potrebno je smanjiti za 12,99%, a troškove transfera i kašnjenja i troškove posade za 50,95%, odnosno 52,59%. Kao i u objašnjenju za model CCR, okolnosti u kojima se odvijao

pothvat dokovanja DO18 karakterizirale su vremenske neprilike pri transferu broda, kašnjenje doka za jedan dan i odluka menadžmenta za ukrcajem većeg broja članova posade radi kašnjenja radova iz ranijih faza gradnje broda koji se imaju obaviti na brodu za vrijeme dokovanja.

Tablica 4-11. DO18, projekcije na granicu efikasnosti, BCC model

red.br.	DO	1/efikasnost			
	I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
18	DO18	1,1661			
	omjer nužne i ukrane posade (X1)	1,9770	1,4453	-0,5318	-26,90%
	omjer duljina reza/GT (X2)	3,2559	3,2559	0,0000	0,00%
	pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	24423,33	24423,33	0,00	0,00%
	najam doka (Y1)	11,4537	3,6765	-7,7771	-67,90%
	usluge doka (Y2)	5,8701	2,4245	-3,4456	-58,70%
	rad na čeliku(Y3)	5,9389	5,0931	-0,8457	-14,24%
	radovi na bojanju (Y4)	9,8695	8,4640	-1,4055	-14,24%
	transfer i kašnjenje (Y5)	16,7154	8,0181	-8,6973	-52,03%
	posada za dokovanje (Y6)	60,9386	29,0482	-31,8904	-52,33%

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Pomak granice efikasnosti uzrokovalo je povećanje broja efikasnih DO u BCC modelu i posljedično povećanje prosječne usporedne efikasnosti neefikasnih DO, što je vidljivo na slučaju DO18. U referentnom skupu za DO18 nalaze se DO20, DO27, DO31 i DO32. Kao i u CCR modelu, izračun projekcije *outputa* $Y_{1,DO18}^*$ na granicu efikasnosti glasi:

$$Y_{1,DO18}^* = \lambda_{DO20}Y_{1,DO20} + \lambda_{DO27}Y_{1,DO27} + \lambda_{DO31}Y_{1,DO31} + \lambda_{DO32}Y_{1,DO32},$$

uz uvjet koji vrijedi za BCC model:

$$\lambda_{DO20} + \lambda_{DO27} + \lambda_{DO31} + \lambda_{DO32} = 1.$$

Stvarna vrijednost *outputa* $Y_{1,DO18}$ iznosi 11,453677, dok vrijednost projekcije na granicu efikasnosti ($Y_{1,DO18}^*$) iznosi 3,983474, kako je i navedeno u **Prilogu 4-4**, iz čega proizlazi potrebno smanjenje od 65,22%.

Za model BCC, s usmjerenjem na *outpute*, primjeri najbolje tehničke prakse su entiteti DO04, DO06 i DO08 tipa PCTC, DO17, DO20 i DO21 tipa *ChTanker*, DO27 i DO28 tipa *TSHD*, te DO31, DO32, DO33 i DO34 tipa *Wcarrier*. Primjeri najbolje tehničke prakse također su članovi referentnih skupova za neefikasne DO.

4.5.2. BCC model, izračun s dodatnim donositeljem odluke

Za potrebe provjere BCC modela koristit će se entitet DO18X čiji su podaci uspoređeni s podacima DO18, a sve je zajedno prikazano u **Tablici 4-6**. Rezultati izračuna u BCC modelu prikazani su u **Tablici 4-12**, gdje je vidljivo da je DO18X dostigao granicu efikasnosti i dodijeljen mu je iznos efikasnosti 1.

Tablica 4-12. Rezultati modela BCC, s DO18X

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO01	0,7910	18	1,2643
DO02	0,4028	32	2,4827
DO03	0,4124	31	2,4249
DO04	1,0000	1	1,0000
DO05	0,6972	24	1,4343
DO06	1,0000	1	1,0000
DO07	0,3642	33	2,7459
DO08	1,0000	1	1,0000
DO09	0,7958	17	1,2566
DO10	0,3434	34	2,9117
DO11	0,7134	22	1,4018
DO12	0,8124	16	1,2310
DO13	0,7222	21	1,3846
DO14	0,9665	14	1,0347
DO15	0,6758	26	1,4798
DO16	0,7882	19	1,2687
DO17	1,0000	1	1,0000

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost
DO18X	1,0000	1	1,0000
DO19	0,6839	25	1,4621
DO20	1,0000	1	1,0000
DO21	1,0000	1	1,0000
DO22	0,7402	20	1,3509
DO23	0,6061	28	1,6499
DO24	0,7037	23	1,4210
DO25	0,4382	30	2,2821
DO26	0,8414	15	1,1885
DO27	1,0000	1	1,0000
DO28	1,0000	1	1,0000
DO29	0,4834	29	2,0687
DO30	0,6551	27	1,5264
DO31	1,0000	1	1,0000
DO32	1,0000	1	1,0000
DO33	1,0000	1	1,0000
DO34	1,0000	1	1,0000

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Tablica 4-13 prikazuje statistiku rezultata izračuna BCC modelom s uvrštenim DO18X gdje je vidljiv porast broja efikasnih DO sa 12 na 13 DO. Srednja vrijednost usporedne efikasnosti porasla je s 0,78211 na 0,783449, a broj DO s efikasnošću manjom od prosječne ostao je jednak, odnosno 15 DO.

Analizu projekcije D018X na granicu efikasnosti nije potrebno provoditi jer se D018X nalazi na granici efikasnosti i svi parametri udaljenosti D018X od granice efikasnosti imaju vrijednost nula.

Tablica 4-13. Deskriptivna statistika, BCC model s D018X

DO	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
D018	34	12	22	0,7802	0,2144	1,0000	0,3444	15 (44%)
D018X	34	13	21	0,7834	0,2171	1,0000	0,3434	15 (44%)

Izvor: izračun autora

4.6. Usporedba rezultata dobivenih modelima CCR i BCC

Nakon provedene obrade podataka po modelima CCR i BCC usmjerenim na *outpute*, za sva 34 promatrana DO uočeni su efikasni DO po svakom modelu. **Tablica 4-14** prikazuje učestalost pojave efikasnih DO u referentnim skupovima po modelima CCR i BCC s usmjerenjem na *outpute*, dok su vrijednosti koeficijenata referentnih skupova za sve neefikasne DO prikazane u **Prilogu 4-3** i **Prilogu 4-5** za CCR, odnosno BCC model.

Tablica 4-14. Učestalost efikasnih DO u referentnim skupovima, CCR i BCC

1	2	3	4
Red. Br.	DO	Broj javljanja u ref. skupu CCR	Broj javljanja u ref. skupu BCC
1	DO04	8	7
2	DO06	0	1
3	DO08	3	4
4	DO17	3	2
5	DO20	0	13
6	DO21	0	2
7	DO27	20	16
8	DO28	6	9
9	DO31	18	13
10	DO32	10	5
11	DO33	0	4
12	DO34	4	7

Izvor: izračun autora

Prema učestalosti pojavljivanja u referentnim skupovima po CCR modelu prednjače DO27, DO31, DO32 i DO04 sa 20, 18, 10 i 8 pojavljivanja u referentnom skupu neefikasnih DO. U referentnim skupovima po BCC modelu najviše pojavljivanja imaju DO27, DO31, DO20 i DO28 sa 16, 13, 13 i 9 pojavljivanja u referentnim skupovima neefikasnih DO. Kako u modelima CCR i BCC nema razlike između efikasnih DO (svi imaju efikasnost u iznosu 1), za razlikovanje efikasnih DO koristit će se saznanja prema **Charnesu i sur. (1994)** i **Cooperu i sur. (2011)** da su DO koji imaju više pojavljivanja u referentnim skupovima više dominantni neefikasnim DO u odnosu na one DO koji imaju manji broj pojavljivanja. Drugim riječima, DO koji imaju više pojavljivanja u referentnim

skupovima pokazuju veću mjeru robustnosti i moguće je da su efikasni po većem broju pokazatelja te je moguće da su „primjer najbolje tehničke prakse“. Efikasni DO koji se rijetko nalaze u referentnim skupovima mogu imati neuobičajene odnose *inputa* i *outputa* i nisu dobri primjeri, odnosno članovi referentnih skupova za neefikasne DO. Može se zaključiti da je učestalost pojavljivanja u referentnim skupovima indikacija izražavanja svojstava najbolje tehničke prakse efikasnih DO (**Kumar i Gulati, 2008**).

Analiza efikasnosti s obzirom na opseg provodi se prema podacima iz **Tablice 4-15** koja prikazuje objedinjene rezultate iznosa efikasnosti za sve DO po CCR i BCC modelima usmjerenima na *outpute*, kao i efikasnost s obzirom na opseg.

Ranije je uspostavljen odnos:

$$[\text{Tehnička efikasnost(TE)}] = [\text{Čista tehnička efikasnost (ČTE)}] \times [\text{Efikasnost po opsegu (EO)}]$$

gdje efikasnost po CCR modelu predstavlja tehničku efikasnost, efikasnost po BCC modelu čistu tehničku efikasnost, a kvocijent efikasnosti po CCR i BCC modelima predstavlja mjeru efikasnosti po opsegu.

Srednja vrijednost efikasnosti po opsegu iznosi 0,921340, a osam DO pokazuje vrijednosti efikasnosti po opsegu manju od prosječne, s iskazanom minimalnom efikasnošću po opsegu od 0,626696 kod D006. DO sa efikasnošću po opsegu iznosa 1 i CCR efikasnošću iznosa 1, kojih je ukupno devet (D004, D008, D017, D027, D028, D031, D032, D033, D034) nalaze se u optimalnom području djelovanja i upravljanja te predstavljaju primjere najbolje tehničke prakse promatranog skupa DO. Iz navedenog proizlazi da je CCR efikasnost, koja predstavlja tehničku efikasnost, preduvjet za BCC i efikasnost po opsegu.

Nadalje, na primjeru D006 čija je CCR efikasnost (tehnička efikasnost) 0,626696, a koja je BCC efikasna (čista tehnička efikasnost) s iznosom efikasnosti 1, efikasnost po opsegu iznosi 0,626696, što se može tumačiti lošim uvjetima za izvršenje pothvata, a oni se očituju u povećanom trošku posade, obzirom na dokovanje u inozemstvu i kašnjenje radi vremenskih prilika u trajanju od četiri dana. Slična je situacija s D020, koji je s iznosom CCR efikasnosti od 0,968765, BCC efikasnosti 1 te efikasnosti po opsegu od 0,968765 vrlo blizu granice najbolje tehničke prakse. Premda je vidljiva tehnička neefikasnost (CCR neefikasnost), nedostaje tehničke efikasnosti koja je uzrokovana uvjetima. U slučaju D020 to bi se moglo protumačiti jednim danom čekanja pred dskom koji je uzrokovao troškove u transferu broda.

Tablica 4-15. Podaci efikasnosti po opsegu

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti CCR	iznos usporedne efikasnosti BCC	efikasnost po opsegu
DO01	0,7714	0,7913	0,9749
DO02	0,3830	0,4028	0,9509
DO03	0,4124	0,4124	1,0000
DO04	1,0000	1,0000	1,0000
DO05	0,6070	0,6972	0,8706
DO06	0,6267	1,0000	0,6267
DO07	0,3530	0,3642	0,9693
DO08	1,0000	1,0000	1,0000
DO09	0,7952	0,7958	0,9993
DO10	0,3437	0,3444	0,9980
DO11	0,5199	0,7134	0,7288
DO12	0,7581	0,8133	0,9321
DO13	0,5367	0,7222	0,7431
DO14	0,9664	0,9681	0,9982
DO15	0,5203	0,6758	0,7699
DO16	0,7617	0,8042	0,9471
DO17	1,0000	1,0000	1,0000

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti CCR	iznos usporedne efikasnosti BCC	efikasnost po opsegu
DO18	0,8576	0,8701	0,9856
DO19	0,6823	0,6839	0,9976
DO20	0,9688	1,0000	0,9688
DO21	0,7738	1,0000	0,7738
DO22	0,5059	0,7402	0,6835
DO23	0,5892	0,6061	0,9722
DO24	0,4721	0,7037	0,6709
DO25	0,3775	0,4382	0,8615
DO26	0,8154	0,8414	0,9691
DO27	1,0000	1,0000	1,0000
DO28	1,0000	1,0000	1,0000
DO29	0,4782	0,4834	0,9892
DO30	0,6148	0,6551	0,9385
DO31	1,0000	1,0000	1,0000
DO32	1,0000	1,0000	1,0000
DO33	1,0000	1,0000	1,0000
DO34	1,0000	1,0000	1,0000

Izvor: izračun autora

Pojava u kojoj je efikasnost s obzirom na opseg veća od BCC efikasnosti javlja se na ukupno 20 DO prikazanih u **Tablici 4-15**. Ta se pojava može tumačiti smanjenom sposobnošću managementa u ostvarivanju *outputa*. **Tablica 4-16** prikazuje deskriptivnu statistiku podataka **Tablice 4-15**.

Ponašanje DO21 pokazuje sličnosti sa DO06 i DO20, gdje je efikasnost s obzirom na opseg manja od BCC efikasnosti. To govori o lokalno efikasnom djelovanju i oslikava menadžersku sposobnost da *inpute* kvalitetno pretvori u *outpute*. Kod DO21 CCR efikasnost iznosi 0,773756, BCC efikasnost iznosi 1, a efikasnost po opsegu 0,773756. Takva situacija s efikasnošću po opsegu i CCR efikasnosti može se protumačiti lokalno efikasnim djelovanjem i lošim uvjetima za djelovanje. U konkretnom slučaju za DO21 iznos efikasnosti može se pripisati produljenom trajanju dokovanja (dva dana više od planiranog) i povećanim troškovima posade radi dokovanja u inozemstvu. Promatrani DO koji pokazuju neefikasnost po opsegu, a efikasni su po BCC modelu, imaju zajedničku

karakteristiku, uz sve ranije navedene, da im je omjer ukrcane i optimalne posade niži od prosječnog omjera, što ukazuje na veći stupanj gotovosti broda pri odlasku na dokovanje.

Tablica 4-16. Deskriptivna statistika podataka Tablice 4-15, efikasnost po opsegu

	1	2	3
	iznos usporedne efikasnosti	iznos usporedne efikasnosti	efikasnost po opsegu
maksimum	1,0000	1,0000	1,0000
minimum	0,3437	0,3444	0,6267
srednja vr.	0,7203	0,7802	0,9212
st.devijacija	0,2337	0,2176	0,1147

Izvor: izračun autora

Slučajevi niske BCC efikasnosti, a visoke efikasnosti po opsegu u slučaju D001, D002, D003, D005, D007, D009, D010, D012, D014, D016, D018, D019, D023, D026, D029 i D030 mogu se tumačiti neefikasnim djelovanjem i upravljanjem pothvatom dokovanja, kombiniranim s nezadovoljavajućim uvjetima za poduzimanje poduhvata. Pojava niske BCC efikasnosti, a visoke efikasnosti po opsegu govori o znatnom prostoru za poboljšanja koja se mogu postići u dijelu lokalnog tehničkog djelovanja, a akođer i za poboljšanja uvjeta za izvođenje pothvata.

4.7. Kategorijski modeli, CCR i BCC, usmjerenje na *outpute*

Nakon izvedenih izračuna u modelima sa konstantnim i varijabilnim prinosima, uočena je potreba za produbljivanjem tematike kategorijskim modelima metode AOMP.

4.7.1. Kategorijski model, osnove

U analizi skupa podataka koji se sastoji od 34 DO koji su do sada analizirani CCR i BCC modelima usmjerenima na *outpute*, primjećuje se efikasnost serije brodova koju čine D031, D032, D033 i D034. Ovi DO po svojim značajkama predstavljaju primjere najbolje tehničke prakse i uzor za usporedbu s ostalim DO iz skupa, koji imaju ukupnu učestalost od 61 pojavljivanja u referentnim skupovima neefikasnih DO. Međutim, ostali se brodovi po svojim tehničkim karakteristikama nalaze u neravnopravnom položaju u odnosu na D031, D032, D033 i D034. Naime, po svojim tehničkim karakteristikama jedino ova četiri broda mogu biti dokovani u remontnom brodogradilištu B, koje je najbliže brodogradilištu u kojem se brodovi grade, a uz to, brodogradilište pokazuje najmanje iznose cijena za najam i usluge doka. Valja isto tako uzeti u obzir da D031, D032, D033 i D034 mogu biti dokovani u bilo kojem drugom promatranom remontnom brodogradilištu (opcije A, B, C, D i E) što za te brodove daje potpunu slobodu izbora za mjesto dokovanja o okviru ponuđenih opcija.

Za stavljanje u ravnopravniji položaj onih DO koji se ne mogu dokovati u remontnom brodogradilištu B, pribjeći će se korištenju kategorijskog modela AOMP, prema modelu opisanom u **Banker i Morey (1986)**. U kategorijskom modelu AOMP moguće su proizvoljne podjele na kategorije, npr. po tipu broda, mjestu dokovanja, razredu troška i slično. Za što je moguće veću objektivnost u procjeni usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji, kategorije će se odrediti na način da će se svi promatrani DO podijeliti u dvije kategorije – jednu kategoriju koju čine D031, D032, D033 i D034 i drugu kategoriju koju čine svi ostali DO iz promatranog skupa.

Kategorijski model AOMP, koji će biti analiziran kroz kategorijske modele CCR i BCC s usmjerenjem na *outpute*, funkcionira na način da model analizira sve DO iz prve kategorije u kojoj je 30 DO, a nakon toga analizira preostala četiri DO iz druge kategorije zajedno s prethodnih 30 DO iz prve kategorije. Na ovaj će se način za prvu kategoriju DO

ukloniti utjecaj druge kategorije i zadovoljit će se princip izjednačavanja uvjeta za sve DO. U prvoj kategoriji analizirat će se DO koji mogu biti dokovani u remontnim brodogradilištima A, C, D i E, a u drugoj kategoriji DO bit će analizirani brodovi koji su dokovani u remontnom brodogradilištu B, ali po svojim značajkama mogu biti dokovani u svim promatranim remontnim brodogradilištima, i to u odnosu na cijeli skup DO.

Glavne značajke izračuna rezultata kategorijskog modela jesu:

- podaci za obradu nalaze se u **Prilogu 4-1**
- kategorijski model ima iste *inpute* i *outpute* kao i prethodni model
- usmjerenje kategorijskog modela je na *outpute*
- biti će izvršeni izračuni rezultata efikasnosti uz pomoć kategorijskog CCR modela i kategorijskog BCC modela
- nakon završenih izračuna rezultata pristupit će se dekompoziciji efikasnosti i ispitivanju efikasnosti po opsegu.

Deskriptivna statistika podataka prikazana u **Tablici 4-17** podijeljena je po kategorijama te *inputima* i *outputima* koji će se koristiti u kategorijskim modelima. Kategorija 1 obuhvaća sve brodove od D001 do D030, a kategorija 2 obuhvaća brodove D031, D032, D033 i D034.

Tablica 4-17. Deskriptivna statistika podataka kategorijskog modela

		inputi			outputi					
		omjer ukrcane i minimalne posade (X1)	omjer duljina reza/GT (X2)	površina x mjeseci u moru (X3)	najam doka (Y1)	usluge i energija (Y2)	radovi na čeliku (Y3)	radovi na bojenju (Y4)	transfer broda (Y5)	posada za dok (Y6)
Kategorija 1	Maksimum	2,169	6,546	50553,20	20,385	16,327	26,131	28,139	88,511	224,517
	Minimum	1,096	1,168	9777,73	5,933	3,237	5,350	9,450	4,518	52,864
	Srednja vrijednost	1,536	4,424	21345,53	14,274	8,107	13,878	17,273	20,567	132,477
	St. devijacija	0,291	1,702	8141,49	3,483	3,219	6,890	5,090	18,117	40,002
	Odnos minimalne i maksimalne vrijednosti	1:1,98	1:5,61	1:5,17	1:3,44	1:5,04	1:4,88	1:2,98	1:19,59	1:4,25
Kategorija 2	Maksimum	1,613	7,020	19788,00	1,999	1,693	4,510	8,280	9,384	54,655
	Minimum	1,173	7,020	10941,60	1,783	1,316	2,705	5,414	5,919	39,608
	Srednja vrijednost	1,367	7,020	14550,00	1,897	1,554	3,841	7,482	7,238	48,201
	St. devijacija	0,196	0,000	4232,22	0,118	0,178	0,790	1,381	1,589	6,266
	Odnos minimalne i maksimalne vrijednosti	1:1,38	1:1	1:1,81	1:1,12	1:1,29	1:1,67	1:1,53	1:1,59	1:1,38

Izvor: izračun autora

4.7.2. Kategorijski CCR model – izračun s osnovnim skupom podataka

Obradom podataka kategorijskim CCR modelom usmjerenim na *outpute* dobiveni su rezultati koji su prikazani u **Tablici 4-18**. Obrađeno je svih 34 DO, svi su podaci primjereni za obradu kategorijskim CCR modelom, prosječna usporedna efikasnost cijelog skupa je 0,8633, prosječna usporedna efikasnost kategorije 1 je 0,8451, a kategorije 2 je 1, gdje su svi članovi skupa efikasni. Ukupno je 20 neefikasnih i 10 efikasnih članova kategorije 1 koji čine zadovoljavajući skup DO koji će biti dijelom referentnog skupa za neefikasne DO. Deskriptivna statistika rezultata dobivenih obradom nalazi se u **Tablici 4-19**, čiji je opseg podataka proširen za podatke po stvorenim kategorijama DO. U rezultatima je vidljiva pojava da se DO iz kategorije 1 međusobno uspoređuju po iznosu efikasnosti te je sada relativno efikasno 10 DO.

Tablica 4-18. Rezultati kategorijskog CCR modela usmjerenog na *outpute*

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija	DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija
DO01	0,8987	18	1,1128	1	DO18	1,0000	1	1,0000	1
DO02	0,5835	32	1,7138	1	DO19	0,8384	24	1,1927	1
DO03	0,6722	27	1,4877	1	DO20	1,0000	1	1,0000	1
DO04	1,0000	1	1,0000	1	DO21	1,0000	1	1,0000	1
DO05	1,0000	1	1,0000	1	DO22	0,8885	20	1,1255	1
DO06	1,0000	1	1,0000	1	DO23	0,6417	29	1,5582	1
DO07	0,5848	31	1,7100	1	DO24	0,8767	22	1,1406	1
DO08	1,0000	1	1,0000	1	DO25	0,6641	28	1,5059	1
DO09	0,8979	19	1,1137	1	DO26	0,8746	23	1,1434	1
DO10	0,5599	34	1,7861	1	DO27	1,0000	1	1,0000	1
DO11	0,9051	17	1,1049	1	DO28	1,0000	1	1,0000	1
DO12	0,8784	21	1,1385	1	DO29	0,5737	33	1,7430	1
DO13	0,8036	25	1,2443	1	DO30	0,6148	30	1,6265	1
DO14	0,9991	15	1,0009	1	DO31	1,0000	1	1,0000	2
DO15	0,6801	26	1,4703	1	DO32	1,0000	1	1,0000	2
DO16	0,9172	16	1,0902	1	DO33	1,0000	1	1,0000	2
DO17	1,0000	1	1,0000	1	DO34	1,0000	1	1,0000	2

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Tablica 4-19. Deskriptivna statistika rezultata, kategorijski CCR model

kategorija	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
1	30	10	20	0,8451	0,1592	1,0000	0,5599	11 (36,7%)
2	4	4	0	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0 (0%)
1+2	34	14	20	0,8633	0,1576	1,0000	0,5599	11 (32,4%)

Izvor: izračun autora

Relativno efikasni DO u kategoriji 1 jesu: DO4, DO5, DO6, DO08, DO17, DO18, DO20, DO21, DO27 i DO28. Učestalost pojavljivanja efikasnih DO u referentnim skupovima neefikasnih DO prikazana je u **Tablici 4-20**.

Tablica 4-20. Učestalost u referentnom skupu, kategorijski CCR model

1	2	3
Red. br.	DO	Broj javljanja u ref. skupu CCR
1	DO04	7
2	DO05	7
3	DO06	4
4	DO08	10
5	DO17	3
6	DO18	0
7	DO20	13
8	DO21	0
9	DO27	17
10	DO28	9
11	DO31	0
12	DO32	0
13	DO33	0
14	DO34	0

Izvor: izračun autora

Iz podataka u **Tablici 4-20** vidljivo je da najveću učestalost pojavljivanja u referentnim skupovima neefikasnih DO ima DO27 sa 17 pojavljivanja, a slijede ga DO20 i DO08 s 13, odnosno 10 pojavljivanja u referentnim skupovima. Zanimljiva je činjenica da se efikasni DO31, DO32, DO33 i DO34 ne nalaze niti u jednom referentnom skupu, što je

posljedica obrade podataka kategorijskim modelom, jer se na ovaj način međusobno uspoređuju samo DO iz kategorije 1.

Projekcije neefikasnih DO na granicu efikasnosti nalaze se u **Prilogu 4-6**, a referentni skupovi za neefikasne DO nalaze se u **Prilogu 4-7**.

Seriya brodova D027 i D028 ima najbolje rezultate po svim promatranim *inputima* i *outputima*, a brodovi predstavljaju uzor po trajanju dokovanja, troškovima najma doka, trošku radova u čeliku i bojenju te trošku transfera u dok. Jedino su lošiji od ostalih promatranih DO po *inputu* umnoška površine podvodnog dijela broda i broja mjeseci provedenih u vezu opremne obale, što je posljedica dugotrajnog opremanja takvog tipa broda, premda to, gledano kroz komponente troškova dokovanja, nema utjecaja na ishod mjerenja usporedne efikasnosti.

Za primjer projekcija na granicu efikasnosti može se uzeti D015 čije su projekcije na granicu efikasnosti prikazane u **Tablici 4-21**. D015 je brod koji je neefikasan u relativnim odnosima, s iznosom efikasnosti 0,680135 i recipročnim iznosom efikasnosti od 1,4703, što govori da D015 mora povećati iznose *outputa* za prosječno 47,03%. To znači da je, uzevši u obzir skaliranje podataka troškova, potrebno smanjiti troškove za prosječno 31,99% kako bi se dostigla granica efikasnosti.

Tablica 4-21. Projekcije D015, kategorijski CCR model

red.br.	DO	1/efikasnost			
	I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
15	D015	1,4703	1,0000		
	omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2874	1,2874	0,0000	0,00%
	omjer duljina reza/GT (X2)	3,2350	3,2350	0,0000	0,00%
	pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
	najam doka (Y1)	14,9920	9,2862	-5,7059	-38,06%
	usluge doka (Y2)	6,9532	4,5865	-2,3667	-34,04%
	rad na čeliku(Y3)	10,1086	6,8752	-3,2334	-31,99%
	radovi na bojanju (Y4)	17,1082	11,6359	-5,4723	-31,99%
	transfer i kašnjenje (Y5)	34,2443	11,3443	-22,9000	-66,87%
	posada za dokovanje (Y6)	72,8520	33,4189	-39,4331	-54,13%

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Pojedinačno je, prema projekcijama na granicu efikasnosti, potrebno najam doka smanjiti za 38,06%, trošak usluga doka za 34,04%, trošak radova na čeliku za 31,99%, trošak bojenja za 31,99%, trošak transfera i kašnjenja za 66,87% i trošak posade za 54,13%. D015 je u doku proveo pet dana više od planiranog, što je uvećalo troškove najma

doka, usluga doka, troška posade i troška kašnjenja. Uzrok kašnjenja u najvećem je dijelu posljedica povećanog opsega radova radi odmašćivanja i pranja pijeskom oplata podvodno te vlažnog vremena. Potrebno je naglasiti da produljenje boravka broda u doku ima najveći utjecaj na trošak u kategorijama posade, kašnjenja, najma i usluga doka. Isto tako, na D015 ukrcano je 28,73% više posade od nužno potrebne posade za obavljanje dokovanja i priprema za pokusnu plovidbu koja je planirana nakon izvršenja dokovanja. Više posade ukrcano je radi dovršetka zaostalih radova iz prethodnih faza gradnje broda. Potrebno je naglasiti da se pri analizi svakog neefikasnog DO trebaju provjeriti podaci o *inputima* i *outputima* i zapisi s pothvata da bi se mogao donijeti sud o efikasnosti pothvata dokovanja s obzirom na okolnosti u kojima se on odvijao.

Referentni skup za D015 čine D006, D020, D027 i D028 s pripadnim koeficijentima 0,297592, 0,343598, 0,135830 i 0,255870, što govori u korist većeg utjecaja D020 kao uzora tehničke prakse za D015. Prema podacima iz **Tablice 4-20**, D020 ima 13 pojavljivanja u referentnim skupovima pa je na drugom mjestu iza D027 sa 17 pojavljivanja.

4.7.3. Kategorijski CCR model – izračun s dodatnim donositeljem odluke

Za potrebe provjere kategorijskog CCR modela koristit će se entitet D015X koji je zapravo D015 s djelomično izmijenjenim podacima. Podaci su izmijenjeni skraćivanjem trajanja dokovanja i njegovim svođenjem u planske termine, a smanjenja ostalih troškova ostvarena su u odnosu na skraćenje trajanja dokovanja. Usporedba *inputa* i *outputa* D015 i D015X prikazana je u **Tablici 4-22**.

Razlika u podacima između D015 i D015X očituje se u skraćanju trajanja dokovanja i povezanim troškovima u dijelu najma doka, energije iz doka, troška transfera i kašnjenja te troška posade. Smanjenje opsega na podvodnom dijelu po odmašćivanju i pranju pijeskom uračunato je u smanjenje troškova ekipe u doku, s obzirom da su dodatni radovi izvedeni od strane ekipe s broda. Kao posljedica radova vlastite ekipe smanjeni su troškovi kašnjenja.

Tablica 4-22. Usporedba podataka za DO15 i DO15X

1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
DO	tip broda	broj dana u doku	omjer posade i bazne posade (X1)	omjer duljina reza/GT (X2)	trošak posade (šifrirano) (Y6)	najam doka (šifrirano) (Y1)	usluge i energija (šifrirano) (Y2)	rad na čeliku (šifrirano) (Y3)	radovi na bojenju (šifrirano) (Y4)	trošak transfera i kašnjenja (šifrirano) (Y5)
DO15	ChT1	13	1,287	3,235	72,852	14,992	6,9532	10,1086	17,1082	34,2443
DO15X	ChT1	8	1,287	3,235	44,832	10,694	5,7635	10,1086	17,1082	8,4759
razlika apsolutno		5	0,000	0,000	28,020	4,298	1,1897	0,0000	0,0000	25,7684
razlika relativno		38,46%	0,00%	0,00%	38,46%	28,67%	17,11%	0,00%	0,00%	75,25%

Izvor: izračun autora

Rezultati izračuna u kategorijskom CCR modelu prikazani su u **Tablici 4-23**, gdje je vidljivo da DO15X ima efikasnost od 0,871328 za razliku od DO15 koji ima efikasnost 0,680135. DO15X nije dostigao granicu efikasnosti jer poboljšanja koja su uvedena nisu dovoljna za njezino postizanje.

Tablica 4-23. Rezultati kategorijskog CCR modela s DO15X

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija	DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija
DO01	0,8987	18	1,1128	1	DO18	1,0000	1	1,0000	1
DO02	0,5835	32	1,7138	1	DO19	0,8384	25	1,1927	1
DO03	0,6722	27	1,4877	1	DO20	1,0000	1	1,0000	1
DO04	1,0000	1	1,0000	1	DO21	1,0000	1	1,0000	1
DO05	1,0000	1	1,0000	1	DO22	0,8885	20	1,1255	1
DO06	1,0000	1	1,0000	1	DO23	0,6417	29	1,5582	1
DO07	0,5848	31	1,7100	1	DO24	0,8767	22	1,1406	1
DO08	1,0000	1	1,0000	1	DO25	0,6641	28	1,5059	1
DO09	0,8979	19	1,1137	1	DO26	0,8746	23	1,1434	1
DO10	0,5599	34	1,7861	1	DO27	1,0000	1	1,0000	1
DO11	0,9051	17	1,1049	1	DO28	1,0000	1	1,0000	1
DO12	0,8784	21	1,1385	1	DO29	0,5737	33	1,7430	1
DO13	0,8036	26	1,2443	1	DO30	0,6148	30	1,6265	1
DO14	0,9991	15	1,0009	1	DO31	1,0000	1	1,0000	2
DO15X	0,8713	24	1,1477	1	DO32	1,0000	1	1,0000	2
DO16	0,9172	16	1,0902	1	DO33	1,0000	1	1,0000	2
DO17	1,0000	1	1,0000	1	DO34	1,0000	1	1,0000	2

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Smanjenje trajanja dokovanja posljedično je uzrokovalo izmjenu, odnosno smanjenje iznosa troškova ovisnih o vremenu na strani *outputa* te je uzrokovalo povećanje iznosa efikasnosti za DO15X. Recipročna vrijednost efikasnosti iznosi 1,1476 što znači da bi trebao povećati *outpute* za prosječno 14,46% za postizanje efikasnosti. Kada se preračunaju skalirani podaci, za DO15X troškove je potrebno prosječno smanjiti za 12,63%, što je znatno manje nego je to bio slučaj s DO15 gdje su se troškovi trebali smanjiti prosječno za 31,99%. **Tablica 4-24** prikazuje statistiku rezultata izračuna kategorijskim CCR modelom s uvrštenim DO15X u odnosu na rezultate postignute modelom koji uključuje DO15.

Tablica 4-24. Deskriptivna statistika rezultata, kategorijski CCR model s DO15X

DO	kategorija	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
DO15	1	30	10	20	0,8451	0,1592	1,0000	0,5599	11 (36,7%)
	2	4	4	0	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0 (0%)
	1+2	34	14	20	0,8633	0,1576	1,0000	0,5599	11 (32,4%)
DO15X	1	30	10	20	0,8515	0,1563	1,0000	0,5599	10 (29,4%)
	2	4	4	0	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0 (0%)
	1+2	34	14	20	0,8690	0,1544	1,0000	0,5599	10 (29,4%)

Izvor: izračun autora

Iz podataka danih u tablici proizlazi da je broj efikasnih DO ostao jednak, a povećan je prosječni iznos efikasnosti skupa u kojem se nalazi DO15X, a promjene se događaju u kategoriji 1. Radi analize poboljšanja za dostizanje granice efikasnosti, projekcije DO15X na granicu efikasnosti prikazane su u **Tablici 4-25**.

Prema projekcijama na granicu efikasnosti za postizanje efikasnosti za DO15X potrebno je najam doka smanjiti za 12,87%, usluge doka za 19,60%, radove na čeliku za 12,87%, radove na bojenju za 20,62%, transfer broda za 12,87% i troškove posade za 29,62%.

U referentnom skupu za DO15X uzori za poboljšanje su DO08, DO17, DO20, DO27 i DO28, s koeficijentima: 0,306392, 0,137322, 0,081565, 0,172583 i 0,271111. U odnosu

na DO15 promijenjeni su referentni DO i koeficijenti prikazani u **Prilogu 4-7**. U referentnom skupu su DO06, DO20, DO27 i DO28 s koeficijentima: 0,297592, 0,34360, 0,103583 i 0,25587.

Tablica 4-25. Projekcije DO15X, kategorijski CCR model

red.br.	DO	1/efikasnost			
	I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
15	DO15X	1,1477	1,0000		
	omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2874	1,2874	0,0000	0,00%
	omjer duljina reza/GT (X2)	3,2350	3,2350	0,0000	0,00%
	pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
	najam doka (Y1)	10,6940	9,3180	-1,3760	-12,87%
	usluge doka (Y2)	5,7635	4,6338	-1,1296	-19,60%
	rad na čeliku(Y3)	10,1086	8,8079	-1,3007	-12,87%
	radovi na bojanju (Y4)	17,1082	13,5809	-3,5274	-20,62%
	transfer i kašnjenje (Y5)	8,4759	7,3853	-1,0906	-12,87%
	posada za dokovanje (Y6)	44,8320	31,5525	-13,2795	-29,62%

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

I u slučaju dokovanja DO15, odnosno DO15X kao poboljšane varijante istog DO, primjećuje se velik utjecaj kašnjenja. Ranije, u slučaju DO18 i DO18X u CCR i BCC modelima, i sada u slučaju DO15 i DO15X, uzroci povećanja troškova nalaze se u:

- a) čekanju na sidru ispred doka radi preranog isplovljenja, pogrešne procjene vremenskih prilika, ili pak nespremnosti remontnog brodogradilišta za prihvrat broda u dok
- b) produljenom boravku u doku zbog:
 - a. vremenskih prilika koje onemogućavaju radove koji se nalaze na kritičnom putu aktivnosti (**Prilog 1-1**, Plan dokovanja)
 - b. nedostataka tehničke prirode koji su prouzročeni prije dokovanja, u ovom slučaju to je zamašćenje podvodnog dijela vanjske oplata.

4.7.4. Kategorijski BCC model – izračun s osnovnim skupom podataka

Nakon provedene obrade podataka i analize rezultata prema kategorijskom CCR modelu usmjerenom na *outpute* pristupilo se obradi podataka prema kategorijskom BCC modelu s usmjerenjem na *outpute* čiji su rezultati prikazani u **Tablici 4-26**.

Tablica 4-26. Rezultati kategorijskog BCC modela usmjerenog na *outpute*

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija	DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija
DO01	0,9386	17	1,0654	1	DO18	1,0000	1	1,0000	1
DO02	0,6916	26	1,4458	1	DO19	0,8865	23	1,1280	1
DO03	0,6776	28	1,4758	1	DO20	1,0000	1	1,0000	1
DO04	1,0000	1	1,0000	1	DO21	1,0000	1	1,0000	1
DO05	1,0000	1	1,0000	1	DO22	0,8983	20	1,1132	1
DO06	1,0000	1	1,0000	1	DO23	0,6735	31	1,4849	1
DO07	0,6006	33	1,6651	1	DO24	0,8843	24	1,1308	1
DO08	1,0000	1	1,0000	1	DO25	0,6754	29	1,4805	1
DO09	0,9174	18	1,0900	1	DO26	0,8963	21	1,1158	1
DO10	0,6100	32	1,6394	1	DO27	1,0000	1	1,0000	1
DO11	0,9051	19	1,1049	1	DO28	1,0000	1	1,0000	1
DO12	0,8940	22	1,1185	1	DO29	0,5957	34	1,6788	1
DO13	0,8176	25	1,2230	1	DO30	0,6746	30	1,4825	1
DO14	1,0000	1	1,0000	1	DO31	1,0000	1	1,0000	2
DO15	0,6803	27	1,4699	1	DO32	1,0000	1	1,0000	2
DO16	0,9429	16	1,0605	1	DO33	1,0000	1	1,0000	2
DO17	1,0000	1	1,0000	1	DO34	1,0000	1	1,0000	2

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Deskriptivna statistika promatranih DO prikazana je u **Tablici 4-27** i to odvojeno po kategorijama i nakon toga zajedno.

Tablica 4-27. Deskriptivna statistika, kategorijski BCC model

kategorija	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
1	30	11	19	0,8620	0,1458	1,0000	0,5957	10 (33,3%)
2	4	4	0	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0 (0%)
1+2	34	15	19	0,8782	0,1440	1,0000	0,5957	11 (29,4%)

Izvor: izračun autora

Rezultati pokazuju da su sva 34 DO obrađena i imaju odgovarajuće podatke za obradu. U kategoriji 1 nalazi se 11 efikasnih DO, čija je prosječna efikasnost 0,8620. U kategoriji 2 sva su četiri DO efikasna. S obzirom da je veći broj efikasnih DO u kategorijskom BCC modelu nego što je to slučaj s kategorijskim CCR modelom, može se pretpostaviti da se skup promatranih DO vlada po principu varijabilnog prinosa, kao što je bio slučaj i s prethodnim promatranim modelima.

Projekcije neefikasnih DO na granicu efikasnosti prikazan je u **Prilogu 4-8**. Za primjer projekcija na granicu efikasnosti može se uzeti DO15, čiji su podaci projekcija na granicu efikasnosti prikazani u **Tablici 4-28** i čija efikasnost iznosi 0,680329, a recipročna vrijednost efikasnosti 1,46987, što govori o potrebi da se *outputi* povećaju u prosjeku za 46,98% kako bi se postigla efikasnost. Uzevši u obzir skaliranje podataka, troškove je potrebno smanjiti u prosjeku za 31,96% kako bi se dostigla granica efikasnosti.

Tablica 4-28. DO15 projekcije na granicu efikasnosti, kategorijski BCC model

red.br.	DO	1/efikasnost			
	I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
15	DO15	1,4699	1,0000		
	omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2874	1,2874	0,0000	0,00%
	omjer duljina reza/GT (X2)	3,2350	3,2248	-0,0102	-0,31%
	pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
	najam doka (Y1)	14,9920	9,2869	-5,7051	-38,05%
	usluge doka (Y2)	6,9532	4,5847	-2,3685	-34,06%
	rad na čeliku (Y3)	10,1086	6,8772	-3,2314	-31,97%
	radovi na bojanju (Y4)	17,1082	11,6393	-5,4690	-31,97%
	transfer i kašnjenje (Y5)	34,2443	11,3375	-22,9068	-66,89%
	posada za dokovanje (Y6)	72,8520	33,4174	-39,4345	-54,13%

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Po *outputima* je potrebno smanjenje od 38,05% troška najma doka, 34,06% troška usluga doka, trošak rada na čeliku potrebno je smanjiti za 31,97%, a jednak je postotak potrebnog smanjenja troškova bojenja. Trošak transfera i kašnjenja potrebno je smanjiti za 66,89%, a trošak posade za 54,13%.

Članovi referentnog skupa za D015 jesu D006 sa koeficijentom 0,29572, D020 sa 0,343152, D027 sa 0,10589 i D028 sa koeficijentom 0,25523.

Učestalost pojavljivanja u referentnim skupovima za neefikasne DO prikazana je u **Tablici 4-29**, dok se prikaz referentnih skupova za kategorijski BCC model s usmjerenjem na *outpute* nalazi u **Prilogu 4-9**.

Tablica 4-29. Učestalost u referentnim skupovima, kategorijski BCC model

1	2	3
Red. Br.	DO	Broj javljanja u ref. skupu BCC
1	D004	8
2	D005	7
3	D006	3
4	D008	10
5	D014	0
6	D017	1
7	D018	1
8	D020	11
9	D021	1
10	D027	11
11	D028	11
12	D031	0
13	D032	0
14	D033	0
15	D034	0

Izvor: izračun autora

DO s najvećom učestalošću pojavljivanja u referentnim skupovima su D020, D027 i D028 s po 11 javljanja, a slijedi D008 s 10 javljanja. Brodovi D031, D032, D033 i D034 su efikasni, pripadaju kategoriji 2 i ne pojavljuju se kao referentni za brodove iz kategorije 1. Brodovi D017, D018 i D021 imaju po jedno pojavljivanje u referentnim skupovima neefikasnih DO, dok se D014 ne pojavljuje niti u jednom referentnom skupu.

4.7.5. Kategorijski BCC model – izračun s dodatnim donositeljem odluka

Za potrebe provjere kategorijskog BCC modela koristit će se entitet DO15X koji je jednak DO15X korištenom u kategorijskom CCR modelu, a koji je zapravo djelomično izmijenjeni DO15. Usporedba *inputa* i *outputa* DO15 i DO15X prikazana je u **Tablici 4-22**.

Rezultati izračuna u kategorijskom BCC modelu prikazani su u **Tablici 4-30**, gdje je vidljivo da DO15X ima efikasnost 0,925184, za razliku od DO15 koji ima efikasnost 0,68033. Smanjenje trajanja dokovanja posljedično je uzrokovalo izmjenu rezultata izračuna, odnosno smanjenje iznosa troškova ovisnih o vremenu na strani *outputa*. Brod DO15X je u kategoriji 1 s ostalih 29 DO, a brodovi dokovani u remontnom brodogradilištu B, točnije DO31, DO32, DO33 i DO34 se u ovom izračunu ne uspoređuju sa DO koji se nalaze u kategoriji 1.

Tablica 4-30. Rezultati kategorijskog BCC modela, DO15X

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija	DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	1/rel. efikasnost	kategorija
DO01	0,9386	17	1,0654	1	DO18	1,0000	1	1,0000	1
DO02	0,6916	27	1,4458	1	DO19	0,8865	24	1,1280	1
DO03	0,6776	28	1,4758	1	DO20	1,0000	1	1,0000	1
DO04	1,0000	1	1,0000	1	DO21	1,0000	1	1,0000	1
DO05	1,0000	1	1,0000	1	DO22	0,8983	21	1,1132	1
DO06	1,0000	1	1,0000	1	DO23	0,6735	31	1,4849	1
DO07	0,6006	33	1,6651	1	DO24	0,8843	25	1,1308	1
DO08	1,0000	1	1,0000	1	DO25	0,6754	29	1,4805	1
DO09	0,9174	19	1,0900	1	DO26	0,8963	22	1,1158	1
DO10	0,6100	32	1,6394	1	DO27	1,0000	1	1,0000	1
DO11	0,9051	20	1,1049	1	DO28	1,0000	1	1,0000	1
DO12	0,8940	23	1,1185	1	DO29	0,5957	34	1,6788	1
DO13	0,8176	26	1,2230	1	DO30	0,6746	30	1,4825	1
DO14	1,0000	1	1,0000	1	DO31	1,0000	1	1,0000	2
DO15	0,9252	18	1,0809	1	DO32	1,0000	1	1,0000	2
DO16	0,9429	16	1,0605	1	DO33	1,0000	1	1,0000	2
DO17	1,0000	1	1,0000	1	DO34	1,0000	1	1,0000	2

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Recipročna vrijednost efikasnosti DO15X iznosi 1,0809 što znači da bi trebao povećati *outpute* za prosječno 8,09% za postizanje efikasnosti. Kada se preračunaju skalirani podaci, za DO15X potrebno je troškove prosječno smanjiti za 7,49%, što je znatno manje nego je to bio slučaj s DO15 gdje su se troškovi trebali smanjiti prosječno za 31,96%.

Tablica 4-31 prikazuje statistiku rezultata izračuna kategorijskim BCC modelom s uvrštenim DO15X u odnosu na rezultate postignute modelom koji uključuje DO15. Prema podacima, vidljivo je da je broj efikasnih DO ostao jednak, a povećan je prosječni iznos efikasnosti skupa u kojem je DO15X. Sve se promjene događaju u kategoriji 1, dok kategorija 2 ostaje nepromijenjena.

Tablica 4-31. Deskriptivna statistika rezultata, kategorijski BCC model s DO15X

DO	kategorija	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
DO15	1	30	11	19	0,8620	0,1458	1,0000	0,5957	10 (33,3%)
	2	4	4	0	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0 (0%)
	1+2	34	15	19	0,8782	0,1440	1,0000	0,5957	10 (29,4%)
DO15X	1	30	11	19	0,8702	0,1422	1,0000	0,5957	10 (33,3%)
	2	4	4	0	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0 (0%)
	1+2	34	15	19	0,8854	0,1440	1,0000	0,5957	10 (29,4%)

Izvor: izračun autora

Projekcije DO15X na granicu efikasnosti prikazane su u **Tablici 4-32**. Za postizanje efikasnosti za DO15X potrebno je troškove najma doka smanjiti za 11,55%, usluga doka za 10,27%, radova na čeliku za 37,38%, radova na bojenju za 21,30%, transfera broda za 7,48%, a troškove posade za 33,19%.

Tablica 4-32. Projekcije DO15X, kategorijski BCC model

red.br.	DO	1/efikasnost			
	I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
15	DO15	1,0809	1,0000		
	omjer nužne i ukrane posade (X1)	1,2874	1,2874	0,0000	0,00%
	omjer duljina reza/GT (X2)	3,2350	3,2350	0,0000	0,00%
	pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
	najam doka (Y1)	10,6940	9,4586	-1,2354	-11,55%
	usluge doka (Y2)	5,7635	5,1714	-0,5920	-10,27%
	rad na čeliku(Y3)	10,1086	6,3295	-3,7790	-37,38%
	radovi na bojanju (Y4)	17,1082	13,4638	-3,6445	-21,30%
	transfer i kašnjenje (Y5)	8,4759	7,8418	-0,6341	-7,48%
	posada za dokovanje (Y6)	44,8320	29,9510	-14,8810	-33,19%

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

U referentnom skupu prema kategorijskom BCC modelu za DO15X, kao uzori za poboljšanje nalaze se: DO04, DO20, DO27 i DO28, s koeficijentima: 0,188988, 0,541199, 0,005101 i 0,264691. I u slučaju dokovanja DO15, odnosno DO15X kao poboljšane varijante istog DO, primjećuje se velik utjecaj kašnjenja.

4.8. Analiza rezultata – kategorijski CCR i BCC model

Nakon odvojenih obrada podataka i analiza rezultata kategorijskih modela CCR i BCC s usmjerenjem na *outpute*, pristupa se procjeni efikasnosti s obzirom na opseg.

Rezultati ispitivanja efikasnosti po opsegu za promatrani skup DO nalaze se u **Tablici 4-33**.

Tablica 4-33. Efikasnost po opsegu, kategorijski model

1	2	3	4	1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti CCR	iznos relativne efikasnosti BCC	efikasnost po opsegu	DO	iznos usporedne efikasnosti CCR	iznos relativne efikasnosti BCC	efikasnost po opsegu
DO01	0,8987	0,9386	0,9574	DO18	1,0000	1,0000	1,0000
DO02	0,5835	0,6916	0,8436	DO19	0,8384	0,8865	0,9458
DO03	0,6722	0,6776	0,9920	DO20	1,0000	1,0000	1,0000
DO04	1,0000	1,0000	1,0000	DO21	1,0000	1,0000	1,0000
DO05	1,0000	1,0000	1,0000	DO22	0,8885	0,8983	0,9891
DO06	1,0000	1,0000	1,0000	DO23	0,6417	0,6735	0,9529
DO07	0,5848	0,6006	0,9737	DO24	0,8767	0,8843	0,9914
DO08	1,0000	1,0000	1,0000	DO25	0,6641	0,6754	0,9832
DO09	0,8979	0,9174	0,9787	DO26	0,8746	0,8963	0,9759
DO10	0,5599	0,6100	0,9179	DO27	1,0000	1,0000	1,0000
DO11	0,9051	0,9051	1,0000	DO28	1,0000	1,0000	1,0000
DO12	0,8784	0,8940	0,9825	DO29	0,5737	0,5957	0,9631
DO13	0,8036	0,8176	0,9829	DO30	0,6148	0,6746	0,9114
DO14	0,9991	1,0000	0,9991	DO31	1,0000	1,0000	1,0000
DO15	0,6801	0,6803	0,9997	DO32	1,0000	1,0000	1,0000
DO16	0,9172	0,9429	0,9728	DO33	1,0000	1,0000	1,0000
DO17	1,0000	1,0000	1,0000	DO34	1,0000	1,0000	1,0000

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Prema rezultatima je 15 DO ili njih 44,11% efikasno po opsegu. Minimalni iznos efikasnosti po opsegu iznosi 0,843625, a prosječna efikasnost po opsegu iznosi 0,979540.

Dekompozicija efikasnosti po opsegu koja slijedi upućuje na općenite uzroke neefikasnosti. Rezultati mjerenja efikasnosti po opsegu koji pokazuju djelovanje u efikasnom području zabilježeni su u slučajevima DO04, DO05, DO06, DO08, DO17, DO18, DO20, DO21, DO27, DO28 za članove kategorije 1 te u kategoriji 2 koja obuhvaća DO31,

D032, D033 i D034. Navedeni DO pokazuju tehnički efikasno djelovanje (CCR) i lokalno efikasno djelovanje (BCC). DO koji pokazuje lokalno efikasno djelovanje i minimalne smetnje u uvjetima djelovanja je D014.

Deskriptivna statistika promatranog skupa DO je dana u **Tablici 4-34**.

Tablica 4-34. Deskriptivna statistika, kategorijski modeli CCR i BCC

	1	2	3
	iznos usporedne efikasnosti	iznos usporedne efikasnosti	efikasnost po opsegu
maksimum	1,0000	1,0000	1,0000
minimum	0,5599	0,5957	0,8436
srednja vr.	0,8633	0,8782	0,9798
st.devijacija	0,1600	0,1462	0,0335

Izvor: izračun autora

Potrebno je obratiti pozornost na slučajeve kojima je efikasnost po opsegu bliska vrijednosti 1, s relativno niskim iznosima BCC efikasnosti (čista tehnička efikasnost). Primjeri takve prakse su: D003, D010, D015, D023, D025 i D029, čiji su podaci osjenčani u **Tablici 4-33**. Uočeno ponašanje rezultata navodi na pojavu ograničenih sposobnosti menadžmenta u upravljanju procesom. Navedeni DO ukazuju na pojavu velikih mogućnosti poboljšanja u području djelovanja i upravljanja te malih mogućnosti poboljšanja uvjeta djelovanja.

4.9. Rangiranje efikasnih DO – model super-efikasnosti

Dobiveni rezultati dovode do spoznaje da dosad korišteni modeli AOMP ne rangiraju međusobno efikasne DO, nego se svim efikasnim DO pridružuje vrijednost 1 i dodjeljuje rang 1. Međutim, rad **Andersena i Petersena (1993)** opisuje model koji eliminacijom efikasnog DO iz skupa podataka mjeri utjecaj eliminiranog DO na preostale DO iz promatranog skupa. Što je veći utjecaj eliminiranog DO, veća mu je super-efikasnost. Na ovaj će se način uz pomoć AOMP modela CCR super-efikasnosti izvesti rangiranje efikasnih DO. Za provedbu daljnje analize skupa podataka o dokovanjima brodova u gradnji pristupit će se izračunu podataka modelom CCR super-efikasnosti u okviru metode analize omeđivanja podataka.

Podaci za izračun AOMP modela CCR super-efikasnosti uzeti su iz **Priloga 4-1**, a deskriptivna statistika skupa podataka jednaka je onima iz **Tablice 4-1**. **Tablica 4-35** prikazuje rang listu DO na temelju modela super-efikasnosti, a riječ je o DO koji su u CCR modelu imali vrijednost efikasnosti 1.

Tablica 4-35. Rang lista najefikasnijih DO

red.br.	DO	Učestalost pojave u referentnom skupu	Rang po efikasnosti	iznos efikasnosti
1	DO28	7	1	2,0272
2	DO27	21	2	1,6298
3	DO31	22	3	1,5978
4	DO04	9	4	1,4157
5	DO34	6	5	1,3557
6	DO32	10	6	1,3439
7	DO33	1	7	1,1746
8	DO08	2	8	1,1518
9	DO17	2	9	1,0839

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Iz rezultata prikazanih u **Tablici 4-36** vidljivo je da su efikasni DO rangirani iznosima efikasnosti većim od 1. **Tablica 4-36** prikazuje rezultate efikasnosti po modelu

super-efikasnosti u usporedbi s rezultatima efikasnosti CCR modela usmjerenog na *outpute* koji se nalazi u četvrtom stupcu tablice. Iz **Tablice 4-36** vidljivo je da D028 ima najveću postignutu vrijednost efikasnosti od 2,027165, a zanimljivo je da je D004 iz skupine PCTC brodova na četvrtom mjestu po efikasnosti, prestigavši tako D032, D033 i D034 koji pripadaju efikasnoj seriji brodova od D031 do D034, što dokazuje vrijednost metode AOMP u pronalaženju efikasnih rješenja dokovanja brodova u gradnji neovisno o tipu broda. Također je potrebno napomenuti da neefikasni DO zadržavaju vrijednosti koje su imali ranije, u CCR modelu. Na ovaj je način prikazana mogućnost rangiranja efikasnih DO radi nalaženja najboljih primjera tehničke prakse dokovanja brodova u gradnji.

Tablica 4-36. Iznosi efikasnosti, super-efikasnost CCR, usporedba s CCR

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	efikasnost CCR model
D001	0,7714	16	0,7714
D002	0,3830	31	0,3830
D003	0,4124	30	0,4124
D004	1,4157	4	1,0000
D005	0,6070	22	0,6070
D006	0,6267	20	0,6267
D007	0,3530	33	0,3530
D008	1,1518	8	1,0000
D009	0,7952	14	0,7952
D010	0,3437	34	0,3437
D011	0,5199	26	0,5199
D012	0,7581	18	0,7581
D013	0,5367	24	0,5367
D014	0,9664	11	0,9664
D015	0,5203	25	0,5203
D016	0,7617	17	0,7617
D017	1,0839	9	1,0000

1	2	3	4
DO	iznos usporedne efikasnosti	postignuti rang DO	efikasnost CCR model
D018	0,8576	12	0,8576
D019	0,6823	19	0,6823
D020	0,9688	10	0,9688
D021	0,7738	15	0,7738
D022	0,5059	27	0,5059
D023	0,5892	23	0,5892
D024	0,4721	29	0,4721
D025	0,3775	32	0,3775
D026	0,8154	13	0,8154
D027	1,6298	2	1,0000
D028	2,0272	1	1,0000
D029	0,4782	28	0,4782
D030	0,6148	21	0,6148
D031	1,5978	3	1,0000
D032	1,3439	6	1,0000
D033	1,1746	7	1,0000
D034	1,3557	5	1,0000

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

Tablica 4-37 prikazuje usporedbu deskriptivnih statistika rezultata modela CCR i super CCR. Vidljivo je da je broj efikasnih DO ostao isti, srednja vrijednost efikasnosti je s 0,720322 porasla na 0,831512, maksimalna efikasnost iznosi 2,027165, a iznos

minimalne efikasnosti ostao je jednak u oba prikazana modela kao posljedica činjenice da model super-efikasnosti ne mijenja iznose efikasnosti neefikasnih entiteta.

Tablica 4-37. Deskriptivna statistika rezultata, CCR i super CCR modeli

AOMP model	broj obrađenih DO	broj efikasnih DO	broj neefikasnih DO	srednja vrijednost relativne efikasnosti	standardna devijacija	maksimum relativne efikasnosti	minimum relativne efikasnosti	broj DO s ispodprosječnom relativnom efikasnosti (%)
CCR	34	9	25	0,8315	0,4125	2,0272	0,3437	22 (64,7%)
super CCR	34	9	25	0,7203	0,2303	1,0000	0,3437	16 (47%)

Izvor: izračun autora, softver DEA-Solver-Pro

U ranijim izračunima koristili su se CCR i BCC modeli, nakon toga kategorijski CCR i BCC modeli, svi s usmjerenjem na *outpute*, a koji su prepoznali efikasne DO, dakle slučajeve najbolje tehničke prakse, rangirali neefikasne DO i pridružili im projekcije *inputa* i *outputa* na granicu efikasnosti. Navedeni modeli nisu rangirali efikasne DO, nego im svima dodijelili vrijednost efikasnosti 1. Modelom CCR radijalne super-efikasnosti rangirali su se efikasni DO i na taj način prepoznati su primjeri najbolje tehničke prakse u promatranom skupu koji broji 34 DO.

4.10. Sinteza rezultata istraživanja

U **Tablici 4-38** prikazana je struktura troškova pothvata u apsolutnom i relativnom iznosu u odnosu na ukupni trošak pothvata dokovanja. Ukupni trošak pothvata dokovanja uključuje: a) troškove doka koji čini zbroj troškova najma doka, energije i usluga, trošak rada na čeliku i trošak rada na bojenju; b) trošak posade; c) trošak transfera i kašnjenja. Potrebno je obratiti pozornost na trošak posade na brodu za vrijeme dokovanja čiji se trošak kreće od 33,85% pa sve do 58,06% ukupnog troška pothvata dokovanja, što govori u prilog tvrdnjama da zakašnjeli radovi na brodu utječu na pothvat dokovanja. Za primjer uspješnog pothvata dokovanja može se uzeti D04, koji je efikasan po svim modelima, gdje je trošak posade 36,52% troška pothvata, a omjer broja sudionika i optimalnog broja 1,096. Dokovanje D004 obavljeno je u devet dana u remontnom brodogradilištu A, što je dobar rezultat, dok trošak najma doka pokazuje najveći apsolutni iznos od svih promatranih DO, što međutim, nije utjecalo na ukupnu efikasnost. Ukupni trošak pothvata dokovanja iznosi 88,279 što je nadprosječno dobar rezultat, s obzirom da prosječan trošak pothvata dokovanja iznosi 122,569. S druge strane D031, D032, D033 i D034 pokazuju velik relativni udio troška ekipe u trošku pothvata dokovanja koji je u rasponu od 52,52% do 58,03%, ali je potrebno uzeti u obzir da su troškovi doka u remontnom brodogradilištu B najniži u apsolutnim iznosima. Udio troška najma doka kreće se u rasponu od 3,66% do 23,09% za efikasne brodove D033, odnosno D004. Udio usluga i energije doka kreće se od 2,67% do 9,27% za efikasan brod D034, odnosno D014 koji pokazuje iznose efikasnosti od 0,966365 do 1, ovisno o korištenom modelu, a prema podacima iz **Tablice 4-39**. Usporedba relativnih udjela troška rada na čeliku pokazuje raspon od 2,80% do 20,88% ukupnih troškova poduhvata dokovanja za D026 gdje prevladavaju troškovi transfera broda i posade i D008 koji spada u tip broda s najviše radova na čeliku. Uspoređujući relativne odnose troškova bojenja u odnosu na trošak pothvata dokovanja, trošak bojenja nalazi se u rasponu od 7,58% do 21,12% za D006, odnosno za D017. Troškovi transfera i kašnjenja u rasponu su od 4,22% do 39,42% ukupnog troška pothvata dokovanja za D001, odnosno D026. Odnos troška doka u odnosu na ukupni trošak u rasponu je od 23,41% do 58,36% za D026 koji ima velike troškove transfera i kašnjenja, odnosno D004 koji je efikasan po svim modelima i kojemu su troškovi po transferu, kašnjenju i ekipi relativno mali.

Tablica 4-38. Struktura troškova pothvata dokovanja; izvor: izračun autora

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DO	tip broda	mjesto dokiranja	broj dana u doku	trošak posade (šifrirano) (Y6)	udio troška posade u ukupnom trošku (5/23)	najam doka (šifrirano) (Y1)	udio najma doka u ukupnom trošku (7/23)	usluge i energija (šifrirano) (Y2)	udio usluge i energije u ukupnom trošku (9/23)	rad na čeliku (šifrirano) (Y3)	udio rada na čeliku u ukupnom trošku (11/23)	radovi na bojenju (šifrirano) (Y4)	udio rada na bojenju u ukupnom trošku (13/23)	trošak transfera i kašnjenja (šifrirano) (Y5)	udio transfera i kašnjenja u ukupnom trošku (15/23)	trošak transfera (šifrirano) izvedeno iz 15	udio troška transfera u ukupnom trošku (17/23)	trošak kašnjenja (šifrirano) izvedeno iz 15	udio troška kašnjenja u ukupnom trošku (19/23)	trošak dokovanja (bez posade i transfera)-šifrirano (7+9+11+13)	udio troška dokovanja u ukupnom trošku (21/23)	trošak ukupno (šifrirano) (5+7+9+11+13+15)
DO01	PCTC1	C	9	74,214	49,40%	14,576	9,70%	13,180	8,77%	21,302	14,18%	20,624	13,73%	6,341	4,22%	6,341	4,22%	0,000	0,00%	69,682	46,38%	150,236
DO02	PCTC1	A	12	85,031	49,95%	19,220	11,29%	13,210	7,76%	13,484	7,92%	14,327	8,42%	24,957	14,66%	14,092	8,28%	10,865	6,38%	60,242	35,39%	170,230
DO03	PCTC1	C	11	51,022	33,85%	17,909	11,88%	7,722	5,12%	26,131	17,34%	22,694	15,06%	25,248	16,75%	16,440	10,91%	8,808	5,84%	74,456	49,40%	150,725
DO04	PCTC1	A	9	32,241	36,52%	20,385	23,09%	5,781	6,55%	11,652	13,20%	13,702	15,52%	4,518	5,12%	4,518	5,12%	0,000	0,00%	51,521	58,36%	88,279
DO05	PCTC2	D	10	53,538	49,81%	11,111	10,34%	6,102	5,68%	12,913	12,01%	10,659	9,92%	13,156	12,24%	7,803	7,26%	5,354	4,98%	40,785	37,95%	107,480
DO06	PCTC3	D	13	63,095	46,34%	14,836	10,90%	4,968	3,65%	10,457	7,68%	10,318	7,58%	32,470	23,85%	8,453	6,21%	24,017	17,64%	40,579	29,81%	136,145
DO07	PCTC3	C	12	65,218	41,09%	20,149	12,69%	10,041	6,33%	20,949	13,20%	18,741	11,81%	23,629	14,89%	7,465	4,70%	16,164	10,18%	69,880	44,03%	158,727
DO08	PCTC2	C	9	44,697	39,33%	14,487	12,75%	6,686	5,88%	23,729	20,88%	17,293	15,22%	6,762	5,95%	6,762	5,95%	0,000	0,00%	62,195	54,72%	113,654
DO09	PCTC3	C	8	38,606	38,47%	14,992	14,94%	6,779	6,75%	18,737	18,67%	15,184	15,13%	6,059	6,04%	6,059	6,04%	0,000	0,00%	55,692	55,49%	100,358
DO10	PCTC2	C	11	69,060	44,85%	18,023	11,71%	10,751	6,98%	21,150	13,74%	18,711	12,15%	16,273	10,57%	6,809	4,42%	9,464	6,15%	68,635	44,58%	153,968
DO11	PCTC2	C	9	54,395	37,84%	15,308	10,65%	8,820	6,14%	24,636	17,14%	23,621	16,43%	16,951	11,79%	16,951	11,79%	0,000	0,00%	72,386	50,36%	143,732
DO12	PCTC1	C	9	75,900	50,38%	14,772	9,80%	9,218	6,12%	21,396	14,20%	21,729	14,42%	7,652	5,08%	7,652	5,08%	0,000	0,00%	67,115	44,55%	150,668
DO13	PCTC1	C	10	66,530	44,92%	16,763	11,32%	8,367	5,65%	21,887	14,78%	21,698	14,65%	12,853	8,68%	7,465	5,04%	5,388	3,64%	68,714	46,40%	148,097
DO14	CHT1	A	8	36,217	44,80%	11,174	13,82%	7,493	9,27%	6,830	8,45%	12,988	16,07%	6,134	7,59%	6,134	7,59%	0,000	0,00%	38,485	47,61%	80,835
DO15	CHT1	D	13	72,852	46,62%	14,992	9,59%	6,953	4,45%	10,109	6,47%	17,108	10,95%	34,244	21,92%	8,476	5,42%	25,768	16,49%	49,162	31,46%	156,258
DO16	CHT1	A	8	47,869	50,04%	11,012	11,51%	4,833	5,05%	6,642	6,94%	14,785	15,46%	10,518	10,99%	10,518	10,99%	0,000	0,00%	37,271	38,96%	95,658
DO17	CHT2	A	8	41,256	46,57%	10,715	12,10%	5,175	5,84%	6,583	7,43%	18,706	21,12%	6,152	6,94%	6,152	6,94%	0,000	0,00%	41,180	46,48%	88,587
DO18	CHT2	A	9	60,939	55,01%	11,454	10,34%	5,870	5,30%	5,939	5,36%	9,869	8,91%	16,715	15,09%	13,212	11,93%	3,504	3,16%	33,132	29,91%	110,786
DO19	CHT3	A	12	61,411	44,87%	14,699	10,74%	8,930	6,53%	6,733	4,92%	13,249	9,68%	31,832	23,26%	14,983	10,95%	16,849	12,31%	43,611	31,87%	136,854
DO20	CHT3	A	8	39,051	43,80%	10,560	11,85%	6,492	7,28%	5,350	6,00%	15,209	17,06%	12,486	14,01%	12,486	14,01%	0,000	0,00%	37,611	42,19%	89,148
DO21	CHT3	D	10	66,547	54,23%	11,111	9,05%	5,116	4,17%	8,181	6,67%	10,883	8,87%	20,885	17,02%	9,176	7,48%	11,708	9,54%	35,291	28,76%	122,724
DO22	CHT3	A/C	14	77,709	42,97%	11,741	6,49%	6,000	3,32%	12,214	6,75%	17,195	9,51%	55,987	30,96%	26,463	14,63%	29,525	16,33%	47,150	26,07%	180,846
DO23	CHT4	D	14	91,065	45,34%	16,043	7,99%	16,327	8,13%	7,944	3,96%	22,720	11,31%	46,753	23,28%	9,527	4,74%	37,227	18,53%	63,033	31,38%	200,851
DO24	CHT4	C	10	64,187	43,55%	11,762	7,98%	9,671	6,56%	16,236	11,01%	24,741	16,79%	20,799	14,11%	8,490	5,76%	12,309	8,35%	62,409	42,34%	147,396
DO25	CHT4	C	12	82,647	44,91%	14,070	7,65%	14,760	8,02%	15,983	8,68%	24,219	13,16%	32,367	17,59%	8,350	4,54%	24,017	13,05%	69,032	37,51%	184,046
DO26	CHT4	E	13	83,438	37,16%	16,579	7,38%	9,059	4,03%	6,276	2,80%	20,654	9,20%	88,511	39,42%	56,988	25,38%	31,522	14,04%	52,567	23,41%	224,517
DO27	TSHD	A	7	30,863	44,81%	8,658	12,57%	3,237	4,70%	7,301	10,60%	9,450	13,72%	9,364	13,60%	6,018	8,74%	3,346	4,86%	28,646	41,59%	68,873
DO28	TSHD	A	6	19,604	37,08%	5,933	11,22%	3,495	6,61%	6,632	12,55%	10,867	20,56%	6,333	11,98%	6,333	11,98%	0,000	0,00%	26,927	50,94%	52,864
DO29	ConRO	C	9	56,504	37,55%	17,427	11,58%	11,098	7,38%	23,998	15,95%	28,139	18,70%	13,311	8,85%	8,439	5,61%	4,873	3,24%	80,663	53,60%	150,477
DO30	ConRO	A	8	45,665	41,03%	17,752	15,95%	7,073	6,36%	14,953	13,44%	18,108	16,27%	7,739	6,95%	7,739	6,95%	0,000	0,00%	57,886	52,01%	111,290
DO31	Wcarrier	B	6	20,785	52,48%	1,783	4,50%	1,518	3,83%	4,188	10,57%	5,414	13,67%	5,919	14,94%	5,919	14,94%	0,000	0,00%	12,904	32,58%	39,608
DO32	Wcarrier	B	6	28,580	58,06%	1,808	3,67%	1,693	3,44%	2,705	5,50%	8,280	16,82%	6,156	12,51%	6,156	12,51%	0,000	0,00%	14,486	29,43%	49,222
DO33	Wcarrier	B	7	29,485	53,95%	1,999	3,66%	1,688	3,09%	3,962	7,25%	8,136	14,89%	9,384	17,17%	6,195	11,33%	3,189	5,83%	15,786	28,88%	54,655
DO34	Wcarrier	B	7	25,903	52,52%	1,999	4,05%	1,316	2,67%	4,510	9,14%	8,099	16,42%	7,494	15,19%	5,250	10,64%	2,244	4,55%	15,924	32,29%	49,321
maksimalna vrijednost				91,065	58,06%	20,385	23,09%	16,327	9,27%	26,131	20,88%	28,139	21,12%	88,511	39,42%	56,988	25,38%	37,227	18,53%	80,663	58,36%	224,517
minimalna vrijednost				19,604	33,85%	1,783	3,66%	1,316	2,67%	2,705	2,80%	5,414	7,58%	4,518	4,22%	4,518	4,22%	0,000	0,00%	12,904	23,41%	39,608
srednja vrijednost				54,592	45,30%	12,818	10,43%	7,336	5,81%	12,697	10,45%	16,121	13,80%	18,999	14,21%	10,583	8,77%	8,416	5,44%	48,972	40,49%	122,562
standardna devijacija				20,041	6,07%	5,200	3,76%	3,701	1,68%	7,249	4,56%	5,761	3,48%	17,541	7,63%	9,316	4,40%	10,871	6,08%	19,091	9,66%	46,577
odnos maks. i min. Vrijednosti				4,65	1,72	11,43	6,31	12,40	3,47	9,66	7,47	5,20	2,79	19,59	9,34	12,61	6,01	NR	NR	6,25	2,49	5,67

Tablica 4-39. Rezultati mjerenja usporedne efikasnosti

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DO	tip broda	bruto tonaža	cGT	mjesto dokovanja	broj dana u doku	trošak ukupno (šifrirano)	efikasnost CCR	efikasnost BCC	efikasnost po opsegu CCR i BCC	efikasnost kategorijski CCR	efikasnost kategorijski BCC	efikasnost po opsegu, kategorijski CCR i BCC	efikasnost super CCR	opis okolnosti dokovanja i komentar
DO01	PCTC1	40986	25406	C	9	150,236	0,7714	0,7913	0,9749	0,8987	0,9386	0,9574	0,7714	opseg radova na brodu, rad i energija, inozemno dokovanje
DO02	PCTC1	40986	25406	A	12	170,230	0,3830	0,4028	0,9509	0,5835	0,6916	0,8436	0,3830	čekanje pred dokom, nevrijeme, brojna ekipa
DO03	PCTC1	40986	25406	C	11	150,725	0,4124	0,4124	1,0000	0,6722	0,6776	0,9920	0,4124	čekanje pred dokom, nevrijeme, izmjena lima oplata, inozemstvo
DO04	PCTC1	40986	25406	A	9	88,279	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,4157	dobar primjer dokovanja
DO05	PCTC2	38651	24384	D	10	107,480	0,6070	0,6972	0,8706	1,0000	1,0000	1,0000	0,6070	inozemno dokovanje
DO06	PCTC3	44408	26873	D	13	136,145	0,6267	1,0000	0,6267	1,0000	1,0000	1,0000	0,6267	inozemno dokovanje, nespremnost remontnog bgd.
DO07	PCTC3	44408	26873	C	12	158,727	0,3530	0,3642	0,9693	0,5848	0,6006	0,9737	0,3530	jak vjetar, izmjena porivnika, kvar CPP
DO08	PCTC2	38651	24384	C	9	113,654	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,1518	dobar primjer dokovanja, inozemno dokovanje
DO09	PCTC3	44408	26873	C	8	100,358	0,7952	0,7958	0,9993	0,8979	0,9174	0,9787	0,7952	bez osobitosti, inozemno dokovanje
DO10	PCTC2	38651	24384	C	11	153,968	0,3437	0,3444	0,9980	0,5599	0,6100	0,9179	0,3437	inozemno dokovanje, rad na čeliku, obrasline, brojna ekipa
DO11	PCTC2	38651	24384	C	9	143,732	0,5199	0,7134	0,7288	0,9051	0,9051	1,0000	0,5199	tegalj do doka i natrag, inozemno dokovanje
DO12	PCTC1	40986	25406	C	9	150,668	0,7581	0,8133	0,9321	0,8784	0,8940	0,9825	0,7581	brojna ekipa u doku, inozemno dokovanje
DO13	PCTC1	40986	25406	C	10	148,097	0,5367	0,7222	0,7431	0,8036	0,8176	0,9829	0,5367	brojna ekipa u doku, inozemno dokovanje
DO14	ChT1	27512	23228	A	8	80,835	0,9664	0,9681	0,9982	0,9991	1,0000	0,9991	0,9664	obavljeno po planu
DO15	ChT1	27512	23228	D	13	156,258	0,5203	0,6758	0,7699	0,6801	0,6803	0,9997	0,5203	pjeskarenje dna, mast, neefikasno remontno bgd.
DO16	ChT1	27512	23228	A	8	95,658	0,7617	0,8042	0,9471	0,9172	0,9429	0,9728	0,7617	čekanje pred dokom, kašnjenje u VT pranju
DO17	ChT2	27335	23146	A	8	88,587	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0839	više obraslina, pjeskarenje, po planu
DO18	ChT2	27335	23146	A	9	110,786	0,8576	0,8701	0,9856	1,0000	1,0000	1,0000	0,8576	čekanje pred dokom, nevrijeme, jedan dan kiše u doku, brojna ekipa

Izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

Tablica 4-39. Rezultati mjerenja usporedne efikasnosti (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DO	tip broda	bruto tonaža	cGT	mjesto dokovanja	broj dana u doku	trošak ukupno (šifrirano)	efikasnost CCR	efikasnost BCC	efikasnost po opsegu CCR i BCC	efikasnost kategorijski CCR	efikasnost kategorijski BCC	efikasnost po opsegu, kategorijski CCR i BCC	efikasnost super CCR	opis okolnosti dokovanja i komentar
DO19	ChT3	27472	23210	A	12	136,854	0,6823	0,6839	0,9976	0,8384	0,8865	0,9458	0,6823	čekanje pred dokom, vremenske prilike
DO20	ChT3	27472	23210	A	8	89,148	0,9688	1,0000	0,9688	1,0000	1,0000	1,0000	0,9688	čekanje pred dokom, vremenske prilike, ostalo po planu
DO21	ChT3	27472	23210	D	10	122,724	0,7738	1,0000	0,7738	1,0000	1,0000	1,0000	0,7738	odmašćivanje, inozemno dokovanje
DO22	ChT3	27472	23210	A/C	14	180,846	0,5059	0,7402	0,6835	0,8885	0,8983	0,9891	0,5059	dokovanje u dva doka, stečaj prvog
DO23	ChT4	27207	23086	D	14	200,851	0,5892	0,6061	0,9722	0,6417	0,6735	0,9529	0,5892	kašnjenje u doku, višednevna magla, pjeskarenje dna
DO24	ChT4	27207	23086	C	10	147,396	0,4721	0,7037	0,6709	0,8767	0,8843	0,9914	0,4721	odmašćivanje dna, kiša u doku, inozemno dokovanje
DO25	ChT4	27207	23086	C	12	184,046	0,3775	0,4382	0,8615	0,6641	0,6754	0,9832	0,3775	niske temperature, klimatizacija tankova, inozemno dokovanje
DO26	ChT4	27207	23086	E	13	224,517	0,8154	0,8414	0,9691	0,8746	0,8963	0,9759	0,8154	dugačak transfer, neefikasno rem. bgd., inoz., povoljne jed. Cijene
DO27	TSHD	17130	19395	A	7	68,873	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,6298	dobar primjer dokovanja
DO28	TSHD	17130	19395	A	6	52,864	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0272	dobar primjer dokovanja
DO29	ConRO	47300	28204	C	9	150,477	0,4782	0,4834	0,9892	0,5737	0,5957	0,9631	0,4782	havarija glavnog stroja, bez utjecaja na dokovanje, odmašćivanje, inoz.
DO30	ConRO	47300	28204	A	8	111,290	0,6148	0,6551	0,9385	0,6148	0,6746	0,9114	0,6148	brojna ekipa u doku, visoke jed. cijene.
DO31	Wcarrier	8547	12377	B	6	39,608	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,5978	havarija glavnog stroja, bez utjecaja na dokovanje, po planu
DO32	Wcarrier	8547	12377	B	6	49,222	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,3439	dobar primjer dokovanja, brojna ekipa
DO33	Wcarrier	8547	12377	B	7	54,655	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,1746	dobar primjer dokovanja
DO34	Wcarrier	8547	12377	B	7	49,321	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,3557	dobar primjer dokovanja
DO15X	ChT1	27512	23228	D	8	96,985	0,7476	0,9252	0,8080	0,8713	0,9252	0,9418	0,7476	DO15 bez kašnjenja i povezanih troškova
DO18X	ChT2	27335	23146	A	8	92,173	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0959	DO18 bez čekanja pred dokom i kašnjenja u doku

Izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

Iz navedenih podataka može se zaključiti da prevladavaju troškovi ekipe i troškovi transfera i kašnjenja, bilo u relativnom, bilo u apsolutnom iznosu, na što u budućim pothvatima dokovanja treba obratiti dužnu pozornost.

Rezultati mjerenja usporedne efikasnosti na promatranom skupu DO prikazani su u **Tablici 4-39** koja prikazuje promatrane DO s pripadnim iznosima efikasnosti prema AOMP modelima koji su korišteni u razradi teme. To su modeli: CCR, BCC, kategorijski CCR, kategorijski BCC i na kraju super-efikasnost CCR. Rezultatima početnih 34 DO čiji su podaci uzeti u razmatranje, naknadno su uključeni i dodatni DO sa sufiksom X, a to su DO15X i DO18X koji su kreirani radi demonstracije ponašanja AOMP modela s izmijenjenim podacima. Dodatni, odnosno izmijenjeni DO (s oznakom X) su osjenčani radi razlikovanja od prvobitno definiranih, stvarnih DO. Uz brojčane podatke troška i iznosa efikasnosti po različitim modelima, tablici je dodan stupac „opis okolnosti dokovanja i komentar“ kao podsjetnik na događaje i okolnosti koje su bile od značaja prilikom izvođenja pothvata dokovanja za pojedini brod. Tako su, primjerice, navedene okolnosti čekanja pred dokom, nespremnost remontnog brodogradilišta za prihvrat broda, obrasline, brojnost ekipe koja je utjecala na ukupni trošak pothvata te troškovi ekipe u inozemstvu.

U stupcima 11, 12 i 13 **Tablice 4-39** nalaze se iznosi postignute efikasnosti prema kategorijskim CCR i BCC modelima, kada se u kategoriju 2 svrstavaju DO31, DO32, DO33 i DO34 koji se jedini mogu dokovati u remontnom brodogradilištu B, a svi ostali DO su u kategoriji 1 te im se efikasnost izračunava na populaciji od 30 DO. Efikasnost dostižu DO05, DO06, DO14, DO18, DO20 i DO21, što govori u prilog ujednačenoj praksi i opsegu dokovanja brodova u kategoriji 1, koju remete pojedinačni događaji koji smanjuju efikasnost, ali istodobno pokazuju smjer za poboljšanja kroz smanjenje troškova i poboljšanje preuvjeta za izvršenje dokovanja.

Mjera robustnosti efikasnih DO, koja se pokazuje po učestalosti pojavljivanja u referentnim skupovima za neefikasne DO, prikazana je u **Tablici 4-40**. Prikazan je broj pojavljivanja efikasnih DO u odnosu na korišteni model AOMP. DO31, DO32, DO33, DO34 odvojeni su u tablici radi naglašavanja razlika koje spomenuti DO imaju, s obzirom da su u kategorijskim modelima stavljeni u različitu kategoriju od ostalih DO.

Tablica 4-40. Učestalost pojavljivanja DO u referentnim skupovima

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Red. br.	DO	broj pojavljivanja u ref. skupu (CCR)	broj pojavljivanja u ref. skupu (BCC)	broj pojavljivanja u ref. skupu (kat.)	broj pojavljivanja u ref. skupu (kat.)	Ukupno po DO (3+4)	Ukupno po DO, kategorijski (6+7)	Ukupno po DO (7+8)
1	DO04	8	7	7	8	15	15	30
2	DO05	0	0	7	7	0	14	14
3	DO06	0	1	4	3	1	7	8
4	DO08	3	4	10	10	7	20	27
5	DO14	0	0	0	0	0	0	0
6	DO17	3	2	3	1	5	4	9
7	DO18	0	0	0	1	0	1	1
8	DO20	0	13	13	11	13	24	37
9	DO21	0	2	0	1	2	1	3
10	DO27	20	16	17	11	36	28	64
11	DO28	6	9	9	11	15	20	35
12	DO31	18	13	0	0	31	0	31
13	DO32	10	5	0	0	15	0	15
14	DO33	0	4	0	0	4	0	4
15	DO34	4	7	0	0	11	0	11

Izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

Uzimajući u obzir obje kategorije, po pet DO s najvećom učestalošću pojavljivanja jesu: DO27 s 85 pojavljivanja, DO31 53, DO28 42, DO04 s 39 pojavljivanja te DO20 s 37 pojavljivanja.

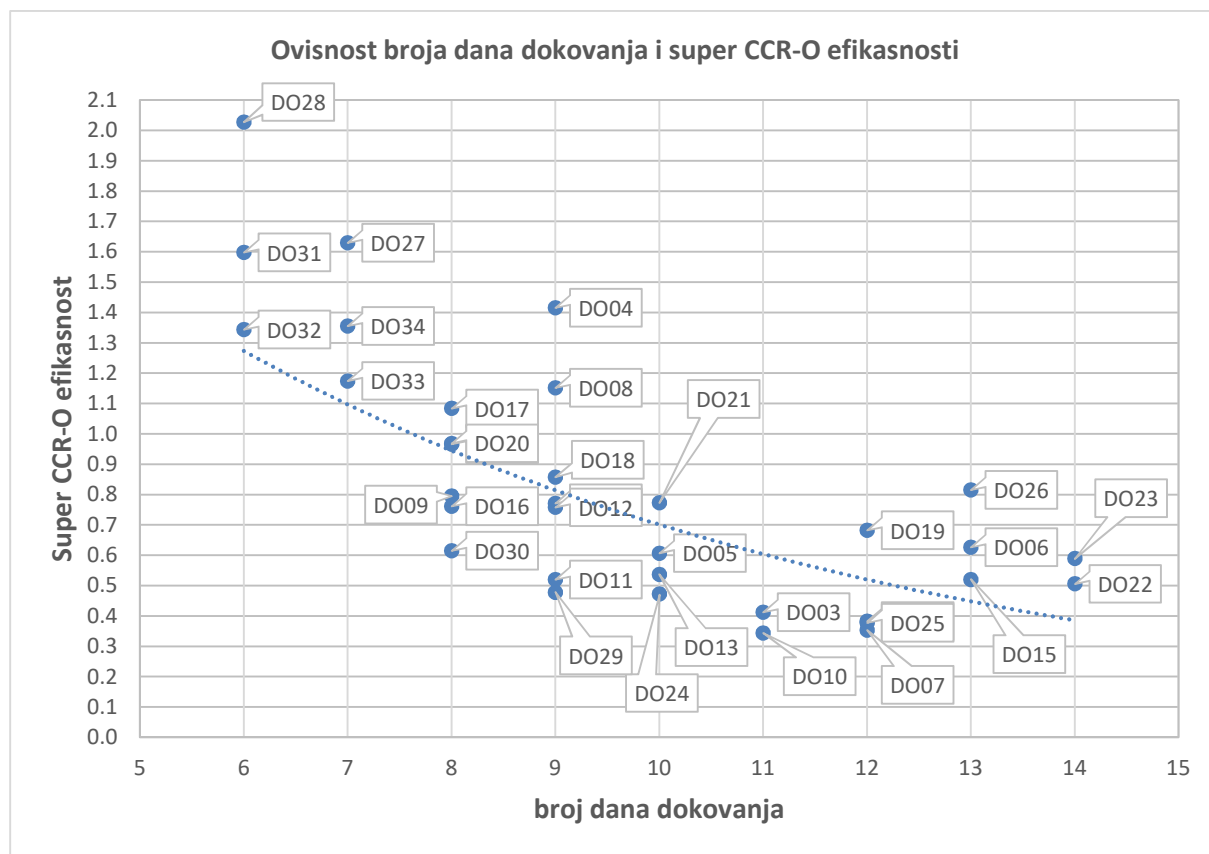
Kada se uzima u obzir kategorija s ukupno 30 DO redoslijed je: DO27 s 85 pojavljivanja, DO28 s 42, DO04 s 39, DO20 s 37 i DO08 s 29 pojavljivanja u referentnom skupu. Ove DO možemo nazvati robustnim i dobrim primjerima tehničke prakse.

Efikasni DO s najmanje pojavljivanja u referentnim skupovima jesu: DO14 bez pojavljivanja, DO18 s jednim, DO21 s tri, DO33 s pet i DO06 s osam pojavljivanja. Ove DO možemo karakterizirati kao efikasne, ali i kao DO koji ne dominiraju granicom efikasnosti u području projekcija neefikasnih DO, što ih čini manje robustnim i ne tako dobrim primjerima tehničke prakse, premda su efikasni.

Može se zaključiti da se slučajevima najbolje tehničke prakse mogu proglasiti DO28, DO31, DO27, DO04 i DO08, s obzirom na iskazanu efikasnost po svim modelima i broj pojavljivanja u referentnim skupovima. Brodovi DO17 i DO20 vrlo su blizu kategoriji

slučajeva najbolje tehničke prakse. DO17 efikasan je po svim modelima, ali je frekvencija pojavljivanja u referentnim skupovima manja (11 puta). DO20 ima efikasnost po CCR modelu u iznosu od 0,968765, u ostalim je modelima efikasan, a frekvencija pojavljivanja u referentnim skupovima mu je 37 puta.

Grafičkim se prikazom odnosa trajanja dokovanja u danima, ukupnim troškovima pothvata dokovanja i efikasnosti modelom CCR-O super-efikasnosti mogu pokazati odnosi ove tri vrijednosti za svaki promatrani DO. Od dosad korištenih modela za izračun efikasnosti, za prikaz je uzet CCR-O model super-efikasnosti zato što model prikazuje tehničku efikasnost, u čijim su rezultatima razlike između DO prikazane u najvećoj mjeri, a pritom su efikasni DO rangirani i imaju vrijednost veću od 1. **Slika 4-3** prikazuje odnos ukupnog troška poduhvata dokovanja i CCR-O super-efikasnosti.

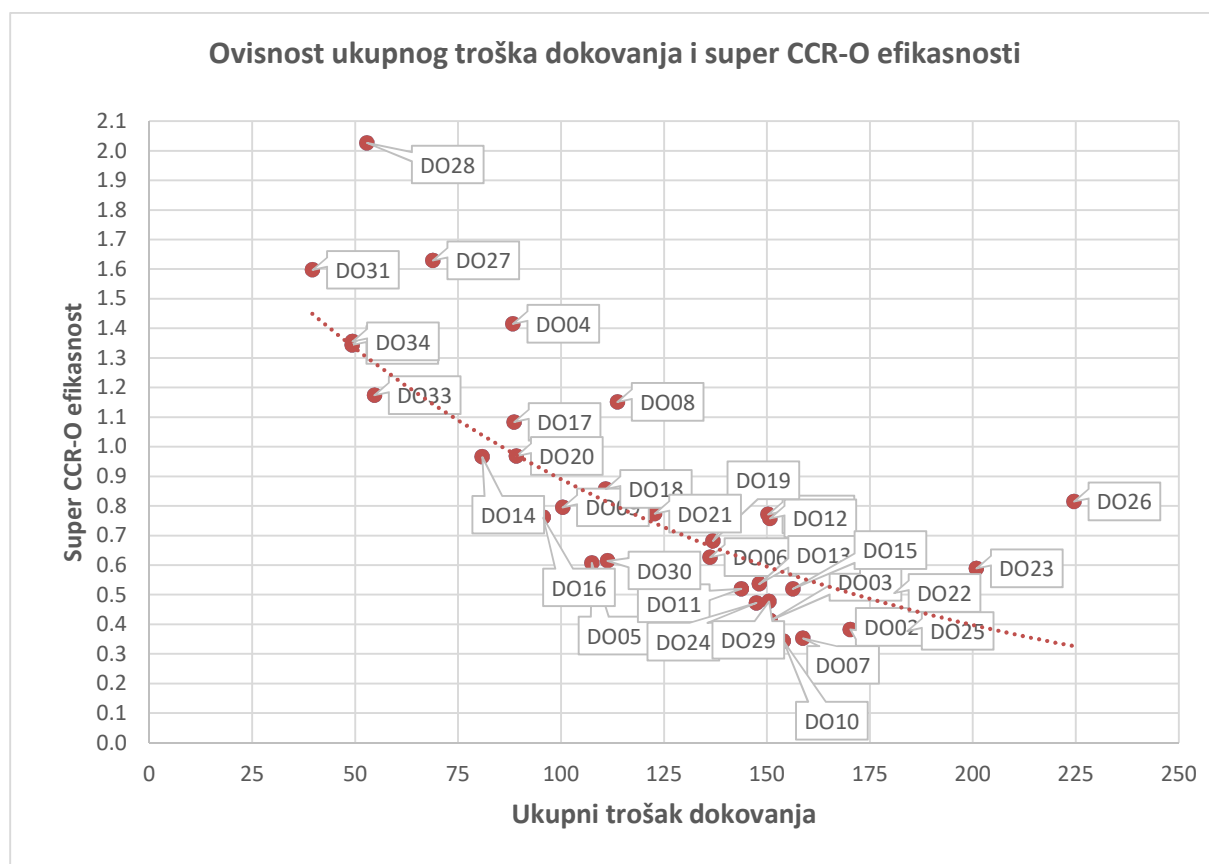


Slika 4-3. Odnos broja dana dokovanja i CCR-O super-efikasnosti

Potrebno je istaknuti da prikaz na **Slici 4-3** kazuje da nema efikasnih DO koji bi bili dokovani dulje od devet dana. A efikasnost DO pokazuje trend opadanja s povećanjem broja dana dokovanja. Zanimljiv je slučaj DO26 s trinaest dana provedenih u doku, gdje

velik utjecaj na efikasnost imaju relativno niski troškovi radova u doku u dijelu radova na čeliku i bojenju.

Slika 4-4 prikazuje odnos ukupnih troškova pothvata dokovanja i efikasnosti po CCR-O modelu super-efikasnosti.

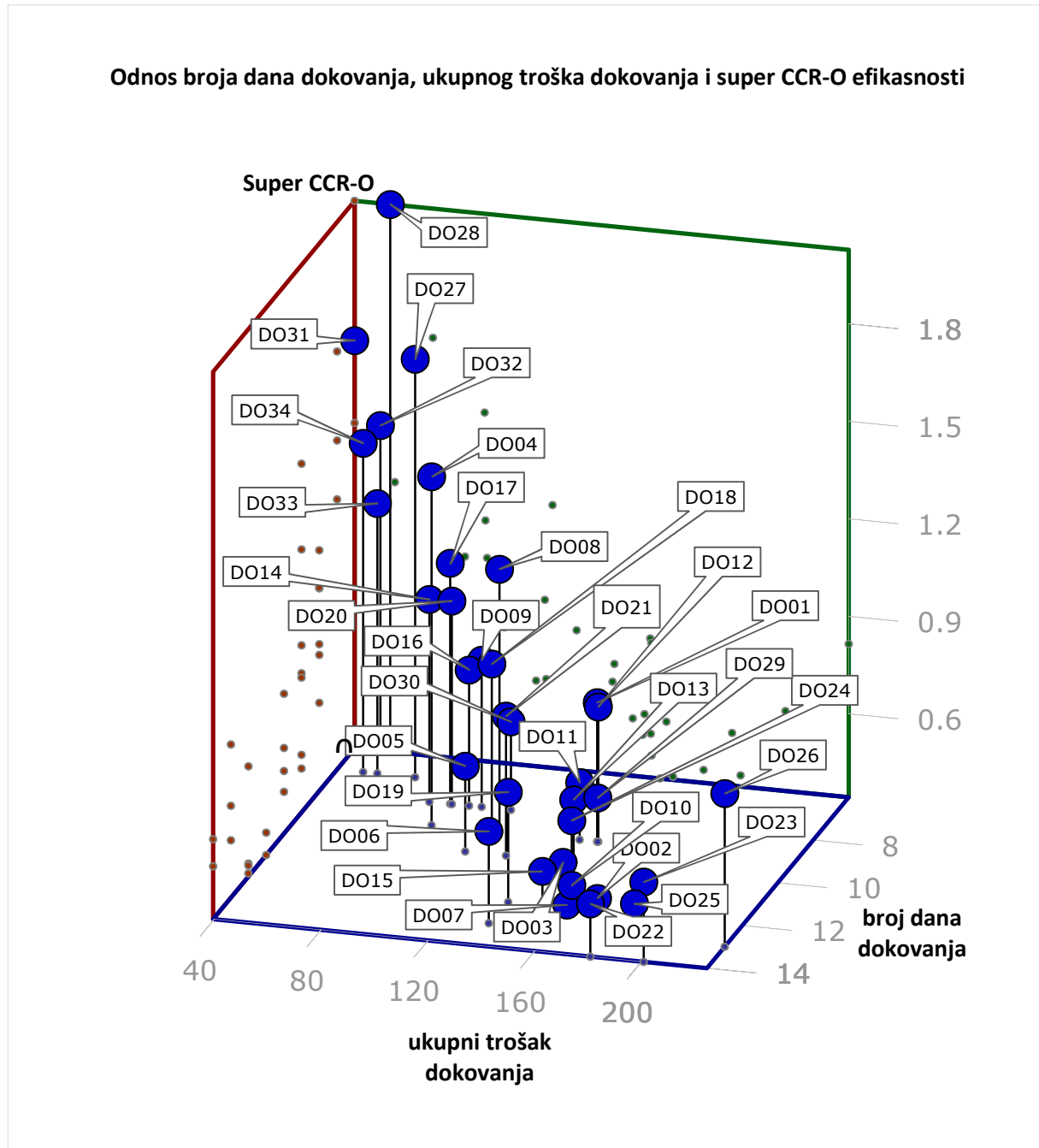


Slika 4-4. Odnos ukupnog troška pothvata dokovanja i CCR-O super-efikasnosti

Odnosi ukupnih troškova dokovanja i efikasnosti pokazuju tendenciju pada efikasnosti DO u odnosu na porast troškova. Kao i na **Slici 4-3**, DO26 i na **Slici 4-4** pokazuje relativno visoku efikasnost uz visoke ukupne troškove koji se tumače nižim troškovima radova u doku, što sve govori u prilog potrebi da se u stručnom i komercijalnom dijelu analizira mogućnost dokovanja brodova u remontnom brodogradilištu E u kraćem vremenskom razdoblju. Uzevši u obzir raspoložive podatke, metoda AOMP indicirala je potencijale remontnog brodogradilišta E.

Odnos broja dana dokovanja, ukupnog troška pothvata dokovanja i efikasnosti po CCR-O modelu super-efikasnosti prikazan je na **Slikama 4-5 i 4-6** u trodimenzionalnom

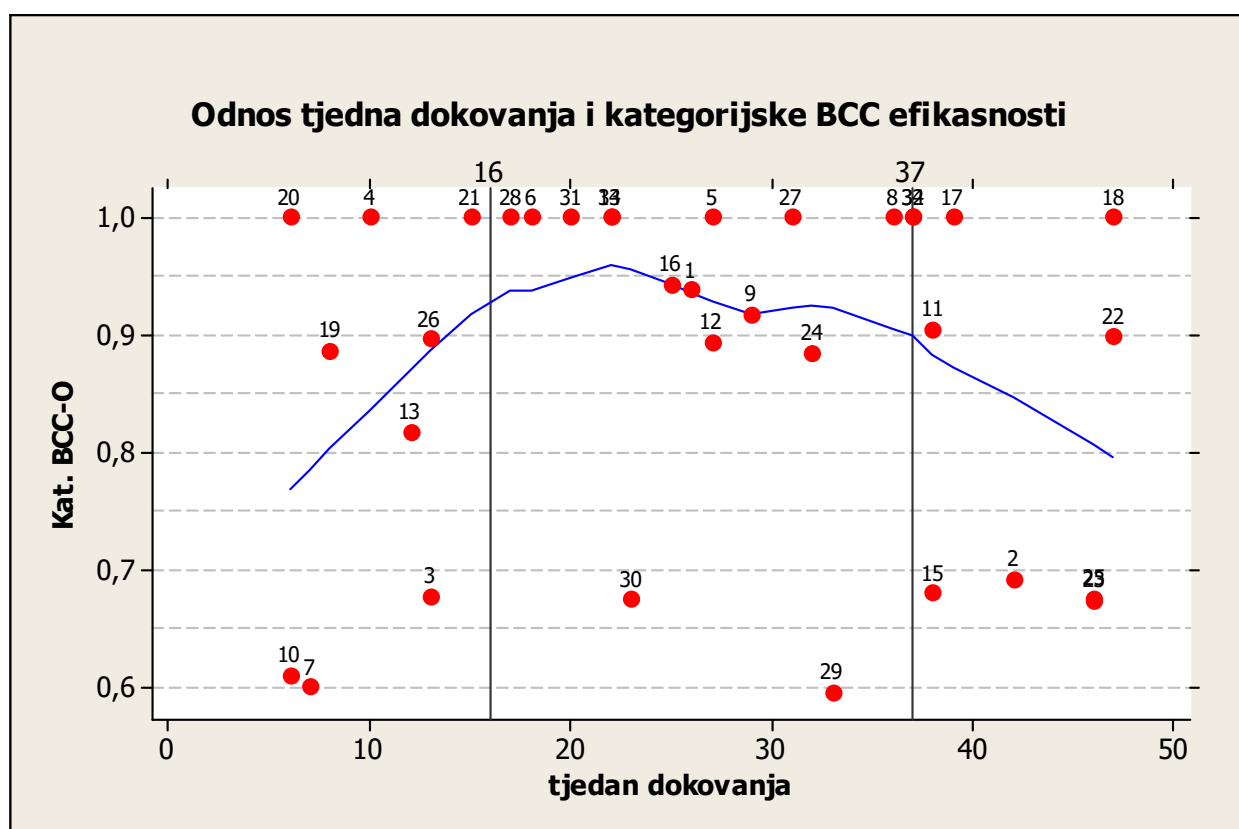
prikazu točkama i aproksimiranom izračunu ploha prema podacima koji su jednaki za sve slike (od **Slike 4-3** do **Slike 4-6**).



Slika 4-5. Odnos broja dana dokovanja, ukupnog troška dokovanja i super CCR-O

Odnos broja dana i ukupnog troška dokovanja u ovisnosti o efikasnosti prikazan na **Slici 4-5** koristi iste podatke kao i **Slike 4-3** i **4-4** i pokazuje pad iznosa efikasnosti s produljenjem dokovanja i povećanjem troškova, što je dobra indikacija za ocjenu dokovanja.

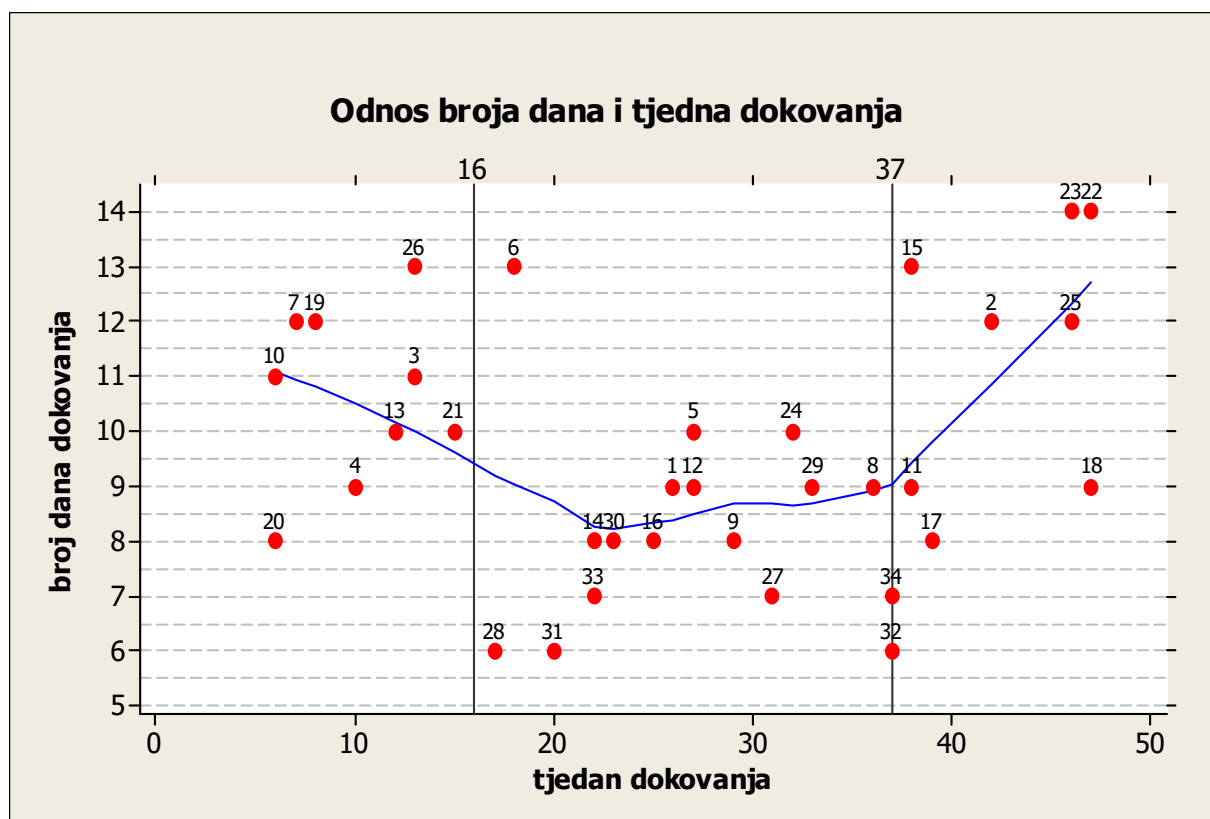
Sezonski utjecaj na izmjerenu efikasnost dokovanja promatranih brodova u odnosu na tjedan u godini u kojem je obavljeno dokovanje i efikasnost po kategorijskom BCC modelu prikazan je na **Slici 4-6**, gdje je vidljiv rast iznosa efikasnosti dokovanja za promatrane DO u razdoblju od 16-tog do 37-og tjedna u godini, što prikazuje krivulja srednjih vrijednosti iznosa efikasnosti po tjednima. Kategorijski BCC model odabran je zbog svojstva mjerenja lokalne efikasnosti i sposobnosti menadžmenta u transformaciji *inputa* u *outpute* te prvo uspoređuje kategorijom 1 one DO koji se nalaze izvan kategorije najboljih DO, a koji su svrstani u kategoriju 2.



Slika 4-6. Odnos tjedna dokovanja i iznosa kategorijske BCC efikasnosti.

Izvor: izračun autora, podaci iz **Tablice 4-39**, softver Minitab 15

Slika 4-7 prikazuje broj dana dokovanja za promatrane brodove, odnosno DO u odnosu na tjedan u godini u kojem je započeto dokovanje.



Slika 4-7. Odnos tjedna dokovanja i broja dana dokovanja. Izvor: izračun autora, podaci iz **Tablice 4-39**, softver Minitab 15

Tablica 4-40 prikazuje deskriptivnu statistiku podataka koji su korišteni za izradu **Slika 4-6 i 4-7**, s označenim brojem promatranih DO u intervalima od 16-og do 37-og tjedna (ljetni interval) i intervala u preostalom dijelu godine, koji je opisan intervalom od 37-og do 16-og tjedna (zimski interval).

Tablica 4-40. Deskriptivna statistika podataka, **Slike 4-9 i 4-10**

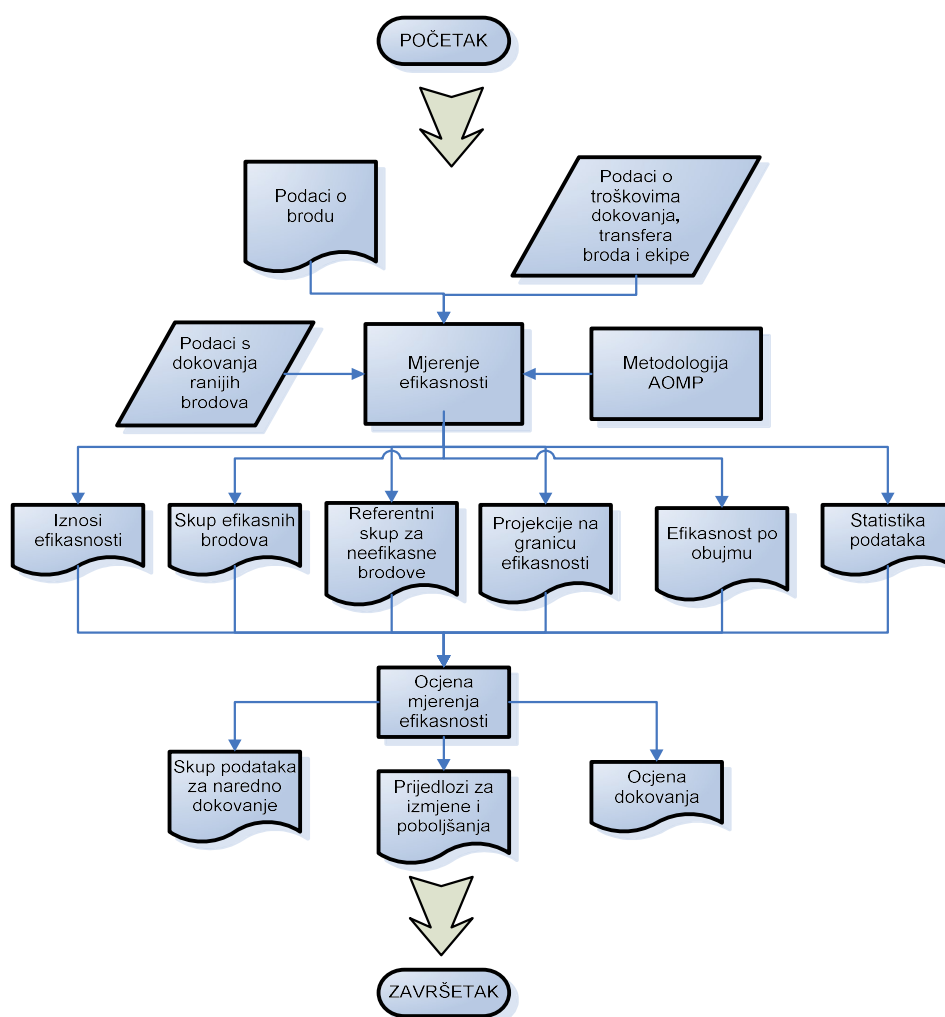
	interval 16-37 tjedan (ljetni)	interval 37-16 tjedan (zimski)
broj promatranih DO	17	17
sr. vrij. broja dana doka	8,24	11,00
st. dev. Broja dana doka	1,7864	1,9685
sr. vrij. efikasnosti kat. BCC	0,9322	0,8243
st. dev. kat. BCC efikasnosti	0,1198	0,1533

Izvor: izračun autora, podaci iz **Tablice 4-39**

Označeni interval od 16-og do 37-og tjedna u godini obuhvaća polovicu promatrane populacije brodova, prosječna efikasnost dokovanja iznosi 0,9322 i predstavlja orijentir za određivanje termina u kojem su rezultati dokovanja povoljniji. Prema prikazanim podacima najpovoljniji mjeseci za obavljanje dokovanja jesu travanj, svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz, bez obzira na mjesto dokovanja.

Prema dosad izvedenom modeliranju pothvata dokovanja broda u gradnji i izračunima usporedne efikasnosti u odnosu na jedanaest kriterija koji su organizirani u tri *inputa* i šest *outputa* i dobivenim rezultatima koji su provjereni uvođenjem dodatnih DO(X), dobiveni su rezultati efikasnosti pothvata dokovanja. Prepoznati su efikasni DO, koji su postali uzori neefikasnim DO, a za koje su kreirani referentni skupovi koji se sastoje od efikasnih DO. Za sve DO izračunate su apsolutne i relativne vrijednosti poboljšanja, koje se sastoje u povećanju *outputa* i smanjenju *inputa*, s naglaskom na povećanju *outputa*, što je u konkretnom slučaju ekvivalent smanjenju troškova. Slikoviti prikaz principa djelovanja modela za višekriterijsko mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji kada se dodaje novi DO (kao što je to ranije bio slučaj sa DO15X i DO18X) nalazi se u blok dijagramu prikazanom na **Slici 4-8**.

Postupak počinje prikupljanjem podataka za novi DO(X): a) tehničkih karakteristika brodova; b) troškova dokovanja i specifičnosti u odvijanju dokovanja; c) troškova transfera brodova do doka; d) troškova kašnjenja, bilo u transferu, bilo za vrijeme dokovanja; e) troškova posade. Koristeći metodologiju AOMP i skup ranije prikupljenih podataka za istorodne DO, provode se izračuni efikasnosti, izračuni projekcija neefikasnih DO te se stvaraju referentni skupovi za neefikasne DO. Dekompozicijom efikasnosti dobije se mjera efikasnosti s obzirom na opseg, radi analize uvjeta djelovanja i načina upravljanja procesom. Na kraju procesa daje se ocjena obzirom na rezultate izračuna te prijedlozi mjera za poboljšanje. U slučaju kada DO(X) dostigne granicu efikasnosti na način da je robusno pozicioniran u skupu podataka, postigne stanoviti broj pojavljivanja u referentnim skupovima i izmijeni broj i raspored efikasnih DO, može se reći da on postaje novim primjerom najbolje tehničke prakse i uzorom za poboljšanje.



Slika 4-8. Blok dijagram modela za mjerenje usporedne efikasnosti brodova u gradnji

5. ZAKLJUČAK

Problematika mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji istražena je u području prakse i standarda koji su primjenjivi u procesu dokovanja, dok je u području višekriterijskog odlučivanja istraženo područje operacijskih istraživanja. U znanstvenom području operacijskih istraživanja žarište interesa bilo je na višekriterijskim metodama odlučivanja, gdje je nakon suživanja izbora metoda odabrana metoda omeđivanja podataka koja koristi procesni pristup u kojem se parametri procesa dijele na *inpute* i *outpute*. Svojstva odabrane metode, koja se očituju u svojstvima neparametarskog pristupa i provedbe izračuna efikasnosti bez ekspertnog mišljenja o dodjeli težinskih koeficijenata kriterijima mjerenja efikasnosti, čine metodu analize omeđivanja podataka povoljnim izborom za izračune efikasnosti s minimalnim subjektivnim uplivom. Ekspertno mišljenje nužno je za opis procesa te odabir *inputa* i *outputa* procesa. Također je važno svojstvo spomenute metode da odnose procesnih *inputa* i *outputa* nije potrebno poznavati u eksplicitnom obliku.

Mjerenje usporedne efikasnosti je alat za upravljanje procesom. Na taj se način mogu uspoređivati istorodni pothvati, a rezultat mjerenja efikasnosti može se na pristupačan način interpretirati za potrebe menadžmenta tvrtke koja nadzire proces. Potrebno je istaknuti da metoda analize omeđivanja podataka u konkretnom slučaju djeluje s jedanaest kriterija za prosudbu efikasnosti, odnosno varijabli u *inputima* i *outputima* promatranog procesa. To je pokazano na primjeru dokovanja brodova u gradnji kao dijela brodograđevnog procesa. Važnost mjerenja efikasnosti dokovanja brodova u gradnji je u analizi podataka i ocjeni već obavljenih dokovanja, uočavanja nedostataka i poduzimanja aktivnosti za poboljšanje budućih dokovanja.

Ciljevi istraživanja smatraju se ispunjenima. Naime, uspostavljen je višekriterijski model mjerenja efikasnosti dokovanja broda u gradnji u obliku matematičkog modela koji koristi metodu analize omeđivanja podataka u koju su ugrađeni podaci procesa dokovanja broda u gradnji. *Inputi* i *outputi* procesa su kriteriji za odlučivanje.

Primjenom modela za mjerenje utvrđena je povezanost tehničkih i poslovnih parametara koji su u konačnici provjereni uvođenjem dodatnih entiteta/brodova u izračune efikasnosti. Uveden je kategorijski model u razmatranje posljedica povezanosti tehničkih i poslovnih parametara prikazanih modelom, a radi ujednačavanja kriterija procjene efikasnosti.

Identificirani su i opisani uzroci neefikasnosti procesa dokovanja brodova u gradnji, a dani su i prijedlozi mogućih rješenja.

Istraživanjem prakse i literature te korištenjem metode analize višekriterijskog odlučivanja, odabranom metodom *ex post* višekriterijskog odlučivanja potvrđena je osnovna hipoteza da je metodom višekriterijskog odlučivanja moguće napraviti model za mjerenje efikasnosti dokovanja brodova u gradnji.

Modeliranjem procesa dokovanja i prilagodbom metode analize omeđivanja podataka namjeni mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji, dobiveni su rezultati efikasnosti za 34 broda u gradnji te su uočeni primjeri najbolje tehničke prakse, odnosno efikasni brodovi promatranog skupa. Efikasni su brodovi postali uzori za poboljšanje neefikasnih brodova u referentnim skupovima za ciljana poboljšanja do postizanja stanja efikasnosti. Za neefikasne brodove proveden je izračun projekcija njihovih *outputa* za postizanje granice efikasnosti, a na taj način određeni su relativni i apsolutni iznosi poboljšanja koje je potrebno postići da bi se dostigla efikasnost dokovanja broda u gradnji, sve na temelju usporedbe s brodovima koji su i sami ostvarili efikasnost.

Razrada teme pokazala je da je mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja pogodno mjerilo dijela procesa gradnje broda, s obzirom da se na dokovanju mogu vidjeti slabosti iz ranijih faza procesa gradnje broda. Uzroci teškoća pri dokovanju leže u ranijim fazama gradnje broda, poglavito u dijelu procesa gradnje broda koji se odvija na navozu do porinuća broda, dok poboljšanja treba tražiti u novim tehničkim i tehnološkim rješenjima. Razrada teme također je pokazala važnost izbjegavanja praznih hodova i kašnjenja procesa, bilo dovršenjem broda prije dokovanja, bilo izbjegavanjem kašnjenja zbog čekanja pred dokom ili kašnjenja u doku. Potrebno je istaknuti da se primjenom tehničkih i tehnoloških rješenja može također skratiti vrijeme koje brod provede u doku, pritom ne gubeći iz žarišta interesa troškovnu stranu poduhvata.

Model mjerenja usporedne efikasnosti obogaćuje se svakim novim pothvatom dokovanja broda, te u slučaju postizanja efikasnosti postaje primjer najbolje tehničke prakse i pomiče granicu efikasnosti na višu razinu postajući tako primjer za poboljšavanje. U razradi teme dodavani su brodovi s planski izmijenjenim parametrima, na način da se potpuno ili djelomično uklone smetnje u procesu. Dodavanjem brodova s izmijenjenim parametrima provjeravalo se ponašanje višekriterijskog modela za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji. Provjerom rezultata

izračuna ponašanje modela u novim okolnostima je ocijenjeno korektnim. Istim postupkom pokazana je mogućnost izrade projekcija budućih pothvata koji mogu uključivati smetnje ili poboljšanja te se tako može procijeniti stanje radova na brodu ili pak efikasnost mjera koje se planiraju uvesti s ciljem poboljšanja procesa.

Iz završnih razmatranja rezultata primijenjenog modela može se uočiti važnost vremena koje je potrebno za obavljanje pothvata dokovanja broda u gradnji. Tijek vremena ima svoju važnost koja je naglašena u prikazu plana gradnje broda, gdje je dokovanje broda na kritičnom putu gradnje broda, s obzirom da po planu u tom vremenskom intervalu nema drugih planiranih aktivnosti. Važnost tijeka vremena očituje se i u troškovnoj strani *outputa* iz procesa, s obzirom da troškovi radne snage, najma doka, energije iz doka i troškovi kašnjenja proizlaze iz vremena proteklog za obavljanje aktivnosti na brodu u doku. Isto tako, jedinične cijene usluga i radova u doku imaju svoj značaj u mjeri troškova.

Može se zaključiti da svaki novi brod može biti efikasan ako menadžment uči iz podataka već obavljenih pothvata dokovanja, koji uključuju primjereno stanje gotovosti radova na brodu i pripreme za izvršenje pothvata dokovanja. Uz navedeno, remontna brodogradilišta trebaju biti pripremljena za prihvrat broda i obavljanje radova.

Uz vremenski tijek, jedinične cijene i plansku disciplinu za vrijeme gradnje broda, tehnička i tehnološka rješenja imaju svoj značaj u smanjenju vremena trajanja dokovanja i povećavanju usporedne efikasnosti na brodovima koji bi se mogli proučavati u budućnosti.

Moguća tehnička i tehnološka poboljšanja su:

- proces porinuća ostavlja tragove masti na vanjskoj oplati podvodno, što uzrokuje povećane troškove procesa bojenja u doku. Moguće rješenje je odabir druge vrste maziva.
- obrada ostataka potporne strukture za porinuće kao izvor troška u doku. Potrebno je tehničkim i tehnološkim mjerama izmijeniti način prihvata predmetne strukture na brodski trup, na način da se smanji količina posla u doku, a usporedno s izmjenom prihvata potporne strukture smanjuje se količina rada na čeliku i količina skele u doku.
- skraćivanje vremena za proces bojenja u doku. To je moguće postići smanjenjem broja premaza ili skraćivanjem međupremaznih intervala i intervala za uron broda u more nakon obavljenog bojenja. Za ova

poboljšanja potrebni su razvoj premaza i tehnologije njihovog nanošenja, što izlazi iz okvira brodogradilišta koje gradi brodove.

Moguća područja poboljšanja u dijelu organizacije i planiranja su:

- izbjegavanja čekanja pred dokom zbog vremenskih prilika ili nespremnosti doka uzrokuju trošak broda, posade i cijele organizacije poduhvata. Razdoblje čekanja pred dokom je vrijeme koje se u brodogradilištu moglo znatno efikasnije iskoristiti. Potrebno je planirati optimalne termine isplavljenja, primjerice vikendom.
- produljeno trajanje doka radi vremenskih prilika i/ili povećanog opsega radova, povećan trošak najma, energije i ekipe u doku. Potrebno je procjenjivati utjecaj vremenskih prilika i planirati u doku minimum potrebnih radova, dok dokovanje treba koristiti za nadoknadu zaostataka poslova samo iznimno.
- trošak zbog brojnosti posade u doku kao posljedica kašnjenja u ranijim fazama gradnje broda. Potrebno je smanjiti brojnost posade na brodu održavanjem planske i tehnološke discipline u cijelom procesu gradnje broda. Na brodu u doku potreban je optimum (koji je zapravo minimum) posade za obavljanje radova u doku i pripremu za pokusnu plovidbu.
- trošak ekipe u doku, koji prosječno iznosi 43,50% ukupnog troška pothvata dokovanja broda u gradnji i najveći je pojedinačni izvoz troška. Optimizacija opsega poslova i utroška radnog vremena kao parametra od presudnog je značaja za uspjeh pothvata.
- odvijanje svih aktivnosti po unaprijed zadanom planu kao preduvjet za uspjeh cijelog brodograđevnog procesa. Potrebno je naglasiti da je dokovanje aktivnost na kritičnom putu plana gradnje broda i svako kašnjenje utječe na termin primopredaje broda naručitelju, a za kompenzaciju mogućih kašnjenja potrebno je predvidjeti stanovito rezervno vrijeme u planu gradnje broda.

Primjena modela za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja brodova u gradnji moguća je u brodogradilištima koja dokuju svoje novogradnje, a u cilju procjene efikasnosti ranijih dokovanja brodova u gradnji i mogućih poboljšanja za buduće brodove.

Uz stanovite izmjene, primjerice uvođenjem utjecaja starosti, kvalitete posade i zaposlenosti broda, moguće je izraditi model za praćenje dokovanja brodova u službi, što bi moglo biti zanimljivo organizacijama koje se bave menadžmentom flote brodova. Kako su to obično flote brodova jednake namjene, rezultati bi mogli biti zanimljivi po pitanjima optimizacije održavanja, remonta i dokovanja.

Povećanje broja kategorija u modelu analize omeđivanja podataka može doprinijeti fokusiranju na određenu kategoriju brodova, a u širem smislu kategoriju proizvoda.

Proširenja modela mjerenja usporedne efikasnosti dokovanja moguća su u području korištenja mrežnog modela metode analize omeđivanja podataka koristeći *outpute* iz jednog dijela procesa kao *inpute* u drugi dio procesa, na taj način proučavajući međuovisnosti procesa, i nužno, organizacije koja obavlja proces.

Buduća istraživanja mogla bi ići u smjeru razrade modela za mjerenje efikasnosti proizvodnih procesa raznih vrsta, s obzirom da metoda AOMP nudi velik broj modela za mjerenje efikasnosti i rangiranje entiteta koji se promatraju, a zahvaljujući neparametarskom pristupu u procjeni efikasnosti moguća je uporaba podataka različitih vrsta, dok povezanost *inputa* i *outputa* promatranog procesa ne mora biti eksplicitno izražena.

Proširenje modela moguće je za mjerenje efikasnosti organizacija u dijelu indirektno mjerljivih parametara kao što su: a) postotak izvršenja plana; b) stopa bolovanja; c) trošak nesukladnosti; d) trošak održavanja postrojenja; e) strojni park kojim se proizvodni proces izvodi; f) kašnjenje materijala; g) greške tehničke i tehnološke dokumentacije. Uobičajena su, i ne manje važna, mjerenja produktivnosti u obliku utrošaka radnog vremena po jedinici proizvoda. Međutim, nepovoljni iznosi produktivnosti mogu sadržavati dublje uzroke koje metoda analize omeđivanja podataka može lokalizirati radi daljnjeg ispitivanja uzroka.

Metoda analize omeđivanja podataka može biti dobar način za pronalaženje primjera najbolje tehničke prakse, lokaliziranje uzroka neefikasnosti i prijedloga poboljšanja, a rezultati korištenih modela mogu biti pokazatelj stanja procesa koji se proučava i mjeri.

LITERATURA

- [1] Adler, N., Friedman, L., & Sinuany-Stern, Z. (2002). Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European journal of operational research*, 140(2), 249-265.
- [2] Ahn, T., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1988). *A Note on the Efficiency Characterizations Obtained in Different DEA (data Envelopment Analysis) Models* (No. CCS-RR-584). Texas Univ. at Austin, Center for Cybernetics Studies.
- [3] Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, 6(1), 21-37.
- [4] America Bureau of Shipping. *Guide for Hull Survey for New Construction*, August 2007/February 2014, America Bureau of Shipping, 2007
- [5] Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management science*, 39(10), 1261-1264.
- [6] Apostolidis, A., Kokarakis, J., & Merikas, A. (2012). Modeling the Dry-Docking Cost- The Case of Tankers. *Journal of Ship Production and Design*, 28(3), 134-143.
- [7] Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43. <https://doi.org/10.12691/ajis-1-1-5>
- [8] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- [9] Banker, R. D., & Morey, R. C. (1986). The use of categorical variables in data envelopment analysis. *Management science*, 32(12), 1613-1627.
- [10] Belamarić, B. (2009). Analiza modela za određivanje stanja oplakane površine broda. *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike*, 60(3), 275-289.
- [11] Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media.
- [12] Boussofiane, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 52(1), 1-15.

- [13] Bowlin, W. F. (1998). Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis*, 15(2), 3-27.
- [14] Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management science*, 31(6), 647-656.
- [15] Butler, D. (2012). *A Guide to Ship Repair Estimates in Man-hours*. Butterworth-Heinemann.
- [16] Charnes, A., Cooper, W. W. (1961). *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, Vol. I & II, John Wiley & Sons, New York.
- [17] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- [18] Charnes, A., Cooper, W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1994). *Data Envelopment Analysis Theory, Methodology and Applications*. Kluwer Academic Publishers.
- [19] Chudasama, K. M. (2016). Efficiency appraisal of Indian shipyards using data envelopment analysis. *International Journal of Research in Social Sciences*, 6(12), 223-241.
- [20] Coelli, T. J., Rao, D. S. P., & Battese, G. E. (1998). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
- [21] Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer Science & Business Media.
<https://doi.org/10.1007/b136381>
- [22] Cook, W. D., Tone, K., & Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1-4.
- [23] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/0-387-29122-9>

- [24] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. In *Handbook on data envelopment analysis* (pp. 1-39). Springer, Boston, MA.
- [25] Dev, A. K., & Saha, M. (2015). Modeling and analysis of ship repairing time. *Journal of Ship Production and Design*, 31(2), 129-136.
- [26] Dev, A. K., & Saha, M. (2016). Modeling and Analysis of Ship Repairing Labor. *Journal of Ship Production and Design*, 32(4).
- [27] Dev, A. K., & Saha, M. (2018). Dry-docking time and labour. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MARITIME ENGINEERING*, 160, A337-A379.
- [28] Drucker, P. F., Armour, M., & Tudor, G. (2005). *Najvažnije o menadžmentu: izbor iz radova o menadžmentu Petera F. Druckera*. MEP Consult.
- [29] Dunleavy, P. (2005). Kako napisati disertaciju: Kako planirati, skicirati, pisati i dovršiti doktorsku disertaciju, Zagreb: *Fakultet političkih znanosti sveučilišta, (prijevod)*
- [30] Dyson, R. G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S., & Shale, E. A. (2001). Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of operational research*, 132(2), 245-259.
- [31] Emrouznejad, A., & Yang, G. L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8.
- [32] Eyres, D. J. (2001). *Ship Construction*. Butterworth-Heinemann.
- [33] Farrel, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, Part 3*.
- [34] Farris, J. A., Groesbeck, R. L., Van Aken, E. M., & Letens, G. (2006). Evaluating the relative performance of engineering design projects: A case study using data envelopment analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53(3), 471-482.
- [35] Friedman, L., & Sinuany-Stern, Z. (1998). Combining ranking scales and selecting variables in the DEA context: The case of industrial branches. *Computers & Operations Research*, 25(9), 781-791.

- [36] Goepel, K. D. (2018). Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- [37] Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237-250.
- [38] Golany, B., & Roll, Y. (1994). Incorporating standards via DEA. In *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications* (pp. 313-328). Springer, Dordrecht
- [39] Hadad, Y., & Hanani, M. Z. (2011). Combining the AHP and DEA methodologies for selecting the best alternative. *International journal of logistics systems and management*, 9(3), 251-267.
- [40] Hrvatsko društvo za operacijska istraživanja (HDOI)(1994), Brošura, Zagreb
- [41] Heger Dry Dock Inc. (2005). Dockmaster Training Manual
- [42] House, D. (2015). *Dry Docking and Shipboard Maintenance: A Guide for Industry*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315694078>
- [43] Hrvatski registar brodova (2009). Pravila za obavljanje pokusne plovidbe (NN65/2009)
- [44] Hwang, C.L., Yoon, K., (1981). *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*. Springer, Berlin – Heidelberg, p. 225.
- [45] IMO. International Convention for the Safety of Life at Sea ([SOLAS](https://www.imo.org)), 1974, as amended, pristupljeno 28.7.2020. <http://www.imo.org>
- [46] IMO. Survey Guidelines under the Harmonized System of Survey and Certification (HSSC), (resolution A.1120(30)), pristupljeno 28.7.2020. <http://www.imo.org>
- [47] International Association of the Classification Societies. *Recommendation 47 Rev.08 Shipbuilding and Repair Quality Standard*, International Association of the Classification Societies, Oct. 2017. <http://www.iacs.org.uk/publications/recommendations/41-60/rec-47-rev8-cln/> pristupljeno 29.6.2020.
- [48] International Association of the Classification Societies. *Unified Requirements Z3, Periodical Survey of the Outside of the Ship's Bottom and Related Items Rev.8;*

- (Apr.2019) <http://www.iacs.org.uk/publications/unified-requirements/ur-z/ur-z3-rev8-cln/> pristupljeno 18.08.2020.
- [49] ISO 8501: Corrosion Protection of Steel Structures by Painting; International Standard Organization (1988) with Ammendmens; www.iso.org pristupljeno: 23.08.2020.
- 8501-1:2007; Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings
 - 8501-2:1994; Part 2: Preparation grades of previously coated steel substrates after localized removal of previous coatings
 - 8501-3:2006; Part 3: Preparation grades of welds, cut edges and other areas with surface imperfections
 - 8501-4:2006; Part 4: Preparation grades of coated and uncoated steel substrates after removal
- [50] Jain, S., Triantis, K. P., & Liu, S. (2011). Manufacturing performance measurement and target setting: A data envelopment analysis approach. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 616-626.
- [51] Jacobs, R., Smith, P. C., & Street, A. (2006). *Measuring efficiency in health care: analytic techniques and health policy*. Cambridge University Press.
- [52] Kahraman, C. (Ed.). (2008). *Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments* (Vol. 16). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-76813-7>
- [53] Kaune, J. E. (1976). The Art of Drydocking. *Naval Engineers Journal*, 88(4), 51-62. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1976.tb05236.x>
- [54] Korhonen, P. J., Wallenius, J. (2020). Making Better Decisions. *International Series in Operational Research & Management Science* 294, Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49459-9>
- [55] Krishnan, S. N. (2012). A scientific approach to measure shipbuilding productivity. *Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India*, 8(1), 136-149.

- [56] Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.
- [57] Kumar, S., & Gulati, R. (2008). An examination of technical, pure technical, and scale efficiencies in Indian public sector banks using data envelopment analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 1(2), 33-69.
- [58] Liu, W. B., Meng, W., Li, X. X., & Zhang, D. Q. (2010). DEA models with undesirable inputs and outputs. *Annals of Operations Research*, 173(1), 177-194.
- [59] Lee, J. S. (2013). Directions for the sustainable development of Korean small and medium sized shipyards. *The Asian journal of shipping and logistics*, 29(3), 335-360.
- [60] Lovell, C. K., Pastor, J. T., & Turner, J. A. (1995). Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries. *European journal of operational research*, 87(3), 507-518.
- [61] Lukač, Z., Neralić, L. (2012) *Operacijska istraživanja*, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu; Element, Zagreb.
- [62] Mayo, G., Shoghli, O., & Morgan, T. (2020). Investigating Efficiency Utilizing Data Envelopment Analysis: Case Study of Shipyards. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(2), 04020013. DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000541
- [63] Meeusen, W., & van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International economic review*, 435-444.
- [64] Mortimer, D. (2002). Competing methods for efficiency measurement: a systematic review of direct DEA vs SFA/DFA comparisons.
- [65] NACE/SSPC. *Joint Surface Preparation Standard NACE no.1/SSPC-SP5 White Metal Blast Cleaning*, NACE International, SSPC The Society for Protective Coatings, (1999)
- [66] Naffisah, M. S., Surjandari, I., Rachman, A., & Palupi, R. (2014). Estimation of dry docking maintenance duration using artificial neural network. *International Journal of Computing, Communications & Instrumentation Engineering (IJCCIE)*, 1(1), 113-115.

- [67] Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- [68] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)(2007), Compensated Gross Ton (CGT) System 2007. *Council Working party on Shipbuilding, OECD, 2007*.
- [69] Park, S. H. (2010). Efficiency and productivity of seven large-sized shipbuilding firms in Korea. *Journal of Korea Port Economic Association*, 26(4), 188-206.
- [70] Park, J., Lee, D., & Zhu, J. (2014). An integrated approach for ship block manufacturing process performance evaluation: Case from a Korean shipbuilding company. *International journal of production economics*, 156, 214-222.
- [71] Pires Jr, F. C., & Lamb, T. (2008). Establishing performance targets for shipbuilding policies. *Maritime Policy & Management*, 35(5), 491-502.
- [72] Pires Jr, F., Lamb, T., & Souza, C. (2009). Shipbuilding performance benchmarking. *International journal of business performance management*, 11(3), 216-235.
- [73] Qin, X. S., Huang, G. H., Chakma, A., Nie, X. H., & Lin, Q. G. (2008). A MCDM-based expert system for climate-change impact assessment and adaptation planning—A case study for the Georgia Basin, Canada. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 2164-2179.
- [74] Rabar, D. (2015). Setting key performance targets for Croatian shipyards. *Croatian Operational Research Review*, 6(1), 279-291.
- [75] Rickards, R. C. (2003). Setting benchmarks and evaluating balanced scorecards with data envelopment analysis. *Benchmarking: An International Journal*.
- [76] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
[https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- [77] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
- [78] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

- [79] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- [80] San Cristóbal, J. R. (2015). A Cost Forecasting model for a Vessel drydocking. *Journal of Ship Production and Design*, 31(1), 58-62. JSPD-2012-28-4-160 SNAME Journal Paper - 2012
- [81] Sarkis, J. (2000). A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool. *European journal of operational research*, 123(3), 543-557.
- [82] Sarkis, J. (2007). Preparing your data for DEA. In *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis* (pp. 305-320). Springer, Boston, MA
- [83] Surjandari, I., & Novita, R. (2013, January). Estimation model of dry docking duration using data mining. In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* (No. 79, p. 1713). World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET).
<https://waset.org/publications/16513/estimation-model-of-dry-docking-duration-using-data-mining>
- [84] Surjandari, I., Dhini, A., Rachman, A., & Novita, R. (2015). Estimation of dry docking duration using a numerical ant colony decision tree. *International Journal of Applied Management Science*, 7(2), 164-175 <https://doi.org/10.1504/IJAMS.2015.069264>
- [85] Thanassoulis, E., & Silva, M. C. A. (2018). Measuring efficiency through data envelopment analysis. *Impact*, 2018(1), 37-41.
- [86] Townsin, R. L. (2003). The ship hull fouling penalty. *Biofouling*, 19(S1), 9-15.
- [87] Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (pp. 5-21). Springer, Boston, MA.
- [88] Triantis, K. P. (2011). Engineering applications of data envelopment analysis. In *Handbook on data envelopment analysis* (pp. 363-402). Springer, Boston, MA.
- [89] US Department of Defense, (1988). Military Handbook, Drydock Facilities Handbook. MIL – HDBK – 1029/3
- [90] US Department of Defense, (1991). Military Handbook, Drydock Timbers and Blocks, Strength Properties of. MIL – HDBK – 826(SH)

- [91] Van Dokkum, K. (2003). Ship Knowledge–A modern encyclopedia. *Published by: DOKMAR, PO Box 360, 1600 AJ Enkhuizen, ISBN: 90-806330-2-X, Copyright 2003, DOKMAR.*
- [92] Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International journal of operations research*, 10(2), 56-66.
- [93] Vitner, G., Rozenes, S., & Spraggett, S. (2006). Using data envelope analysis to compare project efficiency in a multi-project environment. *International Journal of Project Management*, 24(4), 323-329.
- [94] Wang, Y. M., Liu, J., & Elhag, T. M. (2008). An integrated AHP–DEA methodology for bridge risk assessment. *Computers & industrial engineering*, 54(3), 513-525.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.09.002>
- [95] Web stranica: <https://www.vesselfinder.com/vessels>, pristupljeno 4.1.2020.
- [96] Web stranica: <https://www.hempel.hr/> pristupljeno 30.7.2020.
- [97] Web stranica: <https://www.ifors.org/what-is-or/>, *International Federation of Operational Research Societies*. pristupljeno 4.8.2020.
- [98] Web stranica: <https://bpmsg.com/ahp/>, AHP-OS on-line software, pristupljeno 28.2.2021
- [99] Yaisawarng, S., & Klein, J. D. (1994). The effects of sulfur dioxide controls on productivity change in the US electric power industry. *The Review of Economics and Statistics*, 447-460.
- [100] Yang, Y. O., & Wang, G. F. (2017). Analysis of the Efficiency of Chinese Repair Shipbuilding Industry. *Journal of Korea port Economic Association*, 33(4), 117-134.
- [101] Zelenika, R. (1998). Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog dijela, treće dopunjeno i izmijenjeno izdanje. *EF u Rijeci, Rijeka*.
- [102] Zhang, G., & Liu, H. (2014). Ship Building Production in Jiangsu Province Based on DEA Efficiency Analysis. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management* (pp. 541-549). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [103] Zhu, J. (2015). DEA based benchmarking models. In *Data envelopment analysis* (pp. 291-308). Springer, Boston, MA.

POPIS OZNAKA I POKRATA

Popis oznaka:

A	matrica usporedbe kriterija, AHP
$BCC-I$	BCC model s usmjerenjem na <i>inpute</i> , AOMP
$BCC-O$	BCC model s usmjerenjem na <i>outpute</i> , AOMP
$CCR-I$	CCR model s usmjerenjem na <i>inpute</i> , AOMP
$CCR-O$	CCR model s usmjerenjem na <i>outpute</i> , AOMP
C_{CrAn}	trošak posade na sidru (čekanje), novčana jedinica
C_{CR}	trošak posade u transferu, novčana jedinica
C_{CRD}	dnevni trošak posade u doku, novčana jedinica
C_m	kriterij odluke, za m -ti kriterij, AHP
CR	omjer konzistentnosti, AHP
C_{TR}	trošak transfera broda, novčana jedinica
C_{TT}	trošak transfera i kašnjenja, novčana jedinica
$\check{C}TE$	čista tehnička efikasnost, AOMP
DO	donositelj odluke, AOMP
DO_o	donositelj odluke koji se ocjenjuje
E_o	referentni skup entiteta DO_o , AOMP
GT	bruto tonaža broda
L_{rez}	duljina potporne strukture koja se reže
m	broj <i>inputa</i> , AOMP
n	broj donositelja odluke, AOMP
n_{dd}	broj dana kašnjenja dokovanja (dani prekoračenja plana)
PO	vrijednost skaliranog <i>outputa</i> , AOMP
PR	vrijednost projekcije skaliranog <i>outputa</i> na granicu efikasnosti, AOMP
RI	slučajni indeks nekonzistencije, AHP
s	broj <i>outputa</i> , AOMP
s^-	višak <i>inputa</i> , usmjerenje na <i>inpute</i> , AOMP
s^+	manjak <i>inputa</i> , usmjerenje na <i>inpute</i> , AOMP
SE, EO	efikasnost po opsegu, engl. scale efficiency, AOMP
t^-	višak <i>inputa</i> , usmjerenje na <i>outpute</i> , AOMP
t^+	manjak <i>inputa</i> , usmjerenje na <i>outpute</i> , AOMP

TE	tehnička efikasnost, AOMP
X	<i>matrica inputa, AOMP</i>
x_j	vektor inputa, AOMP
$\hat{x}_o$	projekcija na granicu efikasnosti po osi x , AOMP
Y	matrica outputa, AOMP
y_j	vektor outputa, AOMP
$\hat{y}_o$	projekcija na granicu efikasnosti po osi y , AOMP
W	težinski vektor, AHP
w_{A_i}	sveukupna težina pojedine alternative, AHP
z	broj alternativa, AHP

Grčka slova:

δ_{max}	vrijednost vektora prioriteta, maksimalna, AHP
λ	vektor težina, AOMP
μ	vektor težina, usmjerenje na <i>outpute</i> , AOMP
θ	iznos efikasnosti modela usmjerenog na <i>inpute</i> , AOMP
η	iznos efikasnosti modela usmjerenog na <i>outpute</i> , AOMP
θ^*	optimalna vrijednost funkcije cilja, usmjerenje na <i>inpute</i> , AOMP
η^*	optimalna vrijednost funkcije cilja, usmjerenje na <i>outpute</i> , AOMP

Popis pokrata:

ABS	American Bureau of Shipping, klasifikacijska ustanova
AHP	Analytic Hierarchy Process
AOMP	Analiza omeđivanja podataka
BCC	Banker, Charnes i Cooper
CCR	Charnes, Cooper i Rhodes
CRS	Constant Return to Scale
ChT	Chemical Tanker, brod za prijevoz tekućeg tereta i kemikalija
DEA	Data Envelopment Analysis, analiza omeđivanja podataka
DMU	Decision Making Unit
DO	donositelj odluke
engl.	engleski jezik

HDOI	Hrvatsko društvo za operacijska istraživanja
HRB	Hrvatski registar brodova
IACS	International Association of Classification Societies
IFORS	International Federation of the Operational Research Societies
IMO	International Maritime Organization
ISO	International Organization for Standardization
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
NACE	National Association of Chemical Engineers
NN	Narodne novine, službeno glasilo Republike Hrvatske
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OR	Operational Research
PCTC	Pure Car and Truck Carrier, brod za prijevoz automobila
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
SAW	Simple Additive Weighting
SFA	Stochastic Frontier Analysis
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
SSPC	The Society for Protective Coatings
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TSHD	Trailing Suction Hopper Dredger, brod –usisno jaružalo
US DoD	United States Department of Defence
VIKOR	Višekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Rešenje
VRS	Variable Return to Scale

POPIS SLIKA I TABLICA

Popis slika:

- Slika 1-1.** Prikaz tijeka pregleda dosadašnjih istraživanja,
- Slika 2-1.** Brod u suhom doku, pramčani dio,
- Slika 2-2.** Brod u suhom doku, krmeni dio,
- Slika 2-3.** Plutajući dok u uronjenom stanju,
- Slika 2-4.** Brod u plutajućem doku, pogled na pramac,
- Slika 2-5.** Brod u plutajućem doku, pogled na krmu,
- Slika 2-6.** Izgled potporne strukture broda na navozu prikaz 1,
- Slika 2-7.** Izgled potporne strukture broda na navozu, prikaz 2,
- Slika 2-8.** Izgled površine nakon rezanja potporne strukture i brušenja površine,
- Slika 2-9.** Izgled navarenih oštećenja,
- Slika 2-10.** Opjeskarena površina spremna za bojanje,
- Slika 2-11.** Izgled vanjske oplata nakon premaza flekanjem,
- Slika 2-12.** Izgled broda spremnog za izdokovanje, pramčani dio,
- Slika 2-13.** Izgled broda spremnog za izdokovanje, krmeni dio,
- Slika 3-1.** AHP metoda, prikaz hijerarhije ciljeva, kriterija i alternativa
- Slika 3-2.** Međuodnosi inputa, outputa i DO
- Slika 3-3.** Primjer s jednim inputom i jednim outputom
- Slika 3-4.** Slučaj jednog inputa i jednog outputa, CCR i BCC efikasnost
- Slika 3-5.** Određivanje efikasnosti po metodi AOMP, blok dijagram
- Slika 4-1.** Postupak za mjerenje usporedne efikasnosti dokovanja
- Slika 4-2.** Odvijanje procesa ispitivanja efikasnosti
- Slika 4-3.** Odnos broja dana dokovanja i CCR-O super efikasnosti
- Slika 4-4.** Odnos ukupnog troška poduhvata dokovanja i CCR-O super efikasnosti
- Slika 4-5.** Odnos broja dana dokovanja, ukupnog troška dokovanja i super CCR-O
- Slika 4-6.** Odnos tjedna dokovanja i iznosa kategorijske BCC efikasnosti
- Slika 4-7.** Odnos tjedna dokovanja i broja dana dokovanja
- Slika 4-8.** Blok dijagram modela za mjerenje usporedne efikasnosti brodova u gradnji

Popis tablica:

Tablica 3-1. Prednosti i ograničenja metoda višekriterijskog odlučivanja

Tablica 3-2. Rezultati odabira metode mjerenja usporedne efikasnosti

Tablica 3-3. Podaci za primjer mjerenja efikasnosti

Tablica 3-4. Slučaj s jednim inputom i jednim outputom, s iznosima efikasnosti s obzirom na opseg za usmjerenje na inpute i usmjerenje na outpute

Tablica 3-5. Referentni skup za BCC model, usmjerenje na outpute

Tablica 3-6. Referentni skup za BCC model, usmjerenje na inpute

Tablica 4-1. Deskriptivna statistika inputa i outputa uključenih u model AOMP,

Tablica 4-2. Rezultati modela CCR, usmjerenje na outpute

Tablica 4-3. Deskriptivna statistika obrade po CCR, usmjerenje na outpute

Tablica 4-4. DO18, projekcije na granicu efikasnosti, CCR model

Tablica 4-5. Usporedba efikasnih DO i deskriptivne statistike

Tablica 4-6. Razlike između podataka DO18 i DO18X

Tablica 4-7. Rezultati modela CCR, sa DO18X

Tablica 4-8. deskriptivna statistika obrade po CCR, sa DO18X

Tablica 4-9. Rezultati modela BCC, usmjerenje na outpute

Tablica 4-10. Deskriptivna statistika, BCC model, usmjerenje na outpute

Tablica 4-11. DO18, projekcije na granicu efikasnosti, BCC model,

Tablica 4-12. Rezultati modela BCC, sa DO18X,

Tablica 4-13. Deskriptivna statistika, BCC model DO18X,

Tablica 4-14. Učestalost efikasnih DO u referentnim skupovima, CCR i BCC,

Tablica 4-15. Podaci efikasnosti po obujmu,

Tablica 4-16. Deskriptivna statistika podataka Tablice 8, efikasnost po obujmu,

Tablica 4-17. Deskriptivna statistika podataka kategorijskog modela,

Tablica 4-18. Rezultati kategorijskog CCR modela usmjerenog na outpute,

Tablica 4-19. Deskriptivna statistika rezultata, kategorijski CCR model,

Tablica 4-20. Učestalost u referentnom skupu, kategorijski CCR model,

Tablica 4-21. Projekcije DO15, kategorijski CCR model,

Tablica 4-22. Usporedba podataka za DO15 i DO15X

Tablica 4-23. Rezultati kategorijskog CCR modela, DO15X

Tablica 4-24. Deskriptivna statistika rezultata, kategorijski CCR model, DO15X

Tablica 4-25. Projekcije DO15X, kategorijski CCR model

Tablica 4-26. Rezultati kategorijskog BCC modela usmjerenog na outpute

Tablica 4-27. Deskriptivna statistika, kategorijski BCC model

Tablica 4-28. DO15 projekcije na granicu efikasnosti, kategorijski BCC model

Tablica 4-29. Učestalost u referentnim skupovima, kategorijski BCC model

Tablica 4-30. Rezultati kategorijskog BCC modela, DO15X

Tablica 4-31. Deskriptivna statistika rezultata, kategorijski BCC model, DO15X

Tablica 4-32. Projekcije DO15X, kategorijski BCCR model

Tablica 4-33. Efikasnost po opsegu, kategorijski model

Tablica 4-34. Deskriptivna statistika, kategorijski model CCR i BCC

Tablica 4-35. Rang lista najefikasnijih DO

Tablica 4-36. Iznosi efikasnosti, super efikasnost CCR, usporedba s CCR

Tablica 4-37. Deskriptivna statistika rezultata, CCR i super CCR modeli

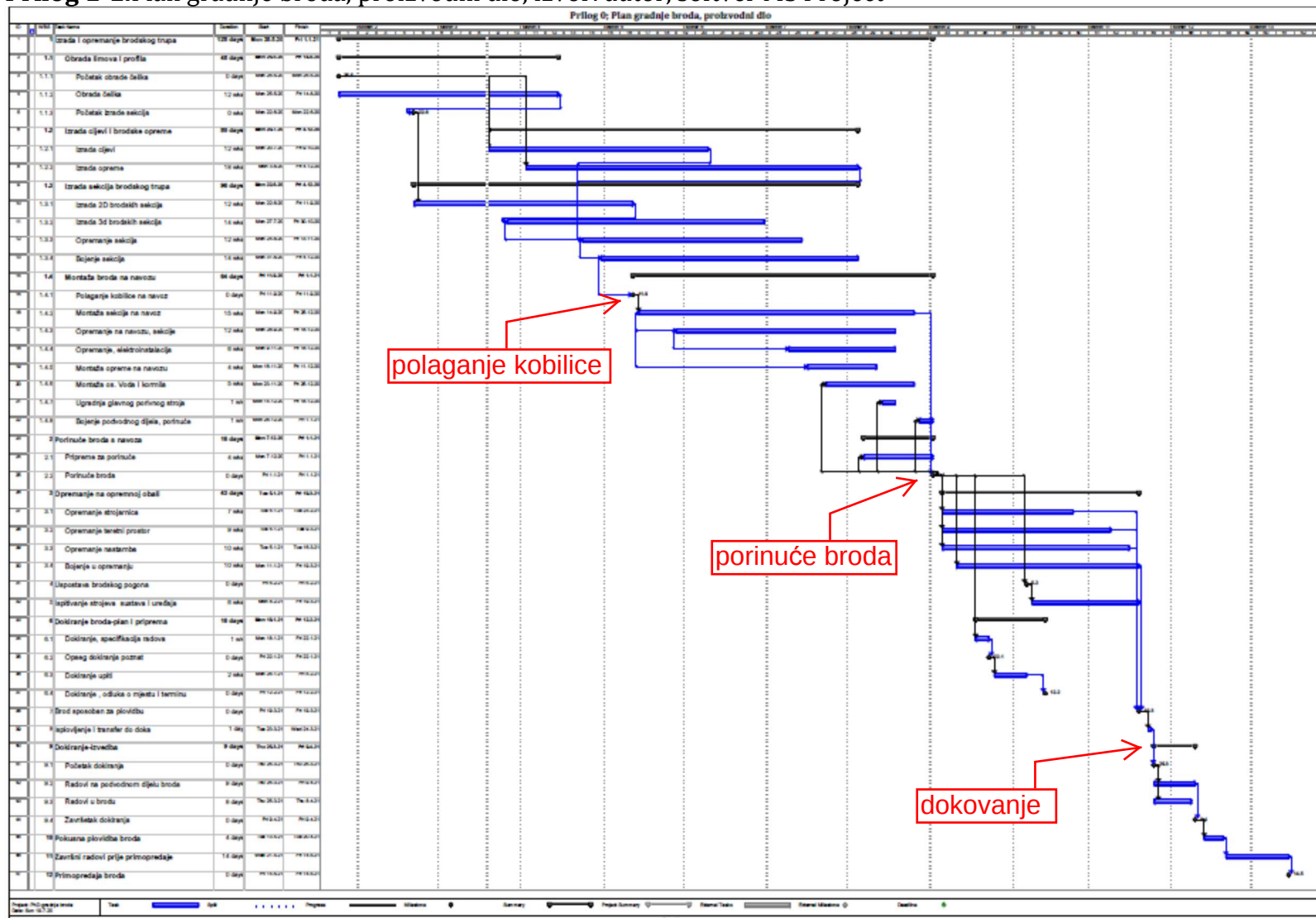
Tablica 4-38. Struktura troškova poduhvata dokovanja,

Tablica 4-39. Rezultati mjerenja efikasnosti,

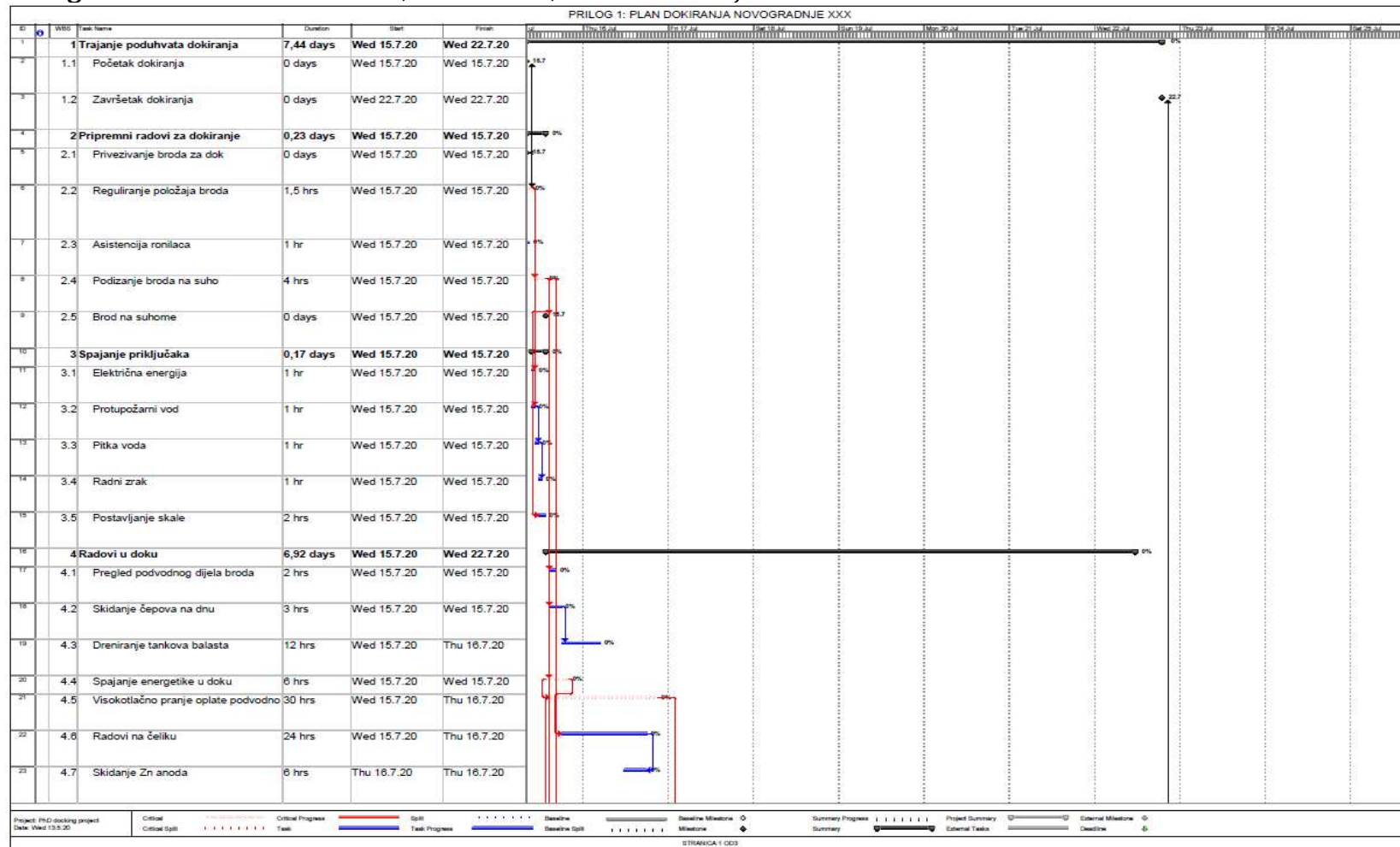
Tablica 4-40. Učestalost pojavljivanja DO u referentnim skupovima

PRILOZI

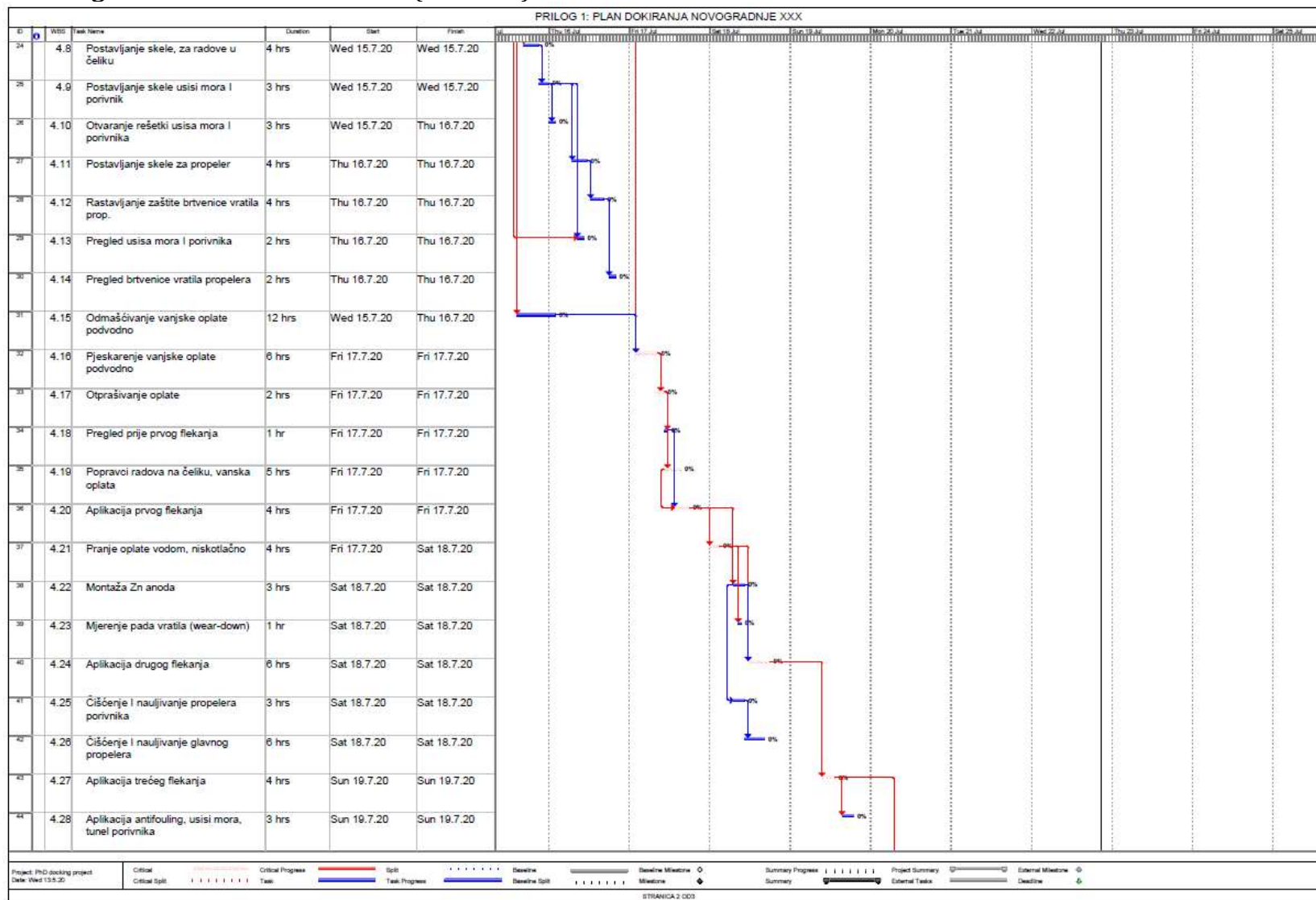
Prilog 1-1. Plan gradnje broda, proizvodni dio, izvor: autor, softver MS Project



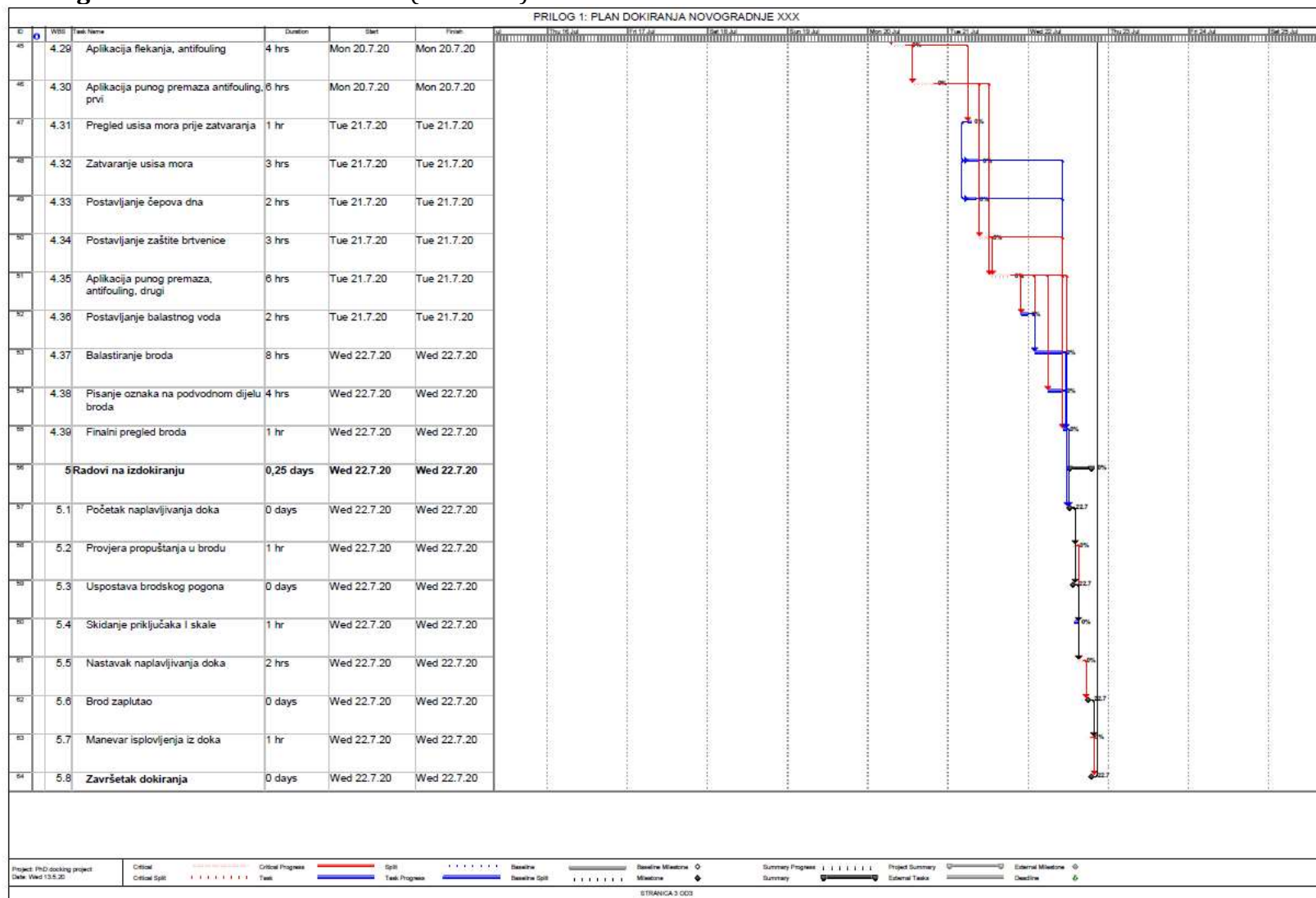
Prilog 2-1. Plan aktivnosti u doku, izvor: autor, softver MS Project



Prilog 2-1. Plan aktivnosti u doku (nastavak)



Prilog 2-1. Plan aktivnosti u doku (nastavak)



Prilog 3-1. Matrica uporedbe kriterija, metoda AHP**Matrica usporedbe kriterija (a_{ij})**

Kriteriji:	1	2	3	4	Prioritet:
1 = IN-OUT	1	3	5	3	0,499113
2 = TEZINA	0,33	1	5	3	0,286207
3 = PODACI	0,2	0,2	1	0,25	0,060176
4 = SUBJ	0,33	0,33	4	1	0,154504
				$\Sigma=$	1

Izvor:autor

Prilog 3-2. Matrica uporedbe kriterija i alternativa, metoda AHP
Kriterij: IN-OUT
Matrica usporedbe kriterija IN-OUT i alternativa (w_{ij})

Alternative:	1	2	3	4	5	6	7
1 = GP	1	0,11	0,2	0,33	0,33	1	0,33
2 = DEA	9	1	5	9	9	9	9
3 = SFA	5	0,2	1	5	5	7	5
4 = AHP	3	0,11	0,2	1	3	3	3
5 = TOP/VIK	3	0,11	0,2	0,33	1	3	1
6 = SAW	1	0,11	0,14	0,33	0,33	1	0,33
7 = PROMETHEE	3	0,11	0,2	0,33	1	3	1

CR=0,074816

Kriterij: TEZINA
Matrica usporedbe kriterija TEZINA i alternativa (w_{ij})

Alternative:	1	2	3	4	5	6	7
1 = GP	1	0,11	0,14	1	1	1	1
2 = DEA	9	1	9	9	9	9	9
3 = SFA	7	0,11	1	5	5	5	5
4 = AHP	1	0,11	0,2	1	3	3	1
5 = TOP/VIK	1	0,11	0,2	0,33	1	3	1
6 = SAW	1	0,11	0,2	0,33	0,33	1	0,33
7 = PROMETHEE	1	0,11	0,2	1	1	3	1

CR=0,085967

Prilog 3-2. Matrica uporedbe kriterija i alternativa, metoda AHP (nastavak)**Kriterij: PODACI****Matrica usporedbe kriterija PODACI i
alternativa (w_{ij})**

Alternative:
1 = GP
2 = DEA
3 = SFA
4 = AHP
5 = TOP/VIK
6 = SAW
7 = PROMETHEE

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,33	0,33	0,2	0,2	1	0,2
2	3	1	1	0,33	0,33	5	0,33
3	3	1	1	0,33	0,33	1	0,33
4	5	3	3	1	1	3	1
5	5	3	3	1	1	5	1
6	1	0,2	1	0,33	0,2	1	0,2
7	5	3	3	1	1	5	1

CR=0,033357**Kriterij: SUBJ****Matrica usporedbe kriterija SUBJ i alternativa
(w_{ij})**

Alternative:
1 = GP
2 = DEA
3 = SFA
4 = AHP
5 = TOP/VIK
6 = SAW
7 = PROMETHEE

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,2	0,33	5	3	5	5
2	5	1	3	7	7	7	7
3	3	0,33	1	5	5	5	5
4	0,2	0,14	0,2	1	1	0,33	1
5	0,33	0,14	0,2	1	1	0,33	1
6	0,2	0,14	0,2	3	3	1	3
7	0,2	0,14	0,2	1	1	0,33	1

CR=0,065972

Izvor: autor

Prilog 4-1. Podaci za model AOMP, izvor: autor

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
DO	tip broda	bruto tonaža	CGT	mjesto dokiranja	broj dana u doku	tjedan dokovanja	umnožak površine i mjeseci u moru	omjer posade i bazne posade	omjer duljina reza/GT L/GT*1000	trošak ekipe (kodirano)	najam doka (kodirano)	usluge i energija (kodirano)	rad na čeliku (kodirano)	radovi na bojenju (kodirano)	Trošak transfera i kašnjenja (kodirano)	Trošak ukupno (kodirano)
DO01	PCTC1	40986	25406	C	9	26	15378,67	2,120	6,173	74,213583	14,575931	13,179879	21,301815	20,624323	6,340510	150,236041
DO02	PCTC1	40986	25406	A	12	42	21277,33	2,169	6,173	85,030589	19,219994	13,210124	13,484241	14,327284	24,957278	170,229510
DO03	PCTC1	40986	25406	C	11	13	20013,33	1,193	6,173	51,021838	17,908628	7,722381	26,130532	22,694365	25,247683	150,725427
DO04	PCTC1	40986	25406	A	9	10	16642,67	1,096	6,173	32,240765	20,385228	5,781280	11,652022	13,702324	4,517670	88,279288
DO05	PCTC2	38651	24384	D	10	27	13538,40	1,289	6,546	53,538209	11,111111	6,101560	12,913403	10,659344	13,156337	107,479964
DO06	PCTC3	44408	26873	D	13	18	14664,00	1,169	5,720	63,095029	14,836039	4,968481	10,457179	10,317733	32,470121	136,144583
DO07	PCTC3	44408	26873	C	12	7	17822,40	1,398	5,720	65,217997	20,149316	10,040751	20,949379	18,740528	23,628901	158,726873
DO08	PCTC2	38651	24384	C	9	36	9777,73	1,277	6,546	44,696817	14,486788	6,686406	23,729067	17,292900	6,762178	113,654156
DO09	PCTC3	44408	26873	C	8	29	18273,60	1,241	5,720	38,606056	14,991722	6,779051	18,737345	15,184018	6,059398	100,357590
DO10	PCTC2	38651	24384	C	11	6	17111,03	1,614	6,546	69,059862	18,022604	10,751353	21,149952	18,710920	16,273136	153,967827
DO11	PCTC2	38651	24384	C	9	38	10341,83	1,554	6,546	54,395183	15,308182	8,820121	24,636422	23,620821	16,951479	143,732208
DO12	PCTC1	40986	25406	C	9	27	12429,33	2,169	6,173	75,900256	14,772047	9,218214	21,395734	21,729386	7,652366	150,668002
DO13	PCTC1	40986	25406	C	10	12	10954,67	1,711	6,173	66,529854	16,762814	8,367081	21,886501	21,697867	12,852939	148,097056
DO14	ChT1	27512	23228	A	8	22	31606,67	1,322	3,235	36,216732	11,174148	7,492837	6,829672	12,988220	6,133612	80,835222
DO15	ChT1	27512	23228	D	13	38	26722,00	1,287	3,235	72,851992	14,992041	6,953200	10,108564	17,108246	34,244302	156,258344
DO16	ChT1	27512	23228	A	8	25	22986,67	1,747	3,235	47,869073	11,011780	4,832537	6,641515	14,785419	10,517566	95,657890
DO17	ChT2	27335	23146	A	8	39	24998,00	1,506	3,256	41,255582	10,715377	5,175422	6,582935	18,705826	6,152327	88,587470

Prilog 4-1. Podaci za model AOMP (nastavak)

DO	tip broda	bruto tonaža	cGT	mjesto dokiranja	broj dana u doku	tjedan dokovanja	umnožak površine i mjeseci u moru	omjer posade i bazne posade	omjer duljina reza/GT L/GT*1000	trošak ekipe (kodirano)	najam doka (kodirano)	usluge i energija (kodirano)	rad na čeliku (kodirano)	radovi na bojenju (kodirano)	Trošak transfera i kašnjenja (kodirano)	Trošak ukupno (kodirano)
DO18	ChT2	27335	23146	A	9	47	24423,33	1,977	3,256	60,938589	11,453677	5,870105	5,938873	9,869468	16,715390	110,786103
DO19	ChT3	27472	23210	A	12	8	28661,50	1,494	3,240	61,410981	14,699140	8,929959	6,732888	13,249284	31,831939	136,854191
DO20	ChT3	27472	23210	A	8	6	18561,73	1,425	3,240	39,051085	10,560331	6,491563	5,349889	15,209487	12,485867	89,148223
DO21	ChT3	27472	23210	D	10	15	19926,57	1,529	3,240	66,547493	11,111111	5,116205	8,180516	10,883477	20,884767	122,723569
DO22	ChT3	27472	23210	A/C	14	47	19653,60	1,621	3,240	77,708511	11,741165	5,999682	12,213945	17,195479	55,987377	180,846158
DO23	ChT4	27207	23086	D	14	46	23533,33	1,494	3,271	91,064990	16,042662	16,326648	7,943967	22,719516	46,753229	200,851011
DO24	ChT4	27207	23086	C	10	32	19120,83	1,575	3,271	64,187253	11,762178	9,670805	16,235594	24,740847	20,799066	147,395742
DO25	ChT4	27207	23086	C	12	46	23533,33	1,690	2,610	82,646945	14,070360	14,759631	15,983445	24,219039	32,366865	184,046284
DO26	ChT4	27207	23086	E	13	13	26475,00	1,471	2,720	83,438395	16,578797	9,058898	6,276027	20,653613	88,510803	224,516534
DO27	TSHD	17130	19395	A	7	31	29399,73	1,534	1,168	30,862955	8,658071	3,237186	7,300860	9,449857	9,363948	68,872876
DO28	TSHD	17130	19395	A	6	17	50553,20	1,137	1,168	19,604275	5,932824	3,495065	6,632283	10,866921	6,332765	52,864133
DO29	ConRO	47300	28204	C	9	33	21136,87	1,576	4,482	56,503524	17,426934	11,098376	23,998090	28,139128	13,311392	150,477443
DO30	ConRO	47300	28204	A	8	23	30848,40	1,706	4,482	45,664576	17,752308	7,073225	14,952881	18,107927	7,738971	111,289889
DO31	Ncarrie	8547	12377	B	6	20	16179,60	1,173	7,020	20,785255	1,782872	1,518306	4,188157	5,414199	5,919358	39,608147
DO32	Ncarrie	8547	12377	B	6	37	19788,00	1,613	7,020	28,579726	1,808341	1,692773	2,705189	8,280166	6,155554	49,221749
DO33	Ncarrie	8547	12377	B	7	22	10941,60	1,427	7,020	29,485144	1,999363	1,688316	3,962114	8,136262	9,383567	54,654767
DO34	Ncarrie	8547	12377	B	7	37	11290,80	1,253	7,020	25,902837	1,999363	1,316141	4,510029	8,098695	7,493998	49,321063

Prilog 4-2. Model CCR, projekcije, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO01	1,2963216			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1204819	1,105691	-1,014791	-47,86%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,17284	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	15378,667	15378,67	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,575931	11,24407	-3,331861	-22,86%
usluge doka (Y2)	13,179879	4,560488	-8,619391	-65,40%
rad na čeliku(Y3)	21,301815	10,76802	-10,5338	-49,45%
radovi na bojanju (Y4)	20,624323	13,33314	-7,291183	-35,35%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,3405096	4,891155	-1,449355	-22,86%
posada za dokovanje (Y6)	74,213583	32,78389	-41,4297	-55,82%
DO02	2,6109326			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,385217	-0,783458	-36,13%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,17284	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21277,333	21277,33	0	0,00%
najam doka (Y1)	19,219994	2,003733	-17,21626	-89,57%
usluge doka (Y2)	13,210124	1,582847	-11,62728	-88,02%
rad na čeliku(Y3)	13,484241	4,243987	-9,240253	-68,53%
radovi na bojanju (Y4)	14,327284	5,48742	-8,839864	-61,70%
transfer i kašnjenje (Y5)	24,957278	5,905866	-19,05141	-76,34%
posada za dokovanje (Y6)	85,030589	20,5146	-64,51599	-75,87%
DO03	2,4249455			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,1927711	1,192771	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,17284	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	20013,333	20013,33	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,908628	1,995383	-15,91324	-88,86%
usluge doka (Y2)	7,7223814	1,64924	-6,073141	-78,64%
rad na čeliku(Y3)	26,130532	4,436023	-21,69451	-83,02%
radovi na bojanju (Y4)	22,694365	5,80745	-16,88691	-74,41%
transfer i kašnjenje (Y5)	25,247683	6,075101	-19,17258	-75,94%
posada za dokovanje (Y6)	51,021838	21,04041	-29,98143	-58,76%
DO05	1,6473877			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2891566	0,981795	-0,307361	-23,84%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	5,874043	-0,671713	-10,26%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	13538,4	13538,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,111111	2,130691	-8,98042	-80,82%
usluge doka (Y2)	6,10156	1,814512	-4,287048	-70,26%
rad na čeliku(Y3)	12,913403	5,005222	-7,908181	-61,24%
radovi na bojanju (Y4)	10,659344	6,470453	-4,188891	-39,30%
transfer i kašnjenje (Y5)	13,156337	7,074162	-6,082174	-46,23%
posada za dokovanje (Y6)	53,538209	24,84024	-28,69797	-53,60%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-2.Model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO06	1,5956689			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,1686747	1,030267	-0,138407	-11,84%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,71969	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	14664	14664	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,836039	2,182307	-12,65373	-85,29%
usluge doka (Y2)	4,9684814	1,825856	-3,142626	-63,25%
rad na čeliku(Y3)	10,457179	5,001609	-5,455571	-52,17%
radovi na bojanju (Y4)	10,317733	6,466087	-3,851646	-37,33%
transfer i kašnjenje (Y5)	32,470121	7,041774	-25,42835	-78,31%
posada za dokovanje (Y6)	63,095029	24,65927	-38,43575	-60,92%
DO07	2,8329413			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3975904	1,18862	-0,20897	-14,95%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,71969	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17822,4	17822,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	20,149316	2,169868	-17,97945	-89,23%
usluge doka (Y2)	10,040751	1,750503	-8,290249	-82,57%
rad na čeliku(Y3)	20,949379	4,729544	-16,21984	-77,42%
radovi na bojanju (Y4)	18,740528	6,114928	-12,6256	-67,37%
transfer i kašnjenje (Y5)	23,628901	6,608701	-17,0202	-72,03%
posada za dokovanje (Y6)	65,217997	23,0213	-42,19669	-64,70%
DO09	1,2575282			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2409639	1,164061	-7,69E-02	-6,20%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,71969	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	18273,6	18273,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,991722	11,31071	-3,681016	-24,55%
usluge doka (Y2)	6,7790513	4,542225	-2,236826	-33,00%
rad na čeliku(Y3)	18,737345	9,80376	-8,933585	-47,68%
radovi na bojanju (Y4)	15,184018	11,84872	-3,335296	-21,97%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,0593975	4,818498	-1,240899	-20,48%
posada za dokovanje (Y6)	38,606056	30,69995	-7,906103	-20,48%
DO10	2,9095056			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6144578	1,182414	-0,432044	-26,76%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,545756	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17111,033	17111,03	0	0,00%
najam doka (Y1)	18,022604	2,376744	-15,64586	-86,81%
usluge doka (Y2)	10,751353	1,885301	-8,866052	-82,46%
rad na čeliku(Y3)	21,149952	5,024065	-16,12589	-76,25%
radovi na bojanju (Y4)	18,71092	6,430962	-12,27996	-65,63%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,273136	5,593093	-10,68004	-65,63%
posada za dokovanje (Y6)	69,059862	22,95352	-46,10634	-66,76%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-2.Model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO11	1,9234723			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5542169	1,147993	-0,406223	-26,14%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,429991	-0,115765	-1,77%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10341,833	10341,83	0	0,00%
najam doka (Y1)	15,308182	2,182825	-13,12536	-85,74%
usluge doka (Y2)	8,820121	1,43691	-7,38321	-83,71%
rad na čeliku(Y3)	24,636422	4,923869	-19,71255	-80,01%
radovi na bojanju (Y4)	23,620821	8,841831	-14,77899	-62,57%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,951479	8,181648	-8,769831	-51,73%
posada za dokovanje (Y6)	54,395183	28,27968	-26,1155	-48,01%
DO12	1,3191514			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,150063	-1,018612	-46,97%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,17284	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	12429,333	12429,33	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,772047	11,19814	-3,573903	-24,19%
usluge doka (Y2)	9,2182139	5,045045	-4,173169	-45,27%
rad na čeliku(Y3)	21,395734	13,8606	-7,535133	-35,22%
radovi na bojanju (Y4)	21,729386	14,96215	-6,767231	-31,14%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,6523658	5,800976	-1,85139	-24,19%
posada za dokovanje (Y6)	75,900256	37,91993	-37,98032	-50,04%
DO13	1,8631481			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7108434	1,146351	-0,564492	-32,99%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,17284	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10954,667	10954,67	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,762814	4,948388	-11,81443	-70,48%
usluge doka (Y2)	8,3670805	3,308147	-5,058933	-60,46%
rad na čeliku(Y3)	21,886501	10,10695	-11,77955	-53,82%
radovi na bojanju (Y4)	21,697867	11,64581	-10,05206	-46,33%
transfer i kašnjenje (Y5)	12,852939	6,898506	-5,954433	-46,33%
posada za dokovanje (Y6)	66,529854	35,7083	-30,82155	-46,33%
DO14	1,0348056			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3218391	1,321839	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	31606,667	31606,67	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,174148	6,622309	-4,551839	-40,74%
usluge doka (Y2)	7,4928367	3,833336	-3,659501	-48,84%
rad na čeliku(Y3)	6,8296721	6,599957	-0,229715	-3,36%
radovi na bojanju (Y4)	12,98822	12,55136	-0,436857	-3,36%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,1336121	5,927309	-0,206303	-3,36%
posada za dokovanje (Y6)	36,216732	27,98977	-8,226962	-22,72%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-2.Model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO15	1,9220658			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2873563	1,287356	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,992041	3,584394	-11,40765	-76,09%
usluge doka (Y2)	6,9531996	2,519241	-4,433959	-63,77%
rad na čeliku(Y3)	10,108564	5,259218	-4,849346	-47,97%
radovi na bojanju (Y4)	17,108246	8,900968	-8,207278	-47,97%
transfer i kašnjenje (Y5)	34,244302	7,72573	-26,51857	-77,44%
posada za dokovanje (Y6)	72,851992	27,29298	-45,55902	-62,54%
DO16	1,3129111			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7471264	1,413992	-0,333135	-19,07%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	22986,667	22986,67	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,01178	4,298354	-6,713425	-60,97%
usluge doka (Y2)	4,8325374	2,912207	-1,92033	-39,74%
rad na čeliku(Y3)	6,6415154	5,058618	-1,582898	-23,83%
radovi na bojanju (Y4)	14,785419	11,045	-3,740421	-25,30%
transfer i kašnjenje (Y5)	10,517566	8,010875	-2,506692	-23,83%
posada za dokovanje (Y6)	47,869073	34,89094	-12,97813	-27,11%
DO18	1,1660539			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,9770115	1,44526	-0,531751	-26,90%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,255899	3,255899	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	24423,333	24423,33	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,453677	3,676548	-7,777129	-67,90%
usluge doka (Y2)	5,8701051	2,424535	-3,44557	-58,70%
rad na čeliku(Y3)	5,938873	5,093137	-0,845735	-14,24%
radovi na bojanju (Y4)	9,8694683	8,46399	-1,405479	-14,24%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,71539	8,018096	-8,697294	-52,03%
posada za dokovanje (Y6)	60,938589	29,0482	-31,89039	-52,33%
DO19	1,4656752			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,494253	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,239662	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	28661,5	28661,5	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,69914	3,601893	-11,09725	-75,50%
usluge doka (Y2)	8,9299586	2,458615	-6,471343	-72,47%
rad na čeliku(Y3)	6,7328876	4,59371	-2,139177	-31,77%
radovi na bojanju (Y4)	13,249284	9,039713	-4,209571	-31,77%
transfer i kašnjenje (Y5)	31,831939	7,503376	-24,32856	-76,43%
posada za dokovanje (Y6)	61,410981	27,73046	-33,68053	-54,84%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-2.Model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO20	1,032242			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4252874	1,190946	-0,234341	-16,44%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,239662	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	18561,733	18561,73	0	0,00%
najam doka (Y1)	10,560331	3,785686	-6,774645	-64,15%
usluge doka (Y2)	6,4915632	2,835558	-3,656005	-56,32%
rad na čeliku(Y3)	5,3498886	5,182785	-0,167104	-3,12%
radovi na bojanju (Y4)	15,209487	11,13705	-4,072436	-26,78%
transfer i kašnjenje (Y5)	12,485867	9,569607	-2,91626	-23,36%
posada za dokovanje (Y6)	39,051085	37,83133	-1,219759	-3,12%
DO21	1,292397			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5287356	1,171514	-0,357221	-23,37%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,239662	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19926,567	19926,57	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,111111	3,717683	-7,393429	-66,54%
usluge doka (Y2)	5,116205	2,531605	-2,5846	-50,52%
rad na čeliku(Y3)	8,1805158	6,329724	-1,850792	-22,62%
radovi na bojanju (Y4)	10,883477	8,421156	-2,46232	-22,62%
transfer i kašnjenje (Y5)	20,884767	8,747176	-12,13759	-58,12%
posada za dokovanje (Y6)	66,547493	30,07748	-36,47001	-54,80%
DO22	1,9764814			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6206897	1,168458	-0,452232	-27,90%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,239662	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19653,6	19653,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,741165	3,727025	-8,01414	-68,26%
usluge doka (Y2)	5,9996816	2,570174	-3,429508	-57,16%
rad na čeliku(Y3)	12,213945	6,179641	-6,034304	-49,41%
radovi na bojanju (Y4)	17,195479	8,700046	-8,495433	-49,41%
transfer i kašnjenje (Y5)	55,987377	8,863975	-47,1234	-84,17%
posada za dokovanje (Y6)	77,708511	30,93625	-46,77227	-60,19%
DO23	1,697136			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,445751	-4,85E-02	-3,25%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,271217	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,33	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,042662	3,695714	-12,34695	-76,96%
usluge doka (Y2)	16,326648	2,559117	-13,76753	-84,33%
rad na čeliku(Y3)	7,9439669	4,680808	-3,263159	-41,08%
radovi na bojanju (Y4)	22,719516	9,682758	-13,03676	-57,38%
transfer i kašnjenje (Y5)	46,753229	8,372938	-38,38029	-82,09%
posada za dokovanje (Y6)	91,06499	32,38699	-58,678	-64,44%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-2. Model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO24	2,1181222			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5747126	1,127413	-0,4473	-28,41%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,271217	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19120,833	19120,83	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,762178	3,690041	-8,072137	-68,63%
usluge doka (Y2)	9,6708055	2,542194	-7,128611	-73,71%
rad na čeliku(Y3)	16,235594	6,517389	-9,718205	-59,86%
radovi na bojanju (Y4)	24,740847	8,429346	-16,3115	-65,93%
transfer i kašnjenje (Y5)	20,799066	8,861642	-11,93742	-57,39%
posada za dokovanje (Y6)	64,187253	30,30385	-33,88341	-52,79%
DO25	2,6489647			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6896552	1,343509	-0,346146	-20,49%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,6096225	2,609623	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,33	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,07036	4,50741	-9,56295	-67,97%
usluge doka (Y2)	14,759631	2,739746	-12,01988	-81,44%
rad na čeliku(Y3)	15,983445	6,033846	-9,949599	-62,25%
radovi na bojanju (Y4)	24,219039	9,121462	-15,09758	-62,34%
transfer i kašnjenje (Y5)	32,366865	8,88864	-23,47823	-72,54%
posada za dokovanje (Y6)	82,646945	31,19972	-51,44723	-62,25%
DO26	1,2264402			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4712644	1,471264	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,7198883	2,719888	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26475	26475	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,578797	4,295979	-12,28282	-74,09%
usluge doka (Y2)	9,0588984	2,690365	-6,368534	-70,30%
rad na čeliku(Y3)	6,2760267	5,117271	-1,158756	-18,46%
radovi na bojanju (Y4)	20,653613	9,550523	-11,10309	-53,76%
transfer i kašnjenje (Y5)	88,510803	8,348255	-80,16255	-90,57%
posada za dokovanje (Y6)	83,438395	30,70265	-52,73575	-63,20%
DO29	2,0913634			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5764706	1,275987	-0,300483	-19,06%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,48203	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21136,867	21136,87	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,426934	4,018469	-13,40846	-76,94%
usluge doka (Y2)	11,098376	2,572346	-8,52603	-76,82%
rad na čeliku(Y3)	23,99809	6,387037	-17,61105	-73,39%
radovi na bojanju (Y4)	28,139128	8,142676	-19,99645	-71,06%
transfer i kašnjenje (Y5)	13,311392	6,364935	-6,946457	-52,18%
posada za dokovanje (Y6)	56,503524	27,01755	-29,48597	-52,18%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-2.Model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO30	1,6265224			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7058824	1,705882	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,48203	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	30848,4	30848,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,752308	9,060132	-8,692176	-48,96%
usluge doka (Y2)	7,0732251	3,719953	-3,353272	-47,41%
rad na čeliku(Y3)	14,952881	6,223214	-8,729667	-58,38%
radovi na bojanju (Y4)	18,107927	11,13291	-6,975018	-38,52%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,7389711	4,757986	-2,980985	-38,52%
posada za dokovanje (Y6)	45,664576	27,31287	-18,35171	-40,19%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-3.Model CCR, referentni skup, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
1	DO01	0,7714135	16	1,2963216	DO04	0,820282	DO08	0,07637	DO34	0,08682				
2	DO02	0,3830049	31	2,6109326	DO27	0,263968	DO31	0,835419						
3	DO03	0,4123804	30	2,4249455	DO27	0,057984	DO28	0,08854	DO31	0,854952				
4	DO04	1	1	1	DO04	1								
5	DO05	0,6070217	22	1,6473877	DO31	0,836757								
6	DO06	0,6266964	20	1,5956689	DO27	0,05546	DO31	0,805545						
7	DO07	0,35299	33	2,8329413	DO27	0,173716	DO31	0,785878						
8	DO08	1	1	1	DO08	1								
9	DO09	0,7952108	14	1,2575282	DO04	0,835624	DO27	0,115034	DO31	6,09E-02				
10	DO10	0,343701	34	2,9095056	DO04	0,232968	DO27	0,05473	DO31	0,718487				
11	DO11	0,5198931	26	1,9234723	DO34	0,915952			DO31					
12	DO12	0,7580631	18	1,3191514	DO04	0,424426	DO08	0,464732	DO34	0,072778				
13	DO13	0,536726	24	1,8631481	DO04	0,07582	DO08	0,552846	DO31	0,190669	DO34	0,106485		
14	DO14	0,9663651	11	1,0348056	DO04	0,117655	DO17	0,475975	DO27	0,01237	DO28	0,317776	DO31	0,08169
15	DO15	0,5202735	25	1,9220658	DO27	0,368896	DO28	0,182898	DO31	0,186292	DO32	0,182754		
16	DO16	0,7616662	17	1,3129111	DO17	0,195473	DO27	0,412719	DO32	0,301516				
17	DO17	1	1	1	DO17	1								

Prilog 4-3.Model CCR, referentni skup (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
18	DO18	0,8575933	12	1,1660539	DO27	0,605943	DO31	0,159286	DO32	0,203739				
19	DO19	0,6822794	19	1,4656752	DO27	0,509091	DO28	0,133906	DO31	0,02516	DO32	0,329385		
20	DO20	0,968765	10	1,032242	DO27	0,366811	DO31	4,08E-02	DO32	0,359699				
21	DO21	0,7737561	15	1,292397	DO27	0,463727	DO31	0,363783	DO32	0,02058				
22	DO22	0,5059496	27	1,9764814	DO27	0,447964	DO31	0,325378	DO32	0,06161				
23	DO23	0,589228	23	1,697136	DO27	0,548187	DO32	0,374812						
24	DO24	0,4721163	29	2,1181222	DO27	0,433617	DO31	0,393867						
25	DO25	0,377506	32	2,6489647	DO27	0,640796	DO31	0,153252	DO32	0,111914				
26	DO26	0,815368	13	1,2264402	DO27	0,636716	DO28	4,62E-02	DO32	0,273865				
27	DO27	1	1	1	DO27	1								
28	DO28	1	1	1	DO28	1								
29	DO29	0,478157	28	2,0913634	DO04	0,265034	DO27	0,380644	DO31	0,342107				
30	DO30	0,6148086	21	1,6265224	DO04	0,37495	DO17	0,55071	DO27	0,253976	DO28	0,06676		
31	DO31	1	1	1	DO31	1								
32	DO32	1	1	1	DO32	1								
33	DO33	1	1	1	DO33	1								
34	DO34	1	1	1	DO34	1								

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO01	1,2637533			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1204819	1,145506	-0,974976	-45,98%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	15378,667	15378,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,575931	11,533842	-3,042089	-20,87%
usluge doka (Y2)	13,179879	4,714444	-8,465435	-64,23%
rad na čeliku(Y3)	21,301815	10,672169	-10,62965	-49,90%
radovi na bojanju (Y4)	20,624323	13,454875	-7,169449	-34,76%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,3405096	5,0172052	-1,323304	-20,87%
posada za dokovanje (Y6)	74,213583	33,14053	-41,07305	-55,34%
DO02	2,4826553			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,225577	-0,943098	-43,49%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21277,333	18093,267	-3184,067	-14,96%
najam doka (Y1)	19,219994	2,0144218	-17,20557	-89,52%
usluge doka (Y2)	13,210124	1,6447219	-11,5654	-87,55%
rad na čeliku(Y3)	13,484241	4,4636319	-9,020609	-66,90%
radovi na bojanju (Y4)	14,327284	5,7709518	-8,556333	-59,72%
transfer i kašnjenje (Y5)	24,957278	6,2522838	-18,70499	-74,95%
posada za dokovanje (Y6)	85,030589	21,816444	-63,21414	-74,34%
DO03	2,4248639			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,1927711	1,1895183	-0,003253	-0,27%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	20013,333	20013,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,908628	1,995068	-15,91356	-88,86%
usluge doka (Y2)	7,7223814	1,6503375	-6,072044	-78,63%
rad na čeliku(Y3)	26,130532	4,4388004	-21,69173	-83,01%
radovi na bojanju (Y4)	22,694365	5,8129701	-16,88139	-74,39%
transfer i kašnjenje (Y5)	25,247683	6,0760243	-19,17166	-75,93%
posada za dokovanje (Y6)	51,021838	21,041114	-29,98072	-58,76%
DO05	1,4342919			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2891566	1,2891566	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,5457556	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	13538,4	13538,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,111111	2,1565677	-8,954543	-80,59%
usluge doka (Y2)	6,10156	1,5535292	-4,548031	-74,54%
rad na čeliku(Y3)	12,913403	4,6045654	-8,308838	-64,34%
radovi na bojanju (Y4)	10,659344	7,4317817	-3,227562	-30,28%
transfer i kašnjenje (Y5)	13,156337	7,799812	-5,356525	-40,71%
posada za dokovanje (Y6)	53,538209	26,7201	-26,81811	-50,09%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO07	2,7459437			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3975904	1,2746836	-0,122907	-8,79%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,7196901	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17822,4	17822,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	20,149316	2,2428749	-17,90644	-88,87%
usluge doka (Y2)	10,040751	1,6455321	-8,395219	-83,61%
rad na čeliku(Y3)	20,949379	4,7250368	-16,22434	-77,45%
radovi na bojanju (Y4)	18,740528	6,623991	-12,11654	-64,65%
transfer i kašnjenje (Y5)	23,628901	6,8619107	-16,76699	-70,96%
posada za dokovanje (Y6)	65,217997	23,750668	-41,46733	-63,58%
DO09	1,2566451			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2409639	1,1385194	-0,102444	-8,26%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,7196901	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	18273,6	18273,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,991722	11,275209	-3,716513	-24,79%
usluge doka (Y2)	6,7790513	4,6152938	-2,163757	-31,92%
rad na čeliku(Y3)	18,737345	9,9212213	-8,816124	-47,05%
radovi na bojanju (Y4)	15,184018	12,042123	-3,141895	-20,69%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,0593975	4,8218847	-1,237513	-20,42%
posada za dokovanje (Y6)	38,606056	30,721528	-7,884528	-20,42%
DO10	2,903812			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6144578	1,1693523	-0,445106	-27,57%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,5457556	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17111,033	17111,033	0	0,00%
najam doka (Y1)	18,022604	2,3654662	-15,65714	-86,88%
usluge doka (Y2)	10,751353	1,8854613	-8,865892	-82,46%
rad na čeliku(Y3)	21,149952	5,0259389	-16,12401	-76,24%
radovi na bojanju (Y4)	18,71092	6,4435714	-12,26735	-65,56%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,273136	5,6040595	-10,66908	-65,56%
posada za dokovanje (Y6)	69,059862	22,930162	-46,1297	-66,80%
DO11	1,4018041			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5542169	1,27658	-0,277637	-17,86%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,5457556	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10341,833	10341,833	0	0,00%
najam doka (Y1)	15,308182	6,3484649	-8,959717	-58,53%
usluge doka (Y2)	8,820121	3,651234	-5,168887	-58,60%
rad na čeliku(Y3)	24,636422	12,060655	-12,57577	-51,05%
radovi na bojanju (Y4)	23,620821	14,00199	-9,618831	-40,72%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,951479	6,9948107	-9,956668	-58,74%
posada za dokovanje (Y6)	54,395183	38,803699	-15,59148	-28,66%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO12	1,2295863			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,2415951	-0,92708	-42,75%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	12429,333	12429,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,772047	12,013835	-2,758212	-18,67%
usluge doka (Y2)	9,2182139	5,5406152	-3,677599	-39,89%
rad na čeliku(Y3)	21,395734	13,571647	-7,824087	-36,57%
radovi na bojanju (Y4)	21,729386	15,349508	-6,379877	-29,36%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,6523658	6,2235289	-1,428837	-18,67%
posada za dokovanje (Y6)	75,900256	39,079456	-36,8208	-48,51%
DO13	1,3845834			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7108434	1,3069425	-0,403901	-23,61%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10954,667	10954,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,762814	9,4913173	-7,271497	-43,38%
usluge doka (Y2)	8,3670805	5,4300896	-2,936991	-35,10%
rad na čeliku(Y3)	21,886501	13,117379	-8,769122	-40,07%
radovi na bojanju (Y4)	21,697867	15,671043	-6,026824	-27,78%
transfer i kašnjenje (Y5)	12,852939	7,3362232	-5,516716	-42,92%
posada za dokovanje (Y6)	66,529854	42,263978	-24,26588	-36,47%
DO14	1,0329159			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3218391	1,309467	-0,012372	-0,94%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	31606,667	31606,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,174148	6,5537087	-4,62044	-41,35%
usluge doka (Y2)	7,4928367	3,8328437	-3,659993	-48,85%
rad na čeliku(Y3)	6,8296721	6,6120313	-0,217641	-3,19%
radovi na bojanju (Y4)	12,98822	12,574325	-0,413895	-3,19%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,1336121	5,9381527	-0,195459	-3,19%
posada za dokovanje (Y6)	36,216732	27,934873	-8,281859	-22,87%
DO15	1,4797899			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2873563	1,2873563	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,992041	9,0091702	-5,982871	-39,91%
usluge doka (Y2)	6,9531996	4,5219073	-2,431292	-34,97%
rad na čeliku(Y3)	10,108564	6,8310806	-3,277484	-32,42%
radovi na bojanju (Y4)	17,108246	11,561267	-5,546979	-32,42%
transfer i kašnjenje (Y5)	34,244302	11,222244	-23,02206	-67,23%
posada za dokovanje (Y6)	72,851992	33,184343	-39,66765	-54,45%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO16	1,2434849			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7471264	1,4839434	-0,263183	-15,06%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	22986,667	22986,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,01178	5,9924064	-5,019373	-45,58%
usluge doka (Y2)	4,8325374	3,695337	-1,1372	-23,53%
rad na čeliku(Y3)	6,6415154	5,3410505	-1,300465	-19,58%
radovi na bojanju (Y4)	14,785419	11,890308	-2,89511	-19,58%
transfer i kašnjenje (Y5)	10,517566	8,4581377	-2,059429	-19,58%
posada za dokovanje (Y6)	47,869073	34,513922	-13,35515	-27,90%
DO18	1,1492932			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,9770115	1,4699518	-0,50706	-25,65%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,255899	3,255899	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	24423,333	24423,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,453677	3,9834743	-7,470203	-65,22%
usluge doka (Y2)	5,8701051	2,5685201	-3,301585	-56,24%
rad na čeliku(Y3)	5,938873	5,1674132	-0,77146	-12,99%
radovi na bojanju (Y4)	9,8694683	8,587424	-1,282044	-12,99%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,71539	8,1985541	-8,516836	-50,95%
posada za dokovanje (Y6)	60,938589	28,892449	-32,04614	-52,59%
DO19	1,4621241			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,4942529	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,2396622	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	28661,5	28661,5	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,69914	3,6322648	-11,06688	-75,29%
usluge doka (Y2)	8,9299586	2,47622	-6,453739	-72,27%
rad na čeliku(Y3)	6,7328876	4,6048674	-2,12802	-31,61%
radovi na bojanju (Y4)	13,249284	9,0616684	-4,187615	-31,61%
transfer i kašnjenje (Y5)	31,831939	7,5214567	-24,31048	-76,37%
posada za dokovanje (Y6)	61,410981	27,705356	-33,70562	-54,89%
DO22	1,3508962			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6206897	1,4393492	-0,18134	-11,19%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,2396622	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19653,6	19653,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,741165	7,8595543	-3,881611	-33,06%
usluge doka (Y2)	5,9996816	4,4412603	-1,558421	-25,98%
rad na čeliku(Y3)	12,213945	5,7088683	-6,505076	-53,26%
radovi na bojanju (Y4)	17,195479	12,728942	-4,466537	-25,98%
transfer i kašnjenje (Y5)	55,987377	11,912455	-44,07492	-78,72%
posada za dokovanje (Y6)	77,708511	38,070753	-39,63776	-51,01%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO23	1,6499478			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,4942529	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,271217	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,042662	4,9467446	-11,09592	-69,17%
usluge doka (Y2)	16,326648	3,2803182	-13,04633	-79,91%
rad na čeliku(Y3)	7,9439669	4,8146776	-3,129289	-39,39%
radovi na bojanju (Y4)	22,719516	10,854666	-11,86485	-52,22%
transfer i kašnjenje (Y5)	46,753229	9,1506654	-37,60256	-80,43%
posada za dokovanje (Y6)	91,06499	32,542038	-58,52295	-64,27%
DO24	1,421005			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5747126	1,4355453	-0,139167	-8,84%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,271217	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19120,833	19120,833	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,762178	8,2773654	-3,484812	-29,63%
usluge doka (Y2)	9,6708055	5,1372864	-4,533519	-46,88%
rad na čeliku(Y3)	16,235594	5,3720185	-10,86358	-66,91%
radovi na bojanju (Y4)	24,740847	13,716848	-11,024	-44,56%
transfer i kašnjenje (Y5)	20,799066	11,88135	-8,917716	-42,88%
posada za dokovanje (Y6)	64,187253	37,400122	-26,78713	-41,73%
DO25	2,2821333			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6896552	1,4860161	-0,203639	-12,05%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,6096225	2,6096225	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,07036	6,1654416	-7,904918	-56,18%
usluge doka (Y2)	14,759631	3,3269902	-11,43264	-77,46%
rad na čeliku(Y3)	15,983445	5,9456009	-10,03784	-62,80%
radovi na bojanju (Y4)	24,219039	10,427128	-13,79191	-56,95%
transfer i kašnjenje (Y5)	32,366865	10,143826	-22,22304	-68,66%
posada za dokovanje (Y6)	82,646945	32,755753	-49,89119	-60,37%
DO26	1,1884965			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4712644	1,4712644	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,7198883	2,7198883	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26475	26475	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,578797	5,5885607	-10,99024	-66,29%
usluge doka (Y2)	9,0588984	3,3595066	-5,699392	-62,91%
rad na čeliku(Y3)	6,2760267	5,2806438	-0,995383	-15,86%
radovi na bojanju (Y4)	20,653613	10,693892	-9,959722	-48,22%
transfer i kašnjenje (Y5)	88,510803	8,9852928	-79,52551	-89,85%
posada za dokovanje (Y6)	83,438395	30,890089	-52,54831	-62,98%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-4. Model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO29	2,0687229			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5764706	1,3020183	-0,274452	-17,41%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,4820296	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21136,867	21136,867	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,426934	4,0916218	-13,33531	-76,52%
usluge doka (Y2)	11,098376	2,5009396	-8,597437	-77,47%
rad na čeliku(Y3)	23,99809	6,3835027	-17,61459	-73,40%
radovi na bojanju (Y4)	28,139128	8,4013383	-19,73779	-70,14%
transfer i kašnjenje (Y5)	13,311392	6,4345938	-6,876798	-51,66%
posada za dokovanje (Y6)	56,503524	27,313239	-29,19028	-51,66%
DO30	1,5264225			
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7058824	1,1136615	-0,592221	-34,72%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,4820296	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	30848,4	28321,939	-2526,461	-8,19%
najam doka (Y1)	17,752308	8,926534	-8,825774	-49,72%
usluge doka (Y2)	7,0732251	4,2985145	-2,774711	-39,23%
rad na čeliku(Y3)	14,952881	8,7162018	-6,236679	-41,71%
radovi na bojanju (Y4)	18,107927	11,862985	-6,244943	-34,49%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,7389711	5,0700057	-2,668965	-34,49%
posada za dokovanje (Y6)	45,664576	25,879786	-19,78479	-43,33%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-5.Model BCC, referentni skup, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
1	DO01	0,7912937	19	1,2637533	DO04	0,750193	DO08	0,137659	DO20	0,038693	DO34	0,073445		
2	DO02	0,4027945	32	2,4826553	DO27	0,144754	DO31	0,855246						
3	DO03	0,4123943	31	2,4248639	DO27	5,40E-02	DO28	0,090768	DO31	0,855246				
4	DO04	1	1	1	DO04	1								
5	DO05	0,6972082	24	1,4342919	DO21	0,125433	DO31	0,246868	DO33	0,121388	DO34	0,5063		
6	DO06	1	1	1	DO06	1								
7	DO07	0,3641735	33	2,7459437	DO27	0,222171	DO31	0,513099	DO34	0,264721				
8	DO08	1	1	1	DO08	1								
9	DO09	0,7957697	18	1,2566451	DO04	0,83639	DO27	0,083622	DO28	0,017490	DO31	6,25E-02		
10	DO10	0,3443749	34	2,903812	DO04	0,229195	DO27	0,038752	DO28	0,009106	DO31	0,722947		
11	DO11	0,7133665	22	1,4018041	DO08	0,7673	DO20	0,029174	DO34	0,203516				
12	DO12	0,8132817	16	1,2295863	DO04	0,263938	DO08	0,607418	DO20	0,088730	DO34	0,039904		
13	DO13	0,7222389	21	1,3845834	DO08	0,799282	DO20	0,123808	DO33	0,076900				
14	DO14	0,9681331	13	1,0329159	DO04	0,116536	DO16	0,471633	DO27	4,84E-04	DO28	0,326054	DO31	0,085294
15	DO15	0,6757716	26	1,4797899	DO06	0,289068	DO20	0,343547	DO27	0,105548	DO28	0,255049	DO31	0,006778
16	DO16	0,8041915	17	1,2434849	DO17	0,22732	DO20	0,358168	DO27	0,269174	DO31	3,70E-02	DO32	0,108335
17	DO17	1	1	1	DO17	1								

Prilog 4-5.Model BCC, referentni skup (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
18	DO18	0,8701	14	1,1492932	DO20	0,124802	DO27	0,56254	DO31	0,171381	DO32	0,141268		
19	DO19	0,6839365	25	1,4621241	DO20	0,014254	DO27	0,501019	DO28	0,135702	DO31	0,027542	460-32	0,321472
20	DO20	1	1	1	DO20	1								
21	DO21	1	1	1	DO21	1								
22	DO22	0,7402493	20	1,3508962	DO20	0,672513	DO21	0,116732	DO27	0,136123	DO34	0,074622		
23	DO23	0,6060798	28	1,6499478	DO20	0,411036	DO27	0,344547	DO28	0,030485	DO32	0,213922		
24	DO24	0,7037273	23	1,421005	DO20	0,846852	DO27	0,093520	DO33	0,059617				
25	DO25	0,4381865	30	2,2821333	DO20	0,30629	DO27	0,555737	DO33	0,137963				
26	DO26	0,8413992	15	1,1884965	DO20	0,328959	DO27	0,424358	DO28	0,097896	DO32	0,148777		
27	DO27	1	1	1	DO27	1								
28	DO28	1	1	1	DO28	1								
29	DO29	0,48339	29	2,0687229	DO04	0,264841	DO27	0,395311	DO31	0,259804	DO34	0,080034		
30	DO30	0,6551266	27	1,5264225	DO04	0,612523	DO27	0,344994	DO31	0,042482				
31	DO31	1	1	1	DO31	1								
32	DO32	1	1	1	DO32	1								
33	DO33	1	1	1	DO33	1								
34	DO34	1	1	1	DO34	1								

Prilog 4-6.Kategorijski model CCR, projekcije, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

DO	1/efikasnost	Kategorija		
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO01	1,1127593	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1204819	1,3934688	-0,727013	-34,29%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	15378,667	15378,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,575931	13,098908	-1,477023	-10,13%
usluge doka (Y2)	13,179879	5,7062662	-7,473613	-56,70%
rad na čeliku(Y3)	21,301815	12,594978	-8,706837	-40,87%
radovi na bojanju (Y4)	20,624323	15,682319	-4,942004	-23,96%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,3405096	5,6980066	-0,642503	-10,13%
posada za dokovanje (Y6)	74,213583	38,428052	-35,78553	-48,22%
DO02	1,7138456	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,5694133	-0,599261	-27,63%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21277,333	21277,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	19,219994	9,8979426	-9,322051	-48,50%
usluge doka (Y2)	13,210124	3,8328579	-9,377266	-70,99%
rad na čeliku(Y3)	13,484241	7,8678269	-5,616414	-41,65%
radovi na bojanju (Y4)	14,327284	8,3597286	-5,967556	-41,65%
transfer i kašnjenje (Y5)	24,957278	14,562151	-10,39513	-41,65%
posada za dokovanje (Y6)	85,030589	40,932188	-44,0984	-51,86%
DO03	1,4877178	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,1927711	1,1927711	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	4,5288919	-1,643948	-26,63%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	20013,333	20013,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,908628	12,037651	-5,870977	-32,78%
usluge doka (Y2)	7,7223814	5,1907568	-2,531625	-32,78%
rad na čeliku(Y3)	26,130532	12,337182	-13,79335	-52,79%
radovi na bojanju (Y4)	22,694365	14,072052	-8,622313	-37,99%
transfer i kašnjenje (Y5)	25,247683	6,518704	-18,72898	-74,18%
posada za dokovanje (Y6)	51,021838	34,295373	-16,72647	-32,78%
DO07	1,7099723	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3975904	1,3975904	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,7196901	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17822,4	17822,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	20,149316	11,126149	-9,023166	-44,78%
usluge doka (Y2)	10,040751	4,8348257	-5,205926	-51,85%
rad na čeliku(Y3)	20,949379	11,105979	-9,8434	-46,99%
radovi na bojanju (Y4)	18,740528	10,959551	-7,780978	-41,52%
transfer i kašnjenje (Y5)	23,628901	7,6139441	-16,01496	-67,78%
posada za dokovanje (Y6)	65,217997	38,139797	-27,0782	-41,52%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-6. Kategorijski model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO09	1,1136718	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2409639	1,2409639	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,7196901	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	18273,6	18273,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,991722	13,461526	-1,530196	-10,21%
usluge doka (Y2)	6,7790513	5,2990979	-1,479953	-21,83%
rad na čeliku(Y3)	18,737345	12,46755	-6,269795	-33,46%
radovi na bojanju (Y4)	15,184018	13,634194	-1,549824	-10,21%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,0593975	5,4409184	-0,618479	-10,21%
posada za dokovanje (Y6)	38,606056	33,02919	-5,576866	-14,45%
DO10	1,7860914	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6144578	1,5349348	-0,079523	-4,93%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,5457556	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17111,033	17111,033	0	0,00%
najam doka (Y1)	18,022604	9,989735	-8,032869	-44,57%
usluge doka (Y2)	10,751353	4,7274057	-6,023947	-56,03%
rad na čeliku(Y3)	21,149952	11,636759	-9,513193	-44,98%
radovi na bojanju (Y4)	18,71092	10,475903	-8,235017	-44,01%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,273136	8,0062049	-8,266931	-50,80%
posada za dokovanje (Y6)	69,059862	38,665358	-30,3945	-44,01%
DO11	1,1048551	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5542169	1,2789157	-0,275301	-17,71%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,5457556	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10341,833	10341,833	0	0,00%
najam doka (Y1)	15,308182	13,855376	-1,452807	-9,49%
usluge doka (Y2)	8,820121	6,5916326	-2,228488	-25,27%
rad na čeliku(Y3)	24,636422	21,080643	-3,555779	-14,43%
radovi na bojanju (Y4)	23,620821	15,816458	-7,804363	-33,04%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,951479	7,2939193	-9,657559	-56,97%
posada za dokovanje (Y6)	54,395183	45,832137	-8,563046	-15,74%
DO12	1,1384896	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,3559715	-0,812703	-37,47%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	12429,333	12429,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,772047	12,975127	-1,79692	-12,16%
usluge doka (Y2)	9,2182139	5,7549515	-3,463262	-37,57%
rad na čeliku(Y3)	21,395734	18,250756	-3,144978	-14,70%
radovi na bojanju (Y4)	21,729386	15,241479	-6,487907	-29,86%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,6523658	6,7215068	-0,930859	-12,16%
posada za dokovanje (Y6)	75,900256	40,992459	-34,9078	-45,99%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-6. Kategorijski model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO13	1,2443252	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7108434	1,233011	-0,477832	-27,93%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10954,667	10954,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,762814	13,471409	-3,291405	-19,64%
usluge doka (Y2)	8,3670805	6,7241911	-1,642889	-19,64%
rad na čeliku(Y3)	21,886501	17,589052	-4,297449	-19,64%
radovi na bojanju (Y4)	21,697867	14,663817	-7,03405	-32,42%
transfer i kašnjenje (Y5)	12,852939	8,7033746	-4,149564	-32,28%
posada za dokovanje (Y6)	66,529854	49,321415	-17,20844	-25,87%
DO14	1,0009094	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3218391	1,3218391	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	31606,667	31606,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,174148	8,8681748	-2,305974	-20,64%
usluge doka (Y2)	7,4928367	4,4579297	-3,034907	-40,50%
rad na čeliku(Y3)	6,8296721	6,8234667	-0,006205	-0,09%
radovi na bojanju (Y4)	12,98822	12,976419	-0,011801	-0,09%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,1336121	6,1280392	-0,005573	-0,09%
posada za dokovanje (Y6)	36,216732	27,600641	-8,616092	-23,79%
DO15	1,4702972	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2873563	1,2873563	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,992041	9,2861777	-5,705863	-38,06%
usluge doka (Y2)	6,9531996	4,5864714	-2,366728	-34,04%
rad na čeliku(Y3)	10,108564	6,8751843	-3,23338	-31,99%
radovi na bojanju (Y4)	17,108246	11,63591	-5,472336	-31,99%
transfer i kašnjenje (Y5)	34,244302	11,344295	-22,90001	-66,87%
posada za dokovanje (Y6)	72,851992	33,41889	-39,4331	-54,13%
DO16	1,0902203	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7471264	1,5631566	-0,18397	-10,53%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,234952	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	22986,667	22986,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,01178	9,3789631	-1,632817	-14,83%
usluge doka (Y2)	4,8325374	4,4326246	-0,399913	-8,28%
rad na čeliku(Y3)	6,6415154	6,091902	-0,549613	-8,28%
radovi na bojanju (Y4)	14,785419	11,591118	-3,194301	-21,60%
transfer i kašnjenje (Y5)	10,517566	9,6471933	-0,870373	-8,28%
posada za dokovanje (Y6)	47,869073	33,734403	-14,13467	-29,53%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-6. Kategorijski model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO19	1,1926997	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,4942529	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,2396622	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	28661,5	28661,5	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,69914	8,3250294	-6,374111	-43,36%
usluge doka (Y2)	8,9299586	4,3218817	-4,608077	-51,60%
rad na čeliku(Y3)	6,7328876	5,6450818	-1,087806	-16,16%
radovi na bojanju (Y4)	13,249284	11,10865	-2,140634	-16,16%
transfer i kašnjenje (Y5)	31,831939	9,8012886	-22,03065	-69,21%
posada za dokovanje (Y6)	61,410981	29,883973	-31,52701	-51,34%
DO22	1,1254587	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6206897	1,3829701	-0,23772	-14,67%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,2396622	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19653,6	19653,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,741165	10,432338	-1,308827	-11,15%
usluge doka (Y2)	5,9996816	5,3308768	-0,668805	-11,15%
rad na čeliku(Y3)	12,213945	6,6702958	-5,543649	-45,39%
radovi na bojanju (Y4)	17,195479	12,792279	-4,403201	-25,61%
transfer i kašnjenje (Y5)	55,987377	12,019135	-43,96824	-78,53%
posada za dokovanje (Y6)	77,708511	39,698243	-38,01027	-48,91%
DO23	1,5582431	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,4942529	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,2349665	-0,03625	-1,11%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,042662	9,101217	-6,941445	-43,27%
usluge doka (Y2)	16,326648	5,5524394	-10,77421	-65,99%
rad na čeliku(Y3)	7,9439669	5,0980281	-2,845939	-35,83%
radovi na bojanju (Y4)	22,719516	13,61667	-9,102846	-40,07%
transfer i kašnjenje (Y5)	46,753229	10,561911	-36,19132	-77,41%
posada za dokovanje (Y6)	91,06499	32,969041	-58,09595	-63,80%
DO24	1,1405999	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5747126	1,4561707	-0,118542	-7,53%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,271217	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19120,833	19120,833	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,762178	10,312273	-1,449904	-12,33%
usluge doka (Y2)	9,6708055	6,2590935	-3,411712	-35,28%
rad na čeliku(Y3)	16,235594	5,2659322	-10,96966	-67,57%
radovi na bojanju (Y4)	24,740847	14,758646	-9,982201	-40,35%
transfer i kašnjenje (Y5)	20,799066	12,170073	-8,628993	-41,49%
posada za dokovanje (Y6)	64,187253	38,105528	-26,08172	-40,63%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-6. Kategorijski model CCR, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO25	1,5058947	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6896552	1,5337466	-0,155909	-9,23%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,6096225	2,6096225	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,07036	9,3435216	-4,726838	-33,59%
usluge doka (Y2)	14,759631	4,5488368	-10,21079	-69,18%
rad na čeliku(Y3)	15,983445	5,6538716	-10,32957	-64,63%
radovi na bojanju (Y4)	24,219039	11,905512	-12,31353	-50,84%
transfer i kašnjenje (Y5)	32,366865	10,642672	-21,72419	-67,12%
posada za dokovanje (Y6)	82,646945	34,032643	-48,6143	-58,82%
DO26	1,1433669	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4712644	1,4712644	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,7198883	2,7198883	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26475	26475	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,578797	8,7030861	-7,875711	-47,50%
usluge doka (Y2)	9,0588984	4,770817	-4,288081	-47,34%
rad na čeliku(Y3)	6,2760267	5,4890751	-0,786952	-12,54%
radovi na bojanju (Y4)	20,653613	12,469424	-8,18419	-39,63%
transfer i kašnjenje (Y5)	88,510803	9,882196	-78,62861	-88,84%
posada za dokovanje (Y6)	83,438395	31,116027	-52,32237	-62,71%
DO29	1,7430402	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5764706	1,5764706	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,4820296	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21136,867	21136,867	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,426934	9,9980106	-7,428924	-42,63%
usluge doka (Y2)	11,098376	4,9787596	-6,119617	-55,14%
rad na čeliku(Y3)	23,99809	5,9411959	-18,05689	-75,24%
radovi na bojanju (Y4)	28,139128	12,326802	-15,81233	-56,19%
transfer i kašnjenje (Y5)	13,311392	7,6368817	-5,67451	-42,63%
posada za dokovanje (Y6)	56,503524	32,41665	-24,08687	-42,63%
DO30	1,6265224	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7058824	1,7058824	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,4820296	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	30848,4	30848,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,752308	9,0601321	-8,692176	-48,96%
usluge doka (Y2)	7,0732251	3,7199535	-3,353272	-47,41%
rad na čeliku(Y3)	14,952881	6,2232138	-8,729667	-58,38%
radovi na bojanju (Y4)	18,107927	11,13291	-6,975018	-38,52%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,7389711	4,7579861	-2,980985	-38,52%
posada za dokovanje (Y6)	45,664576	27,312868	-18,35171	-40,19%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-7.Kategorijski model CCR, referentni skupovi, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Kategorija	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
1	DO01	0,898667	18	1,112759	1	DO04	0,179828	DO08	0,65429	DO17	0,239554				
2	DO02	0,583483	32	1,713846	1	DO05	0,255393	DO06	0,71528	DO20	0,047470	DO27	0,21938		
3	DO03	0,67217	27	1,487718	1	DO04	0,234156	DO08	0,41728	DO27	0,151692	DO28	0,14987		
4	DO04	1	1	1	1	DO04	1								
5	DO05	1	1	1	1	DO05	1								
6	DO06	1	1	1	1	DO06	1								
7	DO07	0,584805	31	1,709972	1	DO04	0,184651	DO05	0,43472	DO08	0,22449	DO27	0,22684		
8	DO08	1	1	1	1	DO08	1								
9	DO09	0,897931	19	1,113672	1	DO04	0,459743	DO05	0,006455	DO08	0,405194	DO27	0,072481	DO28	0,087869
10	DO10	0,559882	34	1,786091	1	DO05	0,534995	DO08	0,43068	DO27	0,192415				
11	DO11	0,905096	17	1,104855	1	DO05	0,15	DO08	0,85						
12	DO12	0,878357	21	1,13849	1	DO08	0,92221	DO20	0,000308	DO27	0,115868				
13	DO13	0,803648	25	1,244325	1	DO05	0,346231	DO08	0,58256	DO20	0,028180	DO27	0,001635		
14	DO14	0,999091	15	1,000909	1	DO04	0,230738	DO17	0,24789	DO20	0,172492	DO27	0,041963	DO28	0,33894
15	DO15	0,680135	26	1,470297	1	DO06	0,297592	DO20	0,3436	DO27	0,103583	DO28	0,25587		
16	DO16	0,917246	16	1,09022	1	DO06	0,031059	DO08	0,12207	DO20	0,563785	DO27	0,36983		
17	DO17	1	1	1	1	DO17	1								

Prilog 4-7. Kategorijski model CCR, referentni skupovi (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Kategorija	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
18	DO18	1	1	1	1	DO18	1								
19	DO19	0,838434	24	1,1927	1	DO06	0,164859	DO20	0,57523	DO27	0,150749	DO28	0,22026		
20	DO20	1	1	1	1	DO20	1								
21	DO21	1	1	1	1	DO21	1								
22	DO22	0,888527	20	1,125459	1	DO05	0,177917	DO20	0,55553	DO27	0,23583				
23	DO23	0,641748	29	1,558243	1	DO20	0,957482	DO28	0,11396						
24	DO24	0,876732	22	1,1406	1	DO20	1,003737	DO27	0,016658						
25	DO25	0,664057	28	1,505895	1	DO20	0,669344	DO27	0,37787						
26	DO26	0,87461	23	1,143367	1	DO20	0,720219	DO27	0,17178	DO28	0,15936				
27	DO27	1	1	1	1	DO27	1								
28	DO28	1	1	1	1	DO28	1								
29	DO29	0,57371	33	1,74304	1	DO04	0,172013	DO08	0,15844	DO20	0,687106	DO27	0,1339	DO28	0,000681
30	DO30	0,614809	30	1,626522	1	DO04	0,37495	DO17	0,55071	DO27	0,253976	DO28	0,066757		
31	DO31	1	1	1	2	DO31	1								
32	DO32	1	1	1	2	DO32	1								
33	DO33	1	1	1	2	DO33	1								
34	DO34	1	1	1	2	DO34	1								

Prilog 4-8.Kategorijski model BCC, projekcije, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

DO	1/efikasnost	Kategorija		
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO01	1,0654078	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1204819	1,2167673	-0,903715	-42,62%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	5,9462789	-0,226561	-3,67%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	15378,667	15378,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,575931	13,681082	-0,89485	-6,14%
usluge doka (Y2)	13,179879	5,9373262	-7,242553	-54,95%
rad na čeliku(Y3)	21,301815	15,69744	-5,604375	-26,31%
radovi na bojanju (Y4)	20,624323	15,388981	-5,235342	-25,38%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,3405096	5,9512512	-0,389258	-6,14%
posada za dokovanje (Y6)	74,213583	36,621817	-37,59177	-50,65%
DO02	1,4458427	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,3327418	-0,835933	-38,55%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	3,6767059	-2,496134	-40,44%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21277,333	21277,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	19,219994	11,237395	-7,982598	-41,53%
usluge doka (Y2)	13,210124	4,0067665	-9,203358	-69,67%
rad na čeliku(Y3)	13,484241	8,7579299	-4,726311	-35,05%
radovi na bojanju (Y4)	14,327284	9,909297	-4,417987	-30,84%
transfer i kašnjenje (Y5)	24,957278	15,407424	-9,549854	-38,26%
posada za dokovanje (Y6)	85,030589	42,959639	-42,07095	-49,48%
DO03	1,4757691	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,1927711	1,1927711	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	5,2558034	-0,917036	-14,86%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	20013,333	20013,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,908628	12,135115	-5,773512	-32,24%
usluge doka (Y2)	7,7223814	5,2327845	-2,489597	-32,24%
rad na čeliku(Y3)	26,130532	12,045124	-14,08541	-53,90%
radovi na bojanju (Y4)	22,694365	13,35976	-9,334604	-41,13%
transfer i kašnjenje (Y5)	25,247683	6,6845427	-18,56314	-73,52%
posada za dokovanje (Y6)	51,021838	34,573051	-16,44879	-32,24%
DO07	1,6650609	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,3975904	1,2856012	-0,111989	-8,01%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,2446125	-0,475078	-8,31%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17822,4	17822,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	20,149316	12,101249	-8,048067	-39,94%
usluge doka (Y2)	10,040751	5,0475184	-4,993233	-49,73%
rad na čeliku(Y3)	20,949379	10,904523	-10,04486	-47,95%
radovi na bojanju (Y4)	18,740528	11,255161	-7,485367	-39,94%
transfer i kašnjenje (Y5)	23,628901	7,7584437	-15,87046	-67,17%
posada za dokovanje (Y6)	65,217997	39,168537	-26,04946	-39,94%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-8. Kategorijski model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO09	1,08999	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2409639	1,1731773	-0,067787	-5,46%
omjer duljina reza/GT (X2)	5,7196901	5,7184568	-0,001233	-0,02%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	18273,6	18273,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,991722	13,754	-1,237722	-8,26%
usluge doka (Y2)	6,7790513	5,6073744	-1,171677	-17,28%
rad na čeliku(Y3)	18,737345	12,678717	-6,058628	-32,33%
radovi na bojanju (Y4)	15,184018	13,93042	-1,253598	-8,26%
transfer i kašnjenje (Y5)	6,0593975	5,5591314	-0,500266	-8,26%
posada za dokovanje (Y6)	38,606056	33,598704	-5,007352	-12,97%
DO10	1,6394287	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6144578	1,3508107	-0,263647	-16,33%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	5,0259949	-1,519761	-23,22%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	17111,033	17111,033	0	0,00%
najam doka (Y1)	18,022604	10,993222	-7,029382	-39,00%
usluge doka (Y2)	10,751353	4,9697412	-5,781612	-53,78%
rad na čeliku(Y3)	21,149952	11,70826	-9,441693	-44,64%
radovi na bojanju (Y4)	18,71092	11,413073	-7,297847	-39,00%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,273136	9,431704	-6,841432	-42,04%
posada za dokovanje (Y6)	69,059862	42,124345	-26,93552	-39,00%
DO11	1,1048551	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5542169	1,2789157	-0,275301	-17,71%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,5457556	6,5457556	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10341,833	10341,833	0	0,00%
najam doka (Y1)	15,308182	13,855376	-1,452807	-9,49%
usluge doka (Y2)	8,820121	6,5916326	-2,228488	-25,27%
rad na čeliku(Y3)	24,636422	21,080643	-3,555779	-14,43%
radovi na bojanju (Y4)	23,620821	15,816458	-7,804363	-33,04%
transfer i kašnjenje (Y5)	16,951479	7,2939193	-9,657559	-56,97%
posada za dokovanje (Y6)	54,395183	45,832137	-8,563046	-15,74%
DO12	1,1185263	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	2,1686747	1,2723849	-0,89629	-41,33%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1513327	-0,021507	-0,35%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	12429,333	12429,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,772047	13,206706	-1,565342	-10,60%
usluge doka (Y2)	9,2182139	6,3340127	-2,884201	-31,29%
rad na čeliku(Y3)	21,395734	19,128504	-2,26723	-10,60%
radovi na bojanju (Y4)	21,729386	16,556329	-5,173057	-23,81%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,6523658	6,8414717	-0,810894	-10,60%
posada za dokovanje (Y6)	75,900256	41,489809	-34,41045	-45,34%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-8. Kategorijski model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO13	1,2230431	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7108434	1,294404	-0,416439	-24,34%
omjer duljina reza/GT (X2)	6,1728395	6,1728395	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	10954,667	10954,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,762814	13,705825	-3,056989	-18,24%
usluge doka (Y2)	8,3670805	6,6325104	-1,73457	-20,73%
rad na čeliku(Y3)	21,886501	16,606053	-5,280449	-24,13%
radovi na bojanju (Y4)	21,697867	16,52792	-5,169947	-23,83%
transfer i kašnjenje (Y5)	12,852939	7,3167742	-5,536165	-43,07%
posada za dokovanje (Y6)	66,529854	44,33728	-22,19257	-33,36%
DO15	1,4698749	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,2873563	1,2873563	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	3,2247628	-0,010189	-0,31%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26722	26722	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,992041	9,2869408	-5,7051	-38,05%
usluge doka (Y2)	6,9531996	4,5846542	-2,368545	-34,06%
rad na čeliku(Y3)	10,108564	6,8771594	-3,231405	-31,97%
radovi na bojanju (Y4)	17,108246	11,639253	-5,468993	-31,97%
transfer i kašnjenje (Y5)	34,244302	11,337504	-22,9068	-66,89%
posada za dokovanje (Y6)	72,851992	33,417448	-39,43454	-54,13%
DO16	1,0605417	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7471264	1,4508953	-0,296231	-16,96%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,234952	2,5676479	-0,667304	-20,63%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	22986,667	22986,667	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,01178	9,9573326	-1,054447	-9,58%
usluge doka (Y2)	4,8325374	4,556669	-0,275868	-5,71%
rad na čeliku(Y3)	6,6415154	6,2623804	-0,379135	-5,71%
radovi na bojanju (Y4)	14,785419	12,116295	-2,669123	-18,05%
transfer i kašnjenje (Y5)	10,517566	9,9171645	-0,600402	-5,71%
posada za dokovanje (Y6)	47,869073	34,818951	-13,05012	-27,26%
DO19	1,1280456	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,4942529	0	0,00%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	2,4747864	-0,764876	-23,61%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	28661,5	28661,5	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,69914	8,8577324	-5,841408	-39,74%
usluge doka (Y2)	8,9299586	4,7664266	-4,163532	-46,62%
rad na čeliku(Y3)	6,7328876	5,9686308	-0,764257	-11,35%
radovi na bojanju (Y4)	13,249284	11,745344	-1,503939	-11,35%
transfer i kašnjenje (Y5)	31,831939	10,281794	-21,55014	-67,70%
posada za dokovanje (Y6)	61,410981	32,916848	-28,49413	-46,40%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-8. Kategorijski model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO22	1,1132024	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6206897	1,4428281	-0,177862	-10,97%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,2396622	3,2396622	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19653,6	19653,6	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,741165	10,547197	-1,193968	-10,17%
usluge doka (Y2)	5,9996816	5,3895693	-0,610112	-10,17%
rad na čeliku(Y3)	12,213945	6,4940935	-5,719851	-46,83%
radovi na bojanju (Y4)	17,195479	13,262557	-3,932922	-22,87%
transfer i kašnjenje (Y5)	55,987377	11,481858	-44,50552	-79,49%
posada za dokovanje (Y6)	77,708511	40,178226	-37,53028	-48,30%
DO23	1,4848846	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4942529	1,4252874	-0,068966	-4,62%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,2396622	-0,031555	-0,96%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	18561,733	-4971,6	-21,13%
najam doka (Y1)	16,042662	10,560331	-5,48233	-34,17%
usluge doka (Y2)	16,326648	6,4915632	-9,835084	-60,24%
rad na čeliku(Y3)	7,9439669	5,3498886	-2,594078	-32,65%
radovi na bojanju (Y4)	22,719516	15,209487	-7,510029	-33,06%
transfer i kašnjenje (Y5)	46,753229	12,485867	-34,26736	-73,29%
posada za dokovanje (Y6)	91,06499	39,051085	-52,01391	-57,12%
DO24	1,1308366	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5747126	1,4161246	-0,158588	-10,07%
omjer duljina reza/GT (X2)	3,271217	3,271217	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	19120,833	19120,833	0	0,00%
najam doka (Y1)	11,762178	10,401306	-1,360871	-11,57%
usluge doka (Y2)	9,6708055	6,3674149	-3,303391	-34,16%
rad na čeliku(Y3)	16,235594	5,4445468	-10,79105	-66,47%
radovi na bojanju (Y4)	24,740847	14,938862	-9,801985	-39,62%
transfer i kašnjenje (Y5)	20,799066	12,249564	-8,549502	-41,11%
posada za dokovanje (Y6)	64,187253	38,484389	-25,70286	-40,04%
DO25	1,4805408	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,6896552	1,4269373	-0,262718	-15,55%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,6096225	2,6096225	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	23533,333	23533,333	0	0,00%
najam doka (Y1)	14,07036	9,5035272	-4,566833	-32,46%
usluge doka (Y2)	14,759631	5,0168743	-9,742756	-66,01%
rad na čeliku(Y3)	15,983445	5,7861512	-10,19729	-63,80%
radovi na bojanju (Y4)	24,219039	13,014148	-11,20489	-46,26%
transfer i kašnjenje (Y5)	32,366865	10,838932	-21,52793	-66,51%
posada za dokovanje (Y6)	82,646945	34,308003	-48,33894	-58,49%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-8. Kategorijski model BCC, projekcije (nastavak)

DO	1/efikasnost			
I/O	Podaci	Projekcija	Razlika	Razlika u %
DO26	1,1157585	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,4712644	1,3550639	-0,1162	-7,90%
omjer duljina reza/GT (X2)	2,7198883	2,7198883	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	26475	26475	0	0,00%
najam doka (Y1)	16,578797	8,8541493	-7,724647	-46,59%
usluge doka (Y2)	9,0588984	5,3391617	-3,719737	-41,06%
rad na čeliku(Y3)	6,2760267	5,624897	-0,65113	-10,37%
radovi na bojanju (Y4)	20,653613	13,809906	-6,843707	-33,14%
transfer i kašnjenje (Y5)	88,510803	10,066323	-78,44448	-88,63%
posada za dokovanje (Y6)	83,438395	31,366441	-52,07195	-62,41%
DO29	1,6787669	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,5764706	1,2801838	-0,296287	-18,79%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	4,4820296	0	0,00%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	21136,867	21136,867	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,426934	10,380794	-7,04614	-40,43%
usluge doka (Y2)	11,098376	5,5313468	-5,56703	-50,16%
rad na čeliku(Y3)	23,99809	9,3674281	-14,63066	-60,97%
radovi na bojanju (Y4)	28,139128	14,725503	-13,41362	-47,67%
transfer i kašnjenje (Y5)	13,311392	7,4295836	-5,881808	-44,19%
posada za dokovanje (Y6)	56,503524	33,657754	-22,84577	-40,43%
DO30	1,4824634	1		
omjer nužne i ukrcane posade (X1)	1,7058824	1,1283835	-0,577499	-33,85%
omjer duljina reza/GT (X2)	4,4820296	3,9652791	-0,516751	-11,53%
pov.pod.dijela x mj.u moru (X3)	30848,4	30848,4	0	0,00%
najam doka (Y1)	17,752308	10,012265	-7,740044	-43,60%
usluge doka (Y2)	7,0732251	4,4706156	-2,602609	-36,80%
rad na čeliku(Y3)	14,952881	8,7734229	-6,179458	-41,33%
radovi na bojanju (Y4)	18,107927	12,214755	-5,893172	-32,54%
transfer i kašnjenje (Y5)	7,7389711	5,2203455	-2,518626	-32,54%
posada za dokovanje (Y6)	45,664576	25,526974	-20,1376	-44,10%

Napomena: izostavljeni su efikasni DO, jer im je iznos projekcija 0

Prilog 4-9.Kategorijski model BCC, referentni skupovi, izvor: izračun autora, softver DEA Solver Pro

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Kategorija	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
1	DO01	0,938608	17	1,065408	1	DO04	0,261525	DO08	0,64515	DO28	0,093330				
2	DO02	0,691638	26	1,445843	1	DO06	0,551204	DO27	0,4488						
3	DO03	0,677613	28	1,475769	1	DO04	0,257626	DO06	0,15633	DO08	0,388076	DO27	0,017430	DO28	0,18053
4	DO04	1	1	1	1	DO04	1								
5	DO05	1	1	1	1	DO05	1								
6	DO06	1	1	1	1	DO06	1								
7	DO07	0,600579	33	1,665061	1	DO04	0,297339	DO05	0,44165	DO08	3,97E-02	DO27	0,22131		
8	DO08	1	1	1	1	DO08	1								
9	DO09	0,91744	18	1,08999	1	DO04	0,48657	DO05	0,068878	DO08	0,324466	DO28	0,12009		
10	DO10	0,609969	32	1,639429	1	DO04	0,021690	DO05	0,44385	DO08	0,253385	DO27	0,28107		
11	DO11	0,905096	19	1,104855	1	DO05	0,15	DO08	0,85						
12	DO12	0,894034	22	1,118526	1	DO05	0,010237	DO08	0,9075	DO20	0,023171	DO28	0,059094		
13	DO13	0,817633	25	1,223043	1	DO05	0,049566	DO08	0,83765	DO20	0,112777				
14	DO14	1	1	1	1	DO14	1								
15	DO15	0,68033	27	1,469875	1	DO06	0,295721	DO20	0,34315	DO27	0,105895	DO28	0,25523		
16	DO16	0,942914	16	1,060542	1	DO04	0,061620	DO17	0,012717	DO20	0,514024	DO27	0,41164		
17	DO17	1	1	1	1	DO17	1								

Prilog 4-9. Kategorijski model BCC, referentni skupovi (nastavak)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Red. Br.	DO	Iznos efikasnosti	Rang	1/iznos efikasnosti	Kategorija	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent	Referentni DO	Lambda koeficijent
18	DO18	1	1	1	1	DO18	1								
19	DO19	0,886489	23	1,128046	1	DO18	0,215712	DO20	0,41347	DO27	0,143128	DO28	0,22769		
20	DO20	1	1	1	1	DO20	1								
21	DO21	1	1	1	1	DO21	1								
22	DO22	0,898309	20	1,113202	1	DO08	0,105341	DO20	0,58301	DO21	0,143578	DO27	0,16806		
23	DO23	0,673453	31	1,484885	1	DO20	1								
24	DO24	0,884301	24	1,130837	1	DO05	0,022735	DO20	0,95622	DO28	0,021046				
25	DO25	0,675429	29	1,480541	1	DO20	0,695944	DO27	0,22481	DO28	0,079242				
26	DO26	0,896251	21	1,115759	1	DO20	0,749158	DO27	0,005272	DO28	0,245569				
27	DO27	1	1	1	1	DO27	1								
28	DO28	1	1	1	1	DO28	1								
29	DO29	0,595675	34	1,678767	1	DO04	0,043016	DO08	0,47069	DO20	0,273986	DO28	0,21231		
30	DO30	0,674553	30	1,482463	1	DO04	0,558955	DO27	0,035471	DO28	0,405574				
31	DO31	1	1	1	2	DO31	1								
32	DO32	1	1	1	2	DO32	1								
33	DO33	1	1	1	2	DO33	1								
34	DO34	1	1	1	2	DO34	1								

ŽIVOTOPIS

Denis Rabar rođen je 12. rujna 1970. godine u Puli. Osnovnu i srednju školu završava u Puli te upisuje studij strojarstva na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci na kojem 1997. godine stječe zvanje diplomiranog inženjera strojarstva, smjer broдостrojarstvo. Iste godine zapošljava se u tvrtki Uljanik Brodogradilište d.d. u Puli, u kojoj je zaposlen do 2019. godine.

U razdoblju od 2003. do 2013. godine radi kao nastavnik na Visokoj tehničkoj školi s pravom javnosti – Politehnika Pula.

U razdoblju od 1997. do 1998. godine u Uljanik Brodogradilištu d.d. radi kao inženjer u pogonu na koordinaciji opremnih radova broda za prijevoz tekućeg tereta. Od 1998. do 2013. godine na dužnosti je rukovoditelja primopredaje gdje se bavi koordinacijom završnih opremnih radova na brodu te planiranjem, pripremanjem i rukovođenjem funkcionalnih ispitivanja brodskih strojeva, uređaja i sustava. Djelokrug odgovornosti obuhvaćao je pripremu, planiranje i vođenje dokovanja brodova te planiranje, pripremu i rukovođenje pokusnim plovdbama brodova. Od 2013 do 2018. godine na dužnosti je rukovoditelja primopredaje i kontrole, gdje se njegov djelokrug poslova proširuje za djelatnosti kontrole dimenzija u proizvodnji brodskog trupa te predaje brodske strukture i brodske opreme, vizualne kontrole i kontrole materijala metodama bez razaranja. Za vrijeme rada u brodogradilištu sudjeluje u svojstvu rukovoditelja poslova i procesa na ukupno osamdeset i osam brodograđevnih pothvata: 21 tanker za prijevoz kemikalija (*Chemical & Product Tanker*), 28 brodova za prijevoz automobila (*Pure Car and Truck Carrier*), pet brodova za prijevoz rasutog tereta (*Bulk Carrier*), dva RO-RO broda, šest brodova za prijevoz vagona (*Wagon Carrier, Caspian Sea*), sedam Con-RO brodova (*Container RO-RO*), tri barže za prijevoz ukapljenog naftnog plina (*LPG barge*), pet jaružara za kopanje (*Cutter Suction Dredgers*), dva jaružara za usisavanje (*Trailing Suction Hopper Dredger*), dva ribarska broda (*Stern Trawler*) s tvornicom ribe, dva trajekta (*Ferry*), jedna samopodizna platforma (*Jack-Up Platform*), jedan brod za prijevoz žive stoke (*Live Stock Carrier*), jedan višenamjenski brod/kabelopolagač (*Multi Purpose Construction Vessel/Cable Layer*), jedan brod za polarna krstarenja (*Polar Exploring Cruiser*) te jedan brod za prijevoz asfalta (*Asphalt Carrier*). Godine 2018. postaje

predsjednikom uprave brodogradilišta i provodi reorganizaciju i pripreme za restrukturiranje tvrtke.

Pored rukovodnih dužnosti, kao garantni inženjer provodi četiri mjeseca na brodu u službi. U okviru organizacije brodogradilišta član je tima za upravljanje kvalitetom, upravljanje okolišem te upravljanje zdravljem i sigurnošću. Ujedno je i član tima za integralno planiranje brodograđevnog procesa.

Sudjeluje u obrazovanju za projektni menadžment na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, auditor je za standarde ISO 9000 i ISO 14000 te ovlaštenik poslodavca za zaštitu na radu. Pohađa osposobljavanja za rukovodne i komunikacijske vještine te tehnike pregovaranja. Certificirani je CAD korisnik, a i certificiran je po IPMA sustavu razine D.

Materinski jezik mu je hrvatski, a služi se i engleskim i talijanskim jezikom.

Oženjen je i otac dviju kćeri.

Popis objavljenih radova:

Rabar, D., Pavletić, D., Doboviček, S., & Vlatković, M. (2021a). Dry-docking performance measurement model—multi criteria non parametric approach. *Ships and Offshore Structures*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/17445302.2021.1907085>

Rabar, D., Rabar, D., & Pavletić, D. (2021b). Two-Step Manufacturing Process Measurement Model Using Qualitative and Quantitative Data—A Case of Newbuilding Dry-Docking. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 464. <https://doi.org/10.3390/jmse9050464>

Rabar, D., & Pavletić, D. (2021, June). Vessel's structure fabrication process measurement – a dry-docking case . *Proceedings of the 8th International Conference on Marine Structures (MARSTRUCT 2021), June 7-9, 2021, Trondheim, Norway* – u postupku objavljivanja