Recikliranje elektroničkoga otpada primjenom metoda oplemenjivanja mineralnih sirovina

Fuk, Branimir

Doctoral thesis / Disertacija

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:282289

Rights / Prava: Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-06**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

BRANIMIR FUK

RECIKLIRANJE ELEKTRONIČKOGA OTPADA PRIMJENOM METODA OPLEMENJIVANJA MINERALNIH SIROVINA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2012.

Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

BRANIMIR FUK

RECIKLIRANJE ELEKTRONIČKOGA OTPADA PRIMJENOM METODA OPLEMENJIVANJA MINERALNIH SIROVINA

DOKTORSKI RAD

Mentor: dr. sc. Gordan Bedeković

Zagreb, 2012.

University of Zagreb

FACULTY OF MINING, GEOLOGY
AND PETROLEUM ENGINEERING

BRANIMIR FUK

RECYCLING OF ELECTRONIC WASTE USING MINERAL PROCESSING METHODS

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Gordan Bedeković, PhD

Zagreb, 2012

Doktorski rad izrađen je u Zavodu za rudarstvo i geotehniku Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor: dr. sc. Gordan Bedeković, RGN Fakultet

Doktorski rad sadrži:

- *sažetak na hrvatskom i engleskom jeziku;*
- *362 stranice teksta;*
- *98 tablica;*
- *257 slika;*
- *32 grafikona;*
- *95 korištenih oznaka i odgovarajuće SI jedinice;*
- *49 referenci;*
- *3 priloga;*
- *životopis autora;*
- *popis objavljenih radova.*

Velika hvala mentoru doc.dr.sc. Gordanu Bedekoviću na strpljenju, konstruktivnim savjetima i podršci pruženoj tijekom konzultacija za vrijeme izrade ove disertacije.

Zahvaljujem doc.dr.sc. Ivanu Soboti, doc.dr.sc. Slavk Pfaff, prof.dr.sc. Igoru Zoriću i doc.dr.sc. Aleksandri Anić Vučinić na korisnim dopunama i sugestijama u završnoj fazi izrade rada.

Zahvaljujem kolegama dipl.ing. Anamariji Kutlić i Veranu Matošinu za pomoć pri izvođenju laboratorijskih testova u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša RGN fakulteta.

Također zahvaljujem gosp. Kerimu Mujkiću i tvrtci Spectra-media d.o.o. na korisnim savjetima i pruženoj prilici da dodatno upoznam recikliranje elektroničkog otpada u praksi.

Posebnu zahvalnost dugujem mojoj obitelji na strpljenju i razumijevanju kada za njih nisam bio slobodan.

Hvala i mom ocu koji mi je pomogao i vjerovao u mene da ću dosegnuti krunu svog obrazovanja.

Svima ostalima, koje nisam spomenuo poimence, hvala na podršci i strpljenju prilikom izrade ove doktorske disertacije.

SAŽETAK

Sve kraći uporabni vijek elektroničkih uređaja i opreme posljedica je sve bržeg razvoja i usvajanja novih tehnologija, te uzrok eksponencijalnog rasta količina električnog i elektroničkog otpada, kako na globalnoj razini, tako i u RH,a isti trendovi mogu se očekivati i u budućnosti. Recikliranje kao integralni dio suvremenog sustava gospodarenja otpadom omogućava dobivanje sekundarnih sirovina, čime se smanjuje količina otpada i prostor potreban za njegovo odlaganje, štede se primarne sirovine i smanjuju emisije u okoliš pri proizvodnji novih proizvoda, itd. Osnovni cilj kojem se teži u recikliranju je separirati različite materijale sadržane u otpadu u zasebne produkte koji se mogu upotrijebiti kao sekundarna sirovina i koji kao takvi imaju određenu tržišnu vrijednost. Preduvjet uspješne separacije je postizanje raščina, tj. oslobađanje međusobno (mehanički, kemijski ili termički) spojenih različitih materijala. Uspjeh recikliranja električnog i elektroničkog otpada ovisi o značajkama otpada, separacijskih postupaka i uređaja koji se pri tome primjenjuju, te naravno uvjetima (vrijednosti radnih varijabli uređaja) u kojima se separacija izvodi.

Prva faza procesa recikliranja sastoji se od ručne demontaže i izdvajanja krupnijih dijelova otpadnih uređaja, pri čemu se izdvaja veći udio željeza, bakra, stakla i plastike. Ostale dijelove potrebno je usitniti zbog postizanja raščina, a zatim prikladnim separacijskim postupcima izdvajati pojedine vrste materijala. U ovom radu su iz televizijskih aparata ručnom demontažom izdvojeni uz kučište i veliki kondenzatori i katodne cijevi koje sadrže fosforni prah i kadmij, te su zbog nemogućnosti sigurnog ispitivanja isključene iz daljnjeg ispitivanja. Izdvojena drvena kučišta isključena su iz daljnjeg ispitivanja jer je s vremenom došlo do kontaminacije štetnim tvarima kao što su krom, olovo, živa, sumpor, nikal, cink i sl., a u plastična kučišta umiješani su bromirani inhibitori gorenja koji, i u vrlo malim količinama, kontaminiraju plastiku čineći je nepogodnom za dobivanje nove plastike.

Ostali materijal je, s obzirom na svoje značajke, podijeljen u tri grupe koje su ispitivane zasebno. Grupa nazvana „Zvučnici“ sastavni je dio audio sustava, a sadrži najviše željeza i nešto manje bakra u svitcima, uz plastiku, karton i tekstil. Grupa „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“ ima veliku zastupljenost bakra, a treća grupa „Tiskane pločice“ uz vodljivu bakrenu strukturu sadržava i mnoštvo rijetkih metala na nevodljivoj osnovi (vitroplast, pertinks). Za svaku od prethodno navedenih grupa sastavljen je zaseban plan istraživanja. Za sve grupe prvo je provedeno sitnjenje u cilju postizanja raščina, zatim sijanje za dobivanje klasa pogodnih za testove u pojedinim separatorima.

Plan testiranja separacije u zračnoj struji i elektrostatičke separacije sastavljen je uz upotrebu statističkog planiranja eksperimenata u programskom sustavu Statistica (*Version 8, tvrtke StatSoft*) prema centralno složenom dizajnu (*Central Composite Design*) koji uključuje 17 pokusa za svaku klasu na pojedinom uređaju. Analizom varijance utvrđen je utjecaj pojedine nezavisne varijable odnosno utjecaj međudjelovanja po dvije (od tri testirane) nezavisne varijable na jednu od dvije zavisne varijabli (kvaliteta koncentrata ili maseno iskorištenje) uz procjenu veličine tog utjecaja. Utjecaj pojedinih varijabli u gravitacijskoj i magnetskoj separaciji testiran je na način da je mijenjana vrijednost jedne varijable, dok su sve ostale držane konstantnim.

Testovi separacije u zračnoj struji pokazali su da na kvalitetu koncentrata najveći utjecaj ima visina pregrade, a najmanji brzina zračne struje, a od međudjelovanja varijabli najviše utječe visina pregrade i položaj ulaznog otvora. Visina pregrade u svim slučajevima imala je najveći utjecaj na iskorištenje. Najbolji rezultati (kvaliteta koncentrata od 99 % do 100 % uz iskorištenja od 80 % do 99 %) postizani su separacijom zrna većih od 2 mm (klase 4/2 mm i 3,15/2 mm), a sa smanjenjem veličine zrna smanjivala se i efikasnost separacije.

Elektrostatičkom separacijom postizala se visoka kvaliteta koncentrata u svim klasama, a najbolji rezultati dobiveni su u testovima s najkrupnijom klasom (4/2 mm). U svim testovima najveći utjecaj imao je položaj separacijskog noža. Kada se razmotre međudjelovanja varijabli, najveći utjecaj imalo je međudjelovanje položaja separacijskog noža s naponom ionizacijske elektrode i s brzinom okretanja bubnja.

Rezultati dobiveni magnetskom separacijom pokazali su da je u najvećem broju slučajeva (pogotovo za krupnije klase) mokra separacija bolja od suhe, dok su se razlike smanjivale sa smanjenjem veličine zrna. Najbolji rezultati i mokre niskointenzivne i suhe visokointenzivne magnetske separacije postignuti su s najsitnijom klasom, -0,5 mm. Testovi gravitacijske koncentracije pokazali su da je za kvalitetniji koncentrat potrebno raditi s manjim nagibima ploče koncentracijskog stola. Temeljem dobivenih rezultata predložena je segregacijska shema recikliranja elektroničkog otpada.

Osnovna hipoteza ovog rada, da se uređaji i postupci koji se koriste u oplemenjivanju mineralnih sirovina mogu koristiti i za recikliranje električnog i elektroničkog otpada potvrđena je temeljem rezultata provedenih ispitivanja.

ABSTRACT

The ever shorter life cycle of electronic devices and equipment is a consequence of increasingly quick development and adoption of new technologies, and a reason for exponential growth of the quantity of electrical and electronic waste, both at the global level and in the Republic of Croatia, and identical trends can be anticipated also in the future. Recycling as an integral part of the contemporary waste management system enables obtaining of secondary raw materials, whereby the quantity of waste and the space necessary for its disposal are reduced, primary raw materials are saved and environmental emissions occurring at manufacturing of new products are reduced. The basic goal striven for in recycling is to separate the different materials contained in waste into separate products which can be used as secondary raw material and which as such have a certain market value. A precondition for successful separation is to achieve liberation of different mutually (mechanically, chemically or thermally) connected materials. The success in recycling electrical and electronic waste depends on the characteristics of waste, the applied separation procedures and devices, and of course on the conditions (values of operating variables of the devices) in which separation is carried out.

The first phase of the recycling process consists of manual dismantling and separation of larger parts of waste devices, whereby a larger share of iron, copper, glass and plastic materials is separated. The remaining parts need to be shredded in order to achieve liberation, and thereupon, by appropriate separation procedures, the single types of material shall be separated. In this dissertation beside enclosures and large condensers and cathode tubes containing phosphorus powder and cadmium have been manually separated from TV sets, and due to the impossibility of their save testing have been excluded from further testing. The separated wooden enclosures have been excluded from further testing, since over time contamination has occurred by harmful substances such as chrome, lead, mercury, sulphur, nickel, zinc, etc., whereas plastic enclosures contain brominated burning inhibitors, which even in very small quantities contaminate plastic materials rendering them inappropriate for obtaining new plastic.

The remaining material has been divided according to its characteristics into three groups which have been tested separately. The group called „Loudspeakers“ is an integral part of the audio system and it contains the highest quantity of iron and somewhat less copper in yokes, as well as plastic, cardboard and textile. In the group „Yokes, cables, connectors and

wires“ copper is represented to a high degree, and the third group of „Printed circuit boards“ contains, in addition to the copper conductor structure, also a lot of rare metals on a non-conductor basis (vitroplast, pertinax). For each of the previously indicated groups a separate test plan has been developed. For all groups shredding has been carried out first, in order to achieve liberation, followed by sieving in order to obtain classes appropriate for tests in individual separators.

The test plan for air and electrostatic separation has been developed by using statistical planning of experiments under application of the programme system *Statistica* (*Version 8, StatSoft*) according to a central composite design (*Central Composite Design*), including 17 tests for each class on the individual device. By analysing the variance, the impact of the individual independent variable as well as the impact of the interaction of two (out of the three tested) independent variables on one (out of the two) dependent variables (concentrate quality or mass recovery), along with the assessment of this impact, has been determined. The impact of individual variables in gravitation and magnetic separation has been tested in such a way that the value of one variable was changed, while all the other variables were kept constant.

Air separation tests have shown that the height of the compartment barrier has the highest impact on the quality of the concentrate, and airstream speed has the least impact, whereas with regard to the interaction of the variables, the barrier height and the position of the inlet have the highest impact. In all cases the barrier height had the highest impact on recovery. Best results (concentrate quality from 99 % to 100 % with recovery from 80 % to 99 %) were achieved at separation of grain larger than 2 mm (class 4/2 mm and 3,15/2 mm), whereas with reduced grain size separation efficiency decreased as well.

By electrostatic separation high quality of concentrate has been achieved in all classes, and best results have been obtained in tests with the coarsest grain class (4/2 mm). In all tests the position of the separation knife had the largest impact on concentrate quality. Regarding interactions of the variables the interaction of the separation knife position with the voltage of the ionising electrode and the drum rotation speed had the highest impact.

The results obtained by magnetic separation have shown that in most cases (in particular for coarser grain classes) wet separation is better than dry separation, whereas differences decreased with the decrease in the grain size. Best results of both the wet low-intensity and dry high-intensity separation were achieved with the smallest class, -0,5 mm. Tests of gravity concentration have shown that in order to achieve a better quality of the concentrate of better quality, concentration table should operate with smaller inclinations of

the plate. Based on the obtained results a segregation scheme for electronic waste recycling has been proposed.

The basic hypothesis of this dissertation, namely that the devices and procedures used in mineral processing can also be used for recycling electrical and electronic waste, has been confirmed by the results of the testing carried out.

KLJUČNE RIJEČI

Električni i elektronički otpad, recikliranje, raščin, separacija

KEYWORDS

Electric and electronic waste, Recycling, Liberation, Separation

SADRŽAJ

1.	Uvod ……...	1
1.1.	Predmet istraživanja i znanstvena hipoteza ...……...…..	1
1.2.	Svrha i ciljevi istraživanja ……...……...	2
1.3.	Pregled dosadašnjih istraživanja ……..……..	4
2.	Sekundarne sirovine iz elektroničkoga otpada …….	6
2.1.	Značaj recikliranja …….....	6
2.2.	Ekonomski i ekološki utjecaji postupaka recikliranja elektroničkoga otpada …….	10
2.3.	Zakonska regulativa …….…….....	14
3.	Recikliranje elektroničkoga otpada ……..……	21
3.1.	Postupci recikliranja elektroničkoga otpada…….....	22
3.1.1.	Postizanje raščina…..…….…….....	24
3.1.2.	Postupci klasiranja……... ……..…….…….....	25
3.1.3.	Separacija u zračnoj struji ..…….……..…….	25
3.1.4.	Magnetska separacija …….	26
3.1.5.	Elektrostatička separacija ……..	28
3.1.6.	Gravitacijska koncentracija ……	28
3.1.7.	Odvodnjavanje …….…..……	30
4.	Eksperimentalni dio …….…….....	31
4.1.	Osnovne značajke televizijskog aparata …….....	34
4.2.	Ručna demontaža uređaja…….....	35
4.3.	Opis uređaja……...……	36
4.3.1.	Uređaji za sitnjenje ……...……..….....	36
4.3.2.	Uređaji za klasiranje sijanjem …….…	42
4.3.3.	Model horizontalnog zračnog separatora ……..	46
4.3.4.	Magnetski separatori ……....…….……...…….	48
4.3.5.	Elektrostatički separator	52
4.3.6.	Koncentracijski stol…….	54
4.4.	Testiranje grupe „Zvučnici“…….....	56
4.4.1.	Priprema uzorka	56
4.4.2.	Određivanje granulometrijskog sastava …….	58

4.4.3. Separiranje u zračnom separatoru……..…… 61
4.4.3.1. Ispitivanje klase 3,15/2 mm…… 65
4.4.3.2. Ispitivanje klase 2/1 mm …….. 77
4.4.3.3. Ispitivanje klase 1/0,5 mm……. 88
4.4.3.4. Ispitivanje klase -0,5 mm……... 99
4.4.4. Separiranje u magnetskim separatorima 110
4.4.5. Gravitacijska koncentracija ……...…. 113
4.5. Testiranje grupe „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice.……... 115
4.5.1. Priprema uzorka……..… 116
4.5.2. Određivanje granulometrijskog sastava…… 118
4.5.3. Separiranje u zračnom separatoru…….…. 119
4.5.3.1. Ispitivanje klase 4/2 mm…… 120
4.5.3.2. Ispitivanje klase 2/1 mm…… 131
4.5.3.3. Ispitivanje klase 1/0,5 mm…… 142
4.5.3.4. Ispitivanje klase -0,5 mm…… 153
4.5.4. Separiranje u elektrostatičkom separatoru……. 164
4.5.4.1. Ispitivanje klase 4/2 mm…… 165
4.5.4.2. Ispitivanje klase 2/1 mm…… 176
4.5.4.3. Ispitivanje klase 1/0,5 mm…… 187
4.5.4.4. Ispitivanje klase -0,5 mm…… 198
4.5.5. Testovi magnetske separacije ……. 209
4.6. Testiranje grupe „Tiskane pločice“ …… 213
4.6.1. Priprema uzorka ……. 214
4.6.2. Određivanje granulometrijskog sastava ……..……... 217
4.6.3. Magnetska separacija…….. 219
4.6.4. Separiranje u zračnom separatoru…….…. 223
4.6.4.1. Ispitivanje klase 2/1 mm…… 224
4.6.4.2. Ispitivanje klase 1/0,5 mm……..…… 235
4.6.5. Separiranje u elektrostatičkom separatoru……. 246
4.6.5.1. Ispitivanje klase 2/1 mm…… 247
4.6.5.2. Ispitivanje klase 1/0,5 mm……..…… 258
4.7. Dijelovi televizijskog aparata koji nisu obuhvaćeni ispitivanjem …….. 269
5. Diskusija rezultata……..... 276

5.1. Grupa „Zvučnici“……..... 276
5.2. Grupa „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“…….. 285
5.3. Grupa „Tiskane pločice“……. 298
6. Prijedlog sheme tehnološkog procesa recikliranja elektroničkoga otpada …….……. 305
7. Zaključak …… 310
8. Literatura …….……... 317
9. Popis tablica ……... 321
10. Popis slika …….. 329
11. Popis grafikona ……... 350
12. Popis priloga ……... 353
13. Prilozi ……. 354
14. Popis oznaka i simbola ……... 357
15. Popis kratica ……... 360
16. Životopis ……. 361
17. Popis objavljenih radova …… 362

1. UVOD

1.1. PREDMET ISTRAŽIVANJA I ZNANSTVENA HIPOTEZA

Razmatranjem stanja u najrazvijenijim zemljama kao i rastom gospodarstva u zemljama u razvoju može se uočiti rastući trend usvajanja suvremenih tehnologija čiji je tehnološki vijek sve kraći što već danas pridonosi eksponencijalnom rastu elektroničkog otpada na globalnoj razini, a isti trendovi mogu se očekivati i u budućnosti. Recikliranje elektroničkog otpada postala je poželjna praksa svake suvremene i ekološki osviještene zemlje. Racionalni pristup korištenju neobnovljivih prirodnih resursa i dobivanje sekundarnih sirovina recikliranjem elektroničkog i električnog otpada jedini je mogući pristup za ostvarivanje održivog razvoja. U EU27 zemljama 2005. godine nastalo je između 8,3 i 9,1 milijuna tona elektroničkog i električnog otpada, a predviđao se godišnji rast od 2,5 % do 2,7 % čime se procjenjuje količina od 12,3 milijuna tona ovog otpada 2020. godine (Review of Directive 2002/96 of WEEE).

Učinkovitim sustavom skupljanja, recikliranja i zbrinjavanja elektroničkih i električnih uređaja napušta se praksa njihovog odlaganja na odlagališta koja, pored neiskorištenog potencijala otpada i gubitka prostora kojeg zauzimaju sama odlagališta, može rezultirati onečišćenjem svih sastavnica okoliša teškim metalima štetnih po zdravlje i život.

U sadašnjoj praksi, u pogonima za recikliranje elektroničkog i električnog otpada, nakon ručne demontaže osnovnih komponenti tehnološki se odvajaju metali od nemetala, uz dobivanje nekoliko osnovnih sekundarnih sirovina poput željeza, bakra, olova, aluminija, mesinga, cinka, kositra, nešto plemenitih metala, čiste plastike bez bromiranih inhibitora gorenja, gume te otpada koji se zbrinjava kao opasni ili neopasni otpad. Miješanjem neopasnog otpada s drugim materijalima mogu nastati novi proizvodi, a ukoliko sadrže onečišćenje koje nije moguće izdvojiti, otpad se spaljuje u spalionicama opremljenim sustavom za pročišćavanje dimnih plinova. Veliki dio komponenti sadržanih u televizijskom aparatu sa katodnom cijevi uglavnom se demontira ručno, te po potrebi usitni, čime završava tehnološki proces njihove obrade. Da bi se elektronički otpad uspješno reciklirao prije svega je potrebno postići raščin kemijski, termički i mehanički međusobno spojenih materijala, a zatim odgovarajućim separacijskim postupcima dobiti koncentrat čija je čistoća uvjetovana kasnijom primjenom dobivene sekundarne sirovine.

Iz prethodno navedene problematike proizlazi predmet istraživanja ove doktorske disertacije: utvrditi mogućnost recikliranja elektroničkog otpada primjenom postupaka koji se koriste u oplemenjivanju mineralnih sirovina u cilju dobivanja koncentrata čija je kvaliteta dovoljna da se može koristiti kao sekundarna sirovina. Oplemenjivački postupci koji će se koristiti su sitnjenje, klasiranje, odnosno razdvajanje prema veličini zrna i separiranje ili razdvajanje temeljem razlika u značajkama kao što su magnetičnost, električna vodljivost, gustoća itd.

Definiranjem problema i predmeta istraživanja može se postaviti i hipoteza istraživanja: postupci koji se koriste u oplemenjivanju mineralnih sirovina mogu se koristiti i za recikliranje elektroničkog otpada, a pravilnim odabirom i redoslijedom tih postupaka uz optimalne vrijednosti radnih parametara uređaja dobiti kvalitetne koncentrate koji se mogu upotrijebiti kao sekundarna sirovina. Utvrđivanjem pravilne kombinacije i redoslijeda postupaka, ovisno o značajkama otpada može se izraditi i segregacijska shema prema kojoj se može reciklirati elektronički otpad.

1.2. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Danas je recikliranje, uključujući i recikliranje elektroničkog otpada sastavni dio Strategije gospodarenja otpadom u svim razvijenim zemljama pa i u Hrvatskoj. Recikliranjem elektroničkog otpada mogu se dobivati sekundarne sirovine, kao što su željezo, bakar, olovo, aluminij te određeni plemeniti metali i plastika, u količinama kojima će se značajno štedjeti primarne sirovine i energija. U Hrvatskoj je organiziran sustav prikupljanja i zbrinjavanja elektroničkog i električnog otpada te u tu svrhu postoje dva pogona za prikupljanje i recikliranje elektroničkog otpada kategorija od 2 do 10 u koje spadaju:

2. Mali kućanski uređaji,
3. Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije,
4. Oprema široke potrošnje za razonodu,
5. Rasvjetna oprema,
6. Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata),
7. Igračke, oprema za razonodu i sportska oprema,
8. Medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja),
9. Instrumenti za nadzor i upravljanje,
10. Samoposlužni aparati.

Najveći dio dobivenih sekundarnih sirovina se izvozi u Europsku uniju. Prilikom recikliranja potrebno je postići što kvalitetniji koncentrat odnosno što čišći proizvod, jer se time postiže i viša cijena sekundarne sirovine na tržištu, budući da ona ovisi i o sadržaju korisne komponente u koncentratu.

S obzirom na gore navedeno, a u izravnoj vezi s predmetom istraživanja i postavljenom hipotezom, određena je svrha istraživanja:

- odabrati takve oplemenjivačke postupke koji će omogućiti recikliranje elektroničkog otpada sa što većom iskoristivosti materijala kojeg recikliramo uz dovoljnu kvalitetu koncentrata, kako bi se pridonijelo uštedi prirodnih resursa.

U skladu sa svrhom istraživanja određeni su ciljevi istraživanja:

- potvrditi mogućnost primjene uređaja za oplemenjivanje mineralnih sirovina u svrhu recikliranja elektroničkog otpada,
- odrediti opremu i redoslijed primijenjenih postupaka za dobivanje kvalitetnih koncentrata kao sekundarne sirovine uz zadovoljavajuće iskorištenje preradom elektroničkog otpada, odnosno koncipirati segregacijsku shemu primjenjivu za recikliranje,
- utvrditi optimalne vrijednosti radnih varijabli pojedinih uređaja u cilju dobivanja kvalitetnih koncentrata uz zadovoljavajuće maseno iskorištenje.

Ostvarivanje navedenih ciljeva istraživanja trebalo bi predstavljati znanstveni doprinos tehničkim znanostima u području rudarstva, kako u teorijskom tako i aplikativnom smislu.

Očekivani znanstveni doprinos mogao bi se izraziti u sljedećem:

- stjecanje saznanja o (ne)mogućnosti primjene postupaka i uređaja koji se koriste za oplemenjivanje mineralnih sirovina u svrhu recikliranja elektroničkog otpada;
- stjecanje saznanja o veličini zrna do koje je potrebno usitniti elektronički otpad kako bi se uspješno mogao primijeniti određeni separacijski postupak ili više njih;

1.3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

U znanstvenim i stručnim radovima koji obrađuju ovo područje vidljivo je specijaliziranje na pojedinu vrstu materijala koji se reciklira jer je recikliranje elektroničkog otpada složen proces koji zahtijeva upotrebu više vrsta različitih postupaka. U Hrvatskoj i regiji nije bilo značajnijih radova koji bi obrađivali upravo ovakvu problematiku. Vrlo veliki doprinos na području recikliranja elektroničkog otpada dale su SAD, Njemačka, Švicarska, Austrija, Japan, Nizozemska i Švedska, a sve prisutnije su Kina i Indija. Većina istraživanja recikliranja elektroničkog otpada odnose se na kemijske i termičke postupke (Xiao, i Reuter, 2002; Cui, i Zhang, 2008; Ogunniyi, i Vermaak, 2009; Long, et al., 2010; Resende, i Morais, 2010; Havlik, et al., 2010) dok su ona mehanička (Zhang, i Forssberg, 1999 ; Dodbiba, et al., 2004 ; Bedeković, et al., 2008) provedena uglavnom u suhom režimu jer se nastoji izbjeći dodatne postupke pročišćavanja otpadnih voda.

Dosadašnja istraživanja sastava materijala sadržanih u televizijskim aparatima pokazala su koje sve metale i nemetale možemo izdvojiti te zašto je opravdano reciklirati elektronički otpad. Prosječni sastav televizijskog aparata čini: 40 % ekransko staklo, 18 % željezo, 18 % drvo (kod starijih modela), 10 % plastika, 7 % tiskane ploče, 3 % transformatori, 2 % kablovi i žice od bakra, 1 % aluminij i 1 % ostalo. Najveći dio od 18 % metala izdvojenih recikliranjem televizijskog aparata neće završiti na odlagalištu već postaje interesantna sekundarna sirovina. Reciklirano željezo kojeg u sastavu ima najviše, uglavnom se koristi u proizvodnji čelika, reciklirani bakar se podvrgava piro-metalurškim postupcima, a otprilike 35 % ukupnog volumena utrošenog aluminija u Europi proizvedeno je korištenjem recikliranog aluminija (Seebacher, et al., 2004).

Razni modeli i usporedbe postupaka recikliranja s onima iz drugih industrijskih grana ukazali su na mogućnost upotrebe postupaka za oplemenjivanje mineralnih sirovina jer se postupak oslobađanja međusobno sraslih minerala (tj. postizanje raščina), kao i postupci separacije oslobođenih minerala temeljem razlike u značajkama razvijao tisućljećima.

Prema istraživanjima koja su uključivala suhu separaciju na magnetskom separatoru, visokointenzivnom i triboelektričnom separatoru te zračnom stolu postignuto je gotovo 100 % iskorištenje željeza i nemetalnih materijala uz visoku čistoću ABS, PP i PVC-a (Dodbiba, et al., 2004).

Svakako je bitno napomenuti da zakonske smjernice ograničavaju primjenu opasnih i štetnih tvari kod novijih uređaja, a dizajnerska i tehnološka rješenja nude pojednostavljenje postupaka ručne demontaže komponenti (van Schaik, i Reuter, 2010). Zahtjevi za smanjenjem

količina otpada i ispitivanje mogućnosti upotreba gotovo svih materijala iz elektroničkog otpada rezultirala su time da osim upotrebe gotovo svih metala i ostali materijali nalaze svoju primjenu, a praktičnim rješenjima upotrebe stakla katodne cijevi u keramičkoj odnosno industriji građevinskog materijala, te izolacijskog materijala od tiskanih pločica pri izradi betonske galanterije ili manje kvalitetnih plastičnih proizvoda, osigurava se visok stupanj iskorištenja svih komponenti i materijala iz televizijskih aparata (Trung, et al., 2011).

Sve je veći interes u istraživanju recikliranja polimera zbog štednje naftnih derivata, a čisti polimeri bez štetnih primjesa imaju niz novih primjena. Zbog svoje energetske vrijednosti koriste se i za dobivanje toplinske odnosno električne energije pod uvjetom da su poduzete sve mjere kako bi se spriječilo onečišćenje zraka (Zia, et al., 2007).

2. SEKUNDARNE SIROVINE IZ ELEKTRONIČKOGA OTPADA

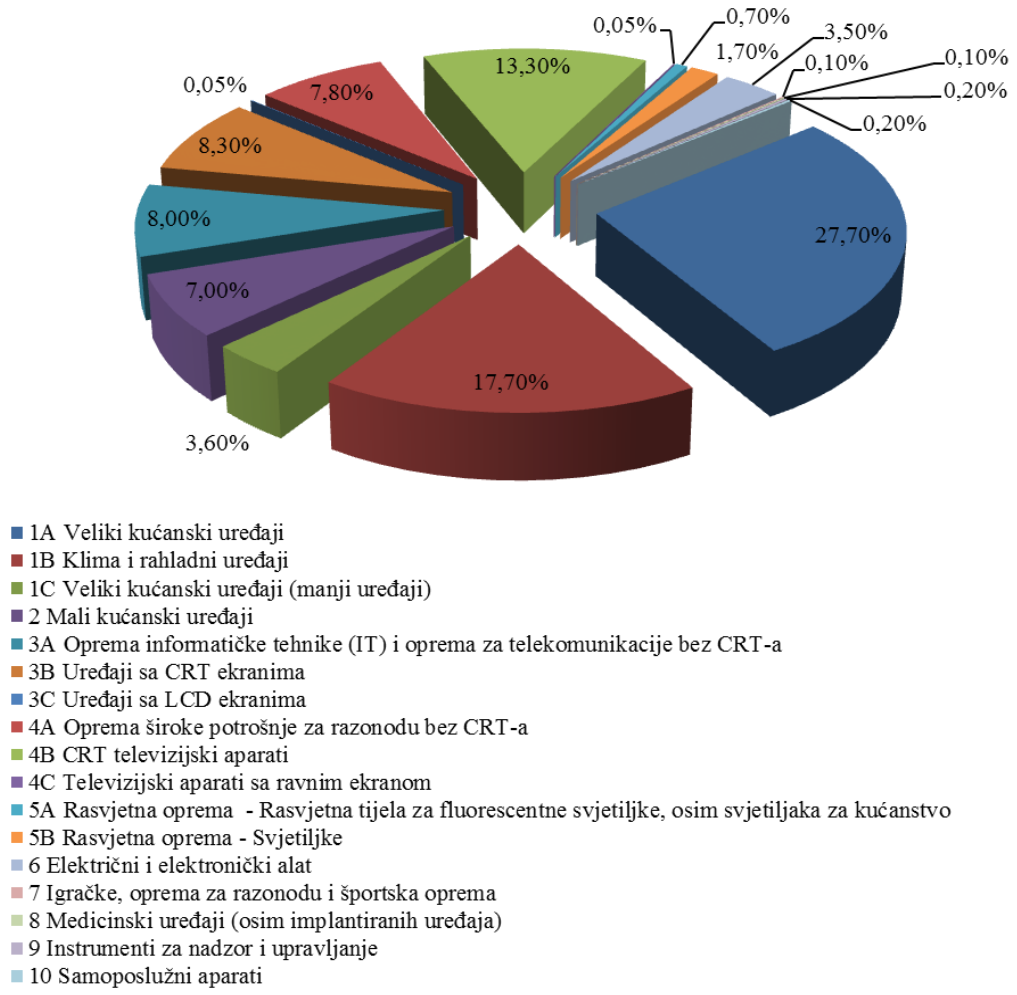
2.1. ZNAČAJ RECIKLIRANJA

Uvođenjem televizije u kućanstva 60-tih godina prošlog stoljeća i informatizacijom privatnih korisnika u 90-tima, te u konačnici dostupnošću interneta i ostalih telekomunikacijskih tehnologija u 21. stoljeću elektronički uređaji kao što je i vidljivo na slici 2 – 1 postaju sastavni dio interijera u kućanstvima razvijenih zemalja ali i sve više zemalja u razvoju.

Potrošačke navike i rastuće gospodarstvo u 80-tima omogućili su proizvođačima izbacivanje milijuna tona elektroničke i električne opreme godišnje, čiji dizajn se mijenjao, ali se u načelu zadržala robusnost konstrukcije i velika količina osnovnih metala poput željeza, bakra, aluminija, mesinga, srebra, žive, olova, stakla i dr. Razvojem industrije polimera drvena kućišta u potpunosti se zamjenjuju plastikom što rezultira raznim novim dizajnerskim rješenjima.

Unatoč kvalitetnoj slici koju su emitirali *CRT (cathode ray tube, engl.)* ekrani najveće ograničenje bila je veličina ekrana jer se povećanjem dijagonale zaslona morala izduživati i katodna cijev što je značilo veći i teži uređaj koji bi iziskivao više prostora. Uz veličinu, zbog sve veće brige o zaštiti ljudskog zdravlja, veća pozornost posvećivala se štetnosti zračenja koju su takvi uređaji širili. Slična situacija bila je i s monitorima osobnih računala kako u tvrtkama tako i kućanstvima. Klasične *CRT* televizijske aparate danas istiskuju suvremeni televizijski aparati sa *LCD (liquid cristal display, engl.), LED (light emitting diode, engl.), AMOLED (active-matrix organic light-emitting diode, engl.)* i plazma ekranima.

Elektronička oprema koja više ne obnaša svoju primarnu funkciju i postane suvišna u kućanstvu, najčešće postaje nepropisno odbačeni komunalni otpad ili korisna sekundarna sirovina ukoliko uđe u sustav organiziranog skupljanja i zbrinjavanja elektroničkog i električnog otpada.



Slika 2 – 1 Udio pojedinih vrsta električne i elektroničke opreme stavljene na tržište EU27 u 2005. godini (ENV.G.4/ETU/2006/0032)

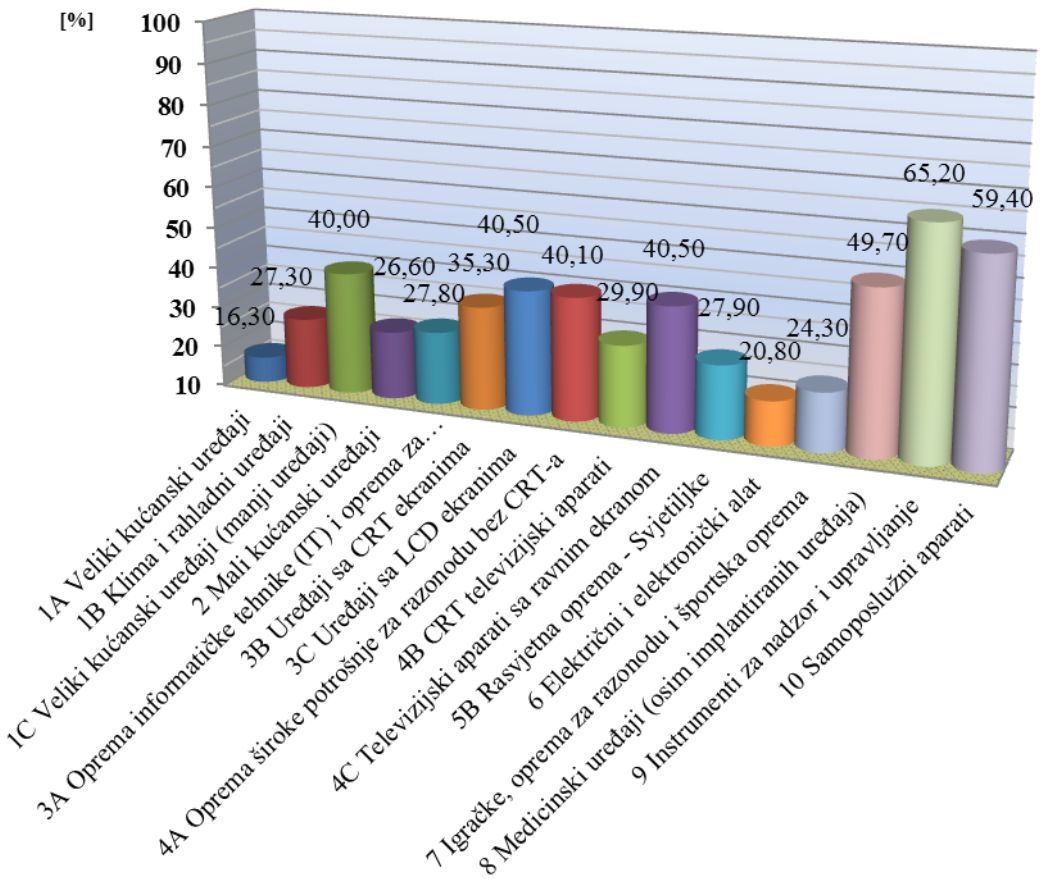
Zbog uobičajene prakse, odbacivanja glomaznog otpada na odlagališta do 80-tih godina prošlog stoljeća, gotovo sav elektronički otpad bi završavao u kontejnerima za komunalni otpad, a u nerazvijenijim sredinama bi završavao na divljim deponijama ili bi bio spaljen. Budući da elektronički uređaji sadrže teške metale, tako odbačeni, razbijeni i izloženi atmosferskim utjecajima ili fizičko-kemijskim reakcijama u odlagalištima počeli su znatno doprinositi onečišćenju okoliša utjecati na zdravlje i život čovjeka.

Upravo taj štetni utjecaj na čovjeka i okoliš, odnos cijena prirodnih i sekundarnih sirovina, te saznanje o smanjenju količina prirodnih resursa potrebnih za proizvodnju novih uređaja za sve veće i zahtjevnije tržište, samo su neki od razloga zbog kojih su proizvođači sve više počeli koristiti sekundarne sirovine dobivene recikliranjem električnog i elektroničkog otpada.

Kada bi se svaki uređaj rastavio na pojedinačne komponente zanemarujući njihovu funkciju dobili bismo skup različitih metala i nemetala, samostalnih ili mehanički odnosno termički spojenih s drugim materijalima. Ako materijal promatramo zasebno tada on predstavlja sirovinu dobivenu utroškom ljudskog rada i energije jer ju je potrebno izvaditi iz ležišta, transportirati i oplemeniti te kao poluproizvod dostaviti proizvođaču električne ili elektroničke opreme za izradu određenog dijela uređaja. Upravo recikliranje daje najveće uštede u smislu štednje energije, emisija u okoliš i prirodnih resursa jer se sirovina već nalazi u otpadu kojeg treba skupiti, te iz njega osloboditi i separirati metale i vratiti ih u ljevaonice odnosno uključiti u tehničke postupke oporabe. Upotrebom recikliranih materijala smanjujemo utjecaj na okoliš, jer se smanjuje potreba za otvaranjem novih ležišta odnosno smanjuje gubitak korisnih površina i štede prirodni resursi, što je još jedan od razloga zbog kojeg raste značaj recikliranja u svijetu.

Porastom brige za okoliš počelo se kritično gledati na ekonomsku opravdanost eksploatacije određenih ruda i većina razvijenih zemalja počela se okretati održivom razvoju. Recikliranje postaje vrlo značajan izvor (sekundarnih) sirovina i pogoni za recikliranje, naročito metala, sve više dobivaju na značaju. Ekonomska opravdanost recikliranja električnog i elektroničkog otpada ovisi o čimbenicima poput: razine ulaganja u tehnologiju za recikliranje, kvaliteti dobivene sekundarne sirovine, utrošku energije, stalnom priljevu otpadnih uređaja, troškovima transporta, ljudskom radu i trenutnoj cijeni sekundarnih sirovina na svjetskom tržištu. Unatoč činjenici da su deponiranje ili spaljivanje kao alternativa recikliranju, ekonomski povoljnija opcija, zbog većeg štetnog utjecaja svi pokazatelji manje štetnosti utjecaja na okoliš prevagnuli su u korist recikliranja.

Recikliranje elektroničkoga otpada započelo je 80-tih godina prošlog stoljeća, a danas sve razvijene zemlje subvencioniraju recikliranje i teže postavljenom cilju od 95 % recikliranosti opreme koja dospije na tržište unutar jedne godine. Prema količinama sekundarne sirovine dobivene recikliranjem, najbolje rezultate postižu Njemačka, Švicarska, Nizozemska, Švedska, Austrija, Japan, SAD i Kanada, a poboljšanje u primjeni propisa pokazuju Kina, Indija i neke zemlje središnje odnosno Sjeverne Afrike i dr. Prema podacima Završnog izvješća UNU (ENV.G.4/ETU/2006/0032) iz 2007. procijenjeno je da će Europska unija do 2020. godine godišnje proizvoditi 12,3 milijuna tona električnog i elektroničkog otpada, a procjena za cijeli svijet iznosi oko 45 milijuna tona električnog i elektroničkog otpada godišnje.



Slika 2 – 2 Procjena udjela zbrinutog električnog i elektroničkog otpada u EU27 u 2005. godini prema vrsti uređaja u odnosu na procijenjenu količinu nastalog otpada (ENV.G.4/ETU/2006/0032)

Ukoliko se izuzmu skupine 1A, 9 i 10, kao što je to vidljivo u slici 2 – 2, udio sakupljenog i zbrinutog otpada u EU27 u odnosu na procijenjene količine nastalog električnog i elektroničkog otpada kreće se 25 % za srednje velike uređaje i 40 % za velike uređaje. Svakako treba napomenuti da su ti postoci pojedinačno gledani puno viši u zemljama EU15, a Švicarska i Norveška imaju i dvostruko veće udjele. Takav omjer ukazuje da zemlje koje su kasnije započele sa organiziranim zbrinjavanjem elektroničkog i električnog otpada imaju još dosta prostora za unaprijediti navedeno stanje.

Svakako treba naglasiti da sa novim tehnologijama uređaji postaju manji odnosno lakši, a i mnogi materijali su ili će biti zamijenjeni prihvatljivijim materijalima što će uvelike utjecati i na vrste količine sekundarnih sirovina koje će se dobivati recikliranjem.

2.2. EKONOMSKI I EKOLOŠKI UTJECAJI POSTUPAKA RECIKLIRANJA ELEKTRONIČKOGA OTPADA

Praksa odlaganja elektroničkog i električnog otpada uobičajena do 90-tih godina prošlog stoljeća stjecanjem novih spoznaja o štetnosti ovakvog načina zbrinjavanja zahtijevala je promjenu pristupa. Kao alternativa odlaganju uspostavlja se cjeloviti sustav gospodarenja otpadom i uvodi hijerarhija postupanja s otpadom poznatija pod nazivom *RRR-system* ili *3R (Reuse, Recycling, Recovery, engl.)*, a pojedini autori koriste i „4R“ (*Reduce, Reuse, Recycle, Recovery, engl.*). Spaljivanjem elektroničkog otpada dobiva se pepeo onečišćen teškim metalima koji iziskuje dodatne postupke pročišćavanja u svrhu izdvajanja pojedinih metala. Takav način obrade u početku ima manju cijenu od postupka mehaničkog odvajanja komponenti ali zbog štetnih spojeva koji se oslobađaju pri visokim temperaturama treba više ulagati u sustav pročišćavanja otpadnih plinova. Takvi troškovi u načelu prekoračuju dobit ostvarenu recikliranjem, stoga se nerijetko primjenjivala praksa da se električni i elektronički otpad jednostavno izvozio u nerazvijene zemlje Afrike, Indiju i velikim dijelom u Kinu, gdje je završavao u nečijim dvorištima ili okolišu onečišćujući okolno tlo, zrak i vodu.

Takvo gospodarenje otpadom u želji za dobivanjem vrijednih metala kao izvorom zarade najčešće je dovodilo do:

- ispuštanja u atmosferu vrlo otrovnih dioksina i furana prilikom spaljivanja plastike i vanjskog omotača kabela,
- onečišćenja tla i vode kemikalijama kao što su:
  - bromirani inhibitori gorenja (upotrijebljeni kod izrade dijelova s platinom ili od plastike u kućištima računala, utičnicama i kabelima),
  - poliklorirani bifenil (PBC) – iz transformatora i kondenzatora,
  - cink, kadmij, krom, olovo, živa i ostali teški metali iz ekrana i drugih uređaja.

Teški metali kada jednom dospiju u ljudsko tijelo zaostaju u organima i najčešće uz neurološke smetnje i ostale zdravstvene probleme uzrokuju porast oboljelih od raka.

RRR-system nalaže ponovnu upotrebu iskoristivih komponenti i recikliranje onih koje se ne mogu ponovo upotrijebiti, što u praksi rezultira dobivanjem sekundarnih sirovina za izradu novog proizvoda, a time i smanjenjem otpada koji se mora trajno odložiti.

Uspoređujući ekonomsku dobit s jedne i nepovoljne utjecaje na okoliš s druge strane, došlo se do spoznaje da su recikliranje i oporaba otpada neophodne komponente održivog razvoja. Potrebno je poticati proizvodnju ekološki prihvatljivijih proizvoda, bez opasnih tvari i što jednostavnije konstrukcije, zbog pojednostavljenja i smanjenja troškova prilikom demontaže i rasklapanja. Strogim kontrolama i zakonskim propisima potrebno je onemogućiti ilegalni izvoz u tzv. treće zemlje i ne ekološko zbrinjavanje. Osigurati javni interes za *RRR-system* uz koji bi išle i državne poticajne naknade koje osigurava upravo proizvođač proizvoda. Opravdanost RRR-sustava potvrđuje i kretanje cijena pojedinih plemenitih metala. Tako, prema podacima UNU (UNITED NATION UNIVERSITY, 2008.), koji prati kretanje cijena na svjetskom tržištu, osim cijena zlata, paladija ili srebra uočen je porast cijena manje poznatih plemenitih metala poput indija (In), rutenija (Ru) i bizmuta (Bi). Npr., uslijed povećane potražnje, cijena indija je u godinu dana ušesterostručena, čime je prerasla cijenu srebra, a cijena bizmuta je udvostručena tijekom 2006. godine dok se cijena rutenija čak usedmerostručila 2006. godine.

Indij koji nastaje kao nusprodukt u postupku dobivanja cinka godišnje se ugradi u više od milijardu elektro-uređaja, a prije svega u *FP* (*flat-panel*, *engl.*) ravne ekrane i mobitele. Bizmut se upotrebljava u bezolovnim lemovima, a rutenij se koristi za pogonske dijelove matičnih ploča i za otpornike. Unatoč rijetkom pojavljivanju u prirodi poznato je da se recikliranjem indij dobiva u pojedinim pogonima za recikliranje samo u Belgiji, Japanu i SAD-u. Najveći razlog tome je to što se za dobivanje takvih plemenitih metala moraju koristiti mnogobrojni visoko-tehnološki postupci koje mogu osigurati samo najrazvijenije zemlje.

Japan primjenom RRR-sustava odnosno recikliranjem metala podmiruje približno polovinu svojih potreba za indijem (MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE, 2001) .

Veći broj međusobno povezanih različitih metala i nemetala u malom volumenu reda veličine 1 cm^3, zahtijeva različite fizičke i kemijske postupke u svrhu razdvajanja prvenstveno metala od nemetala, a u konačnici i međusobnu separaciju metala kako bi se postigla potrebna čistoća pojedinačnih metala.

Još jedan vrlo važan faktor koji ide u prilog RRR-sustavu i recikliranju je i ušteda energije u odnosu na energiju potrebnu za proizvodnju primarnih sirovina. Tako se prema podacima Pensilvanijskog ureda za zaštitu okoliša PDEPA iz 2005. (Pennsylvania

Department of Environmental Protection), recikliranjem milijun tona čelika ostvari ušteda u rudarstvu gdje je za istu količinu čelika potrebno proizvesti 1,4 milijuna tona željezne rude, 829.786 tona ugljena i 71.124 tona vapnenca (PENNSYLVANIA PA, 2012).

U rudnicima bakra gdje se pojavljuje i zlato, u jednoj toni iskopane rude dobije se 5 grama zlata, a godišnje se u svijetu ukupno proizvede oko 2.500 tona zlata. Recikliranjem 1 tone televizora dobije se 250 grama zlata, recikliranjem osobnih računala se prosječno može izdvojiti 200 mg zlata po računalu, a najveći udio zlata u odnosu na veličinu jedinice dobiva se, sa 24 mg po jedinici, recikliranjem mobilnih telekomunikacijskih uređaja (Hagelüken, 2007).

Najbolji primjer uštede energije koja se postiže recikliranjem jest recikliranje aluminija. Pri proizvodnji aluminija je utrošak energije najveća stavka, a njegovim recikliranjem se štedi i do 92 % električne energije. Slično je i s ostalim metalima gdje su uštede sljedeće: bakar 85 %, čelik 74 %, željezo 60 %, olovo 65 %, cink 60 %, plastika 70 % i staklo 40 % energije (A.H.S.W.D, 2011).

Prema procjeni Američke agencije za zaštitu okoliša (U.S. EPA, 1996) ponovnom upotrebom otprilike 0,5 kg recikliranjem dobivenog željeza može se uštedjeti dovoljno električne energije koja će domaćinstvu u SAD-u osigurati više od 24 sata rada električne žarulje od 60 W.

Osim uštede energije važno je napomenuti da se smanjuje onečišćenje okoliša, a ostvaruju se i uštede prostora na kojem se eksploatiraju i oplemenjuju mineralne sirovine, te prostora na kojem bi trebalo odložiti neiskorišteni otpad. Prema podacima Instituta za industrijsko recikliranje otpada ISRI (Institute of Scrap Recycling Industries, 2011) iz SAD-a procjenjuje se da bi se recikliranjem jednog računala sa *CRT* ekranom uštedjela energija ekvivalentna utrošku 102,2 litre nafte i smanjenje emisija plinova ekvivalentno 183,25 kg emitiranog CO_2, koji negativno pridonosi efektu staklenika. Prema istom izvoru recikliranjem jednog televizijskog aparata uštedi se energija ekvivalentna utrošku 30,3 litre nafte i smanjenje emisija za 36,74 kg emitiranog CO_2 (INSTITUTE OF SCRAP RECYCLING INDUSTRIES, 2011).

Postupci recikliranja elektroničkoga otpada iziskuju neophodan ljudski rad na postupcima rasklapanja, demontaže i primarnog razdvajanja kao i manipulaciju materijala pa su i skuplji od odlaganja i spaljivanja no doprinos možemo gledati i kroz veći broj zaposlenih osoba.

Nažalost ni recikliranje nije u potpunosti bez opasnosti za okoliš jer iziskuje određeni utrošak energije, transport otpada do pogona za recikliranje što također u izvjesnoj mjeri

opterećuje okoliš, zatim pojavljivanje teških metala u prašini iz takvih pogona koja može prouzročiti određene zdravstvene poteškoće, a za neke materijale potrebno je upotrijebiti pirolitičke i termičke postupke čime nastaju određeni štetni plinovi koje je potrebno pročišćavati.

Ponekad i samo korištenje pojedinog proizvoda može imati određen utjecaj na okoliš ukoliko uvjetuje potrošnju energije i materijala. Stoga, želimo li procijeniti koliko određeni proizvod utječe na okoliš moramo proučiti i procijeniti sve faze u životnom ciklusu tog proizvoda (*LCA - Life Cycle Assessment, engl.).* Danas je pomoću eko-indikatora moguće matematički procijeniti ekološki utjecaj određenog uređaja na tržištu, a prilikom izračuna se uzimaju svi faktori tijekom životnog vijeka proizvoda, od eksploatacije sirovina potrebnih za izradu pojedinih komponenti od kojih se uređaj sastoji sve do zbrinjavanja tog istog uređaja na kraju njegovog životnog vijeka.

Eko-indikatori rezultat su promišljanja dizajnera, kako predvidjeti moguće utjecaje na okoliš koji nastaju u procesu proizvodnje određenog proizvoda, za vrijeme njegove upotrebe i u konačnici prilikom njegovog zbrinjavanja u formi otpada. Nisu namijenjeni za marketinške svrhe gdje se uspoređuju dva slična proizvoda već jedino u svrhu poboljšanja eko-dizajna tj. umanjenja negativnog utjecaja određenog proizvoda na okoliš. Također se ne mogu koristiti niti kao smjernice kod donošenja propisa u zaštiti okoliša. Jedina svrha eko-indikatora je da se proizvod ili proces učini što prihvatljiviji za sve sastavnice okoliša.

Standardne vrijednosti eko-indikatora izračunate su za materijale, procese proizvodnje i obrade, transport, korištenje proizvoda, dobivanje energije i konačno način zbrinjavanja otpada.

Standardna vrijednost eko-indikatora može se izraziti u bez dimenzijskim vrijednostima. Naziv za dobivenu vrijednost naziva se eko-indikatorski bod (Bod), a u slučaju manjih vrijednosti koristi se naziv milibod (mBod). Apsolutna vrijednost boda nije toliko relevantna kao što je značajna mogućnost relativne usporedbe između pojedinih dijelova nekog proizvoda u odnosu na iste dijelove kod drugih proizvoda kao i između pojedinih proizvoda. Mjerilo je uzeto na način da vrijednost 1 Boda predstavlja tisuću opterećenja okoliša godišnje na jednog stanovnika EU. Drugim riječima, rezultat je dobiven dijeljenjem ukupnog broja ekoloških utjecaja na području EU sa brojem stanovnika u EU i pomnožen s tisuću.

$$Bod = \frac{\sum \text{Ekološki utjecaji u EU}}{\sum \text{Broj stanovnika u EU}} \times 1000 \qquad (1)$$

Upotrebom eko-indikatora (van Schaik, i Reuter, 2010) i modeliranjem u obzir su uzeti svi štetni utjecaji po zdravlje ljudi i okoliš te je izračunom dokazano da je negativni ekološki utjecaj recikliranja elektroničkoga otpada bitno manji od utjecaja proizvodnje novih (primarnih) mineralnih sirovina odnosno odlaganja na odlagalištima ili spaljivanja kao načina zbrinjavanja otpada.

2.3. ZAKONSKA REGULATIVA

Koncept koji su trebali usvojiti svi proizvođači i uvoznici električne i elektroničke opreme temeljio se na njihovoj odgovornosti prema ekološkom utjecaju njihovih proizvoda tijekom cjelokupnog životnog ciklusa. Tehnički gledano, to bi značilo od odabira materijala koje će koristiti za svoj proizvod, samih proizvodnih procesa, ekološki prihvatljivijeg dizajna pa sve do zbrinjavanja njihovog proizvoda kada postane otpad.

Pri definiranju nositelja odgovornosti za otpadnu električnu i elektroničku opremu ključan je bio način na koji su zemlje članice EU implementirale WEEE 2002/96/EC *(Waste Electrical and Electronic Equipment, engl.)* i RoHS 2002/95/EC *(Restriction of Hazardous Substances, engl.)* Direktivu u svoje zakonodavstvo.

- **RoHS smjernice** - imaju svrhu ograničavanja opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi kao i doprinijeti zaštiti ljudskog zdravlja, te ekološki prihvatljivom oporabljivanju i odlaganju u/na tlo otpadne električne i elektroničke opreme, a u izravnoj je vezi s primjenom WEEE Direktive 2002/96/EC od 27. siječnja 2003. kada su oba akta objavljena u službenom glasilu EU. Posljednje izmjene i dopune nalaze se u smjernicama Europskog parlamenta i Vijeća 2008/35/EC od 11. ožujka 2008.
- **WEEE smjernice** - njeni ciljevi su očuvanje, zaštita i poboljšanje kakvoće okoliša, zaštita zdravlja i korištenje prirodnih resursa na svrhovit i racionalan način. Zasniva se na načelu predostrožnosti, poduzimanja preventivnih akcija u svrhu umanjenja štete na okoliš na samom ishodištu kao i na načelu "onečišćivač plaća". Objavljene su 17. siječnja 2003. godine u službenom glasilu EU ("Official Journal of the European Union"), a rezultat su promišljanja i postavljanja jedinstvenog pravnog okvira za zbrinjavanje otpadne električne i elektroničke opreme u Europskoj uniji.

Koncept zbrinjavanja električne i elektroničke opreme započinje već s definiranjem pristupa rješavanju zbrinjavanja otpadne električne i elektroničke opreme unutar nacionalnih

strategija gospodarenja otpadom pojedine zemlje. Postoje dva osnovna pristupa od kojih je prvi Nacionalni pristup koji definira uvoz/izvoz na nacionalnoj razini dok se Europski pristup temelji na trgovini sa zemljama izvan Europske Unije, a ne unutar zajednice država. Za Nacionalni pristup je bitno da se uvoznici definiraju kao odgovorni jer na nacionalnoj razini nema određenog proizvođača koji električne i elektroničke opreme sam stavlja na tržište pojedine zemlje.

Slika 2 – 3 Pogon za recikliranje elektroničkoga otpada u Švicarskoj (EMPA.CH, 2005.)

Izvan Europe problem otpadne električne i elektroničke opreme je manje-više isti u svim industrijski razvijenim zemljama gdje su pogoni na visokoj tehnološkoj ali i ekološkoj razini, kao što je to vidljivo na slici 2 – 3, a zemlje u razvoju „hvatanje priključka“ često plaćaju na najmanje poželjan način tj. ilegalne pošiljke elektroničkoga otpada završavale bi u stražnjim dvorištima odnosno odbačene ili spaljene u okolišu. Od razvijenih zemalja tu se mogu izdvojiti Australija, Japan, Kanada i SAD koje su razvijale vlastite programe gospodarenja električnim i elektroničkim otpadom, a svakako iščekuju rezultate implementacije WEEE Direktive u svrhu kompariranja i poboljšanja vlastitih postupaka. Od zemalja koje „love priključak“ najznačajnija su Kina, Indija, Brazil i zemlje s područja sjeverne Afrike.

Nažalost, loš primjer gospodarenja otpadnom električnom i elektroničkom opremom i uređajima nailazimo u nekim zemljama središnje Afrike i Azije kao što se vidi na slici 2 – 4 gdje ilegalnim kanalima u neposrednom okolišu završavaju proizvodi porijeklom iz SAD-a, Europe i dr., jer je izvoz lakše rješenje uklanjanja problema iz pojedine zemlje u odnosu na propisane postupke zbrinjavanja koji su na snazi u istoj. U tu svrhu je i donesena Baselska konvencija koja bi trebala osigurati kontrolu i onemogućiti ilegalni izvoz opasnog otpada pod okriljem prodaje rabljene električne i elektroničke opreme.

Izvor: E&T (2011)

Izvor: INDIUM CORPORATION (2008)

Izvor: BOLOJI (2010)

Slika 2 – 4 Primjeri postupanja sa elektroničkim otpadom u Africi, Kini i Indiji

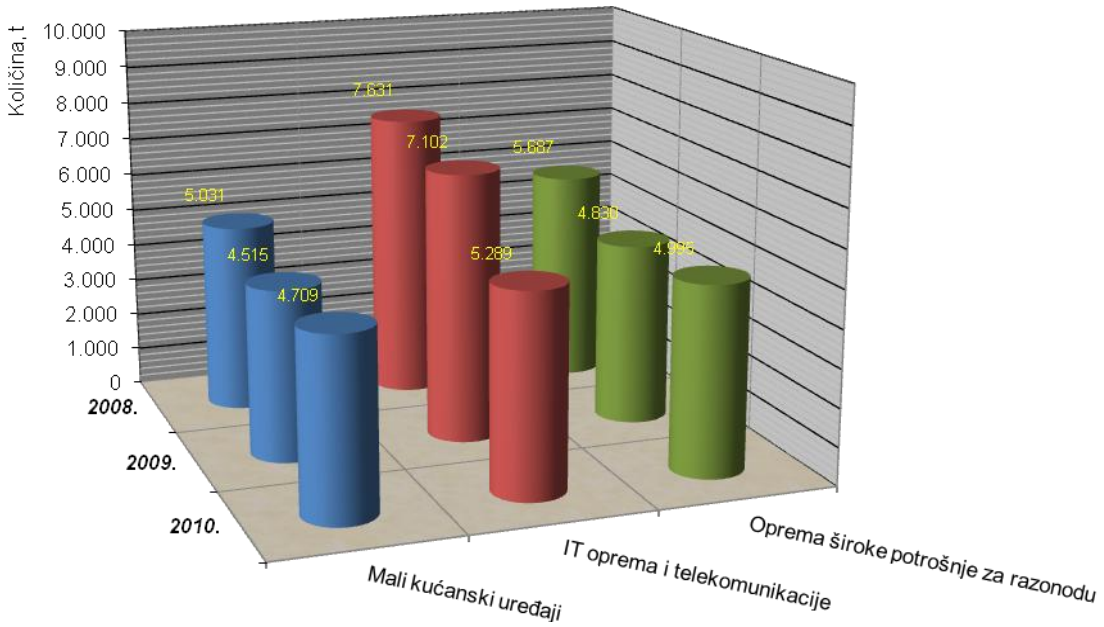
U skladu s potrebama usklađivanja hrvatskog zakonodavstva s legislativom Europske Unije, Republika Hrvatska je Strategijom gospodarenja otpada Republike Hrvatske (Narodne novine 130/05), Planom gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007 - 2015. (Narodne novine 85/07, 126/10, 31/11), Zakonom o zaštiti okoliša (Narodne novine 110/07) i Zakonom o otpadu (Narodne novine 178/04, 111/06, 60/08 i 87/09), Pravilnikom o gospodarenju otpadom (Narodne novine 23/07, 111/07), Uredbom o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada (Narodne novine 50/05 i 39/09), te u konačnici Pravilnikom o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom ("Narodne novine", broj 74/07, 133/08, 31/09 i 156/09) koji je na snagu stupio 23. srpnja 2007. godine uskladila sustav gospodarenja i zbrinjavanja s WEEE i RoHS Direktivama iz EU.

Pravilnikom o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom propisuju se obveze i odgovornost proizvođača električne i elektroničke opreme i uređaja, način obilježavanja, način gospodarenja električnim i elektroničkim otpadom, vrste i iznosi naknada koje plaćaju obveznici plaćanja naknada, način i rokovi obračunavanja i plaćanja naknada, iznos naknada koje se plaćaju ovlaštenim osobama za skupljanje, obradu i oporabu električnog i elektroničkog otpada te druga pitanja u svezi gospodarenja električnim i elektroničkim otpadom u svrhu postizanja ciljeva propisanih ovim Pravilnikom.

Kako bi se svu količinu električne i elektroničke opreme moglo i kasnije klasificirati kao električni i elektronički otpad Dodatkom I. A Pravilnika definirano je 10 kategorija kako slijedi:

1. veliki kućanski uređaji
2. mali kućanski uređaji
3. oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije
4. oprema široke potrošnje za razonodu
5. rasvjetna oprema
6. električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata)
7. igračke, oprema za razonodu i sportska oprema
8. medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja)
9. instrumenti za nadzor i upravljanje
10. samoposlužni aparati.

Upravo 4. kategorija koja je stavljena na tržište RH u količinama i razdoblju kako je prikazano na slici 2 – 5, predstavlja opremu široke potrošnje za razonodu i odabrana je kao interesna kategorija vrlo interesantna za recikliranje jer se u njoj javljaju kompjuterski monitori odnosno *CRT* televizijski aparati koji će poslužiti za istraživanje u ovoj disertaciji.

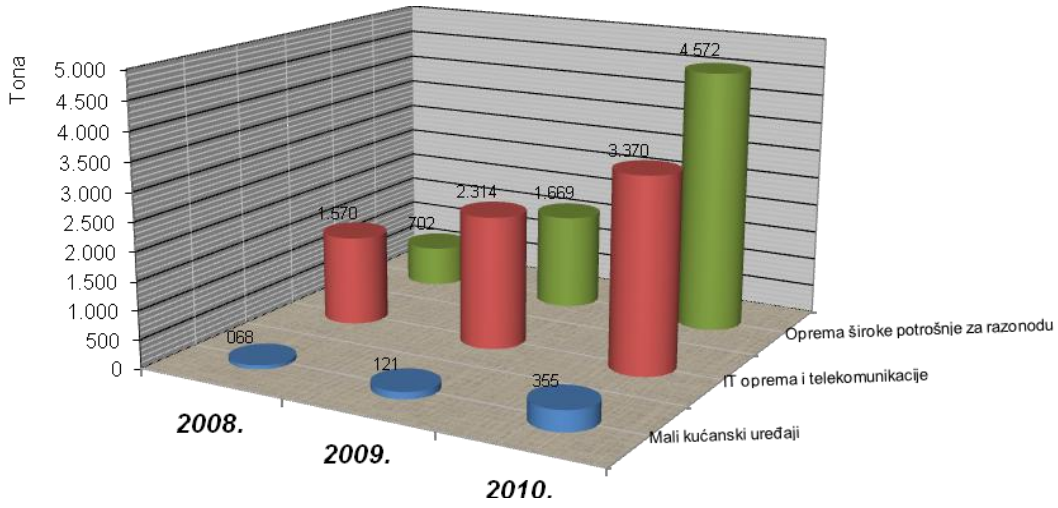


Slika 2 – 5 Prikaz količina elektroničke opreme i uređaja stavljene na tržište RH (Izvješće AZO, 2011)

Za posjednika otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme predviđeno je predavanje iste bez naknade unutar reciklažnih dvorišta, povratom u maloprodaju prilikom kupnje novih, istih ili sličnih električnih i elektroničkih uređaja ili opreme (manje zastupljeno u praksi), te pozivanje na besplatni telefon čime je sakupljač obvezan preuzeti isti iz kućanstava ili od pravne osobe u roku od 30 dana ako se radi o otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opreme težine veće od 30 kg. Kao dokaz o pravilnom zbrinjavanju Pravilnik propisuje obvezu prema kojoj posjednik mora ispuniti prateći list, a sakupljač ga mora potvrditi što kod posjednika izaziva određeni otpor pa otpad često završi na hrpi s glomaznim komunalnim otpadom.

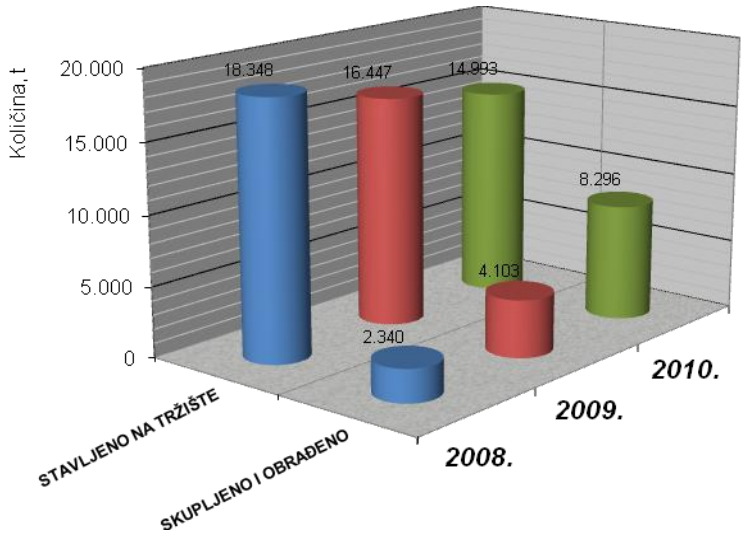
Kao što su to regulirale članice EU i u Hrvatskoj proizvođač i/ili uvoznik električnih i elektroničkih uređaja i opreme plaća naknadu za svoj proizvod koji stavlja na naše tržište, a jedinična naknada iznosi 2,25 kn/kg. Iznos naknade se uplaćuje Fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost koji pak sakupljaču (koncesionaru) otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme za otpad predan obrađivaču isplaćuje 1,50 kn/kg, a obrađivač dobiva za potrebe obrade i oporabe (koncesionaru) 0,75 kn/kg otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme (Izvješće AZO, 2011).

U svrhu gospodarenja otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost potpisao je tri koncesije za ovlaštene sakupljače i dvije za ovlaštene obrađivače otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme koje je na natječaju 2007. odabralo Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG). FLORA – VTC d.o.o. dobila je koncesiju ovlaštenog sakupljača za teritorij cijele RH dok METIS d.o.o. i CE-ZA-R d.o.o. kao ovlašteni sakupljači pokrivaju sjeverno kontinentalno područje i primorski dio s Istrom. Kao ovlašteni obrađivači koncesiju imaju CE-ZA-R d.o.o. i SPECTRA – MEDIA d.o.o. koji djeluju na području Zagreba i Zagrebačke županije. Sve podatke od dionika sustava prikuplja, obrađuje i publicira Agencija za zaštitu okoliša čiji su podaci prikazani na 2 – 6 (u tekstu: AZO).



Slika 2 – 6 Količine obrađenoga elektroničkoga otpada u RH
(Izvješće AZO, 2011)

Iako postoje mogućnosti predaje ovakve vrste otpada putem besplatnog telefona upućenog Pozivnom centru, slanja SMS poruka kao i pristupom na web stranice sakupljača, praksa je pokazala da ulicama naselja uz glomazni komunalni otpad redovito nalazimo hladnjake, televizijske aparate, računala i druge vrste odbačenih električnih i elektroničkih uređaja i opreme. Stoga nije poznato gdje i kako takav otpad završava odnosno da li se naknadno izdvaja iz komunalnog otpada na propisno zbrinjavanje ili završava na odlagalištu.



Slika 2 – 7 Odnos količina elektroničke opreme stavljene na tržište i sakupljenoga/obrađenoga elektroničkoga otpada u RH (Izvješće AZO, 2011)

Hrvatska je uspostavila sustav gospodarenja otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom, a sukladno WEEE Direktivi, za razdoblje od 2008. do 2013. predviđeno je postupno dostizanje 4 kilograma/godišnje/stanovnik s tendencijom rasta i ostvarivanjem cilja kojim bi se 45 % ukupne količine električne i elektroničke opreme stavljene na tržište RH uspjelo prevesti u kategoriju sakupljenog odnosno obrađenog otpada kao što je prikazano na slici 2 – 7.

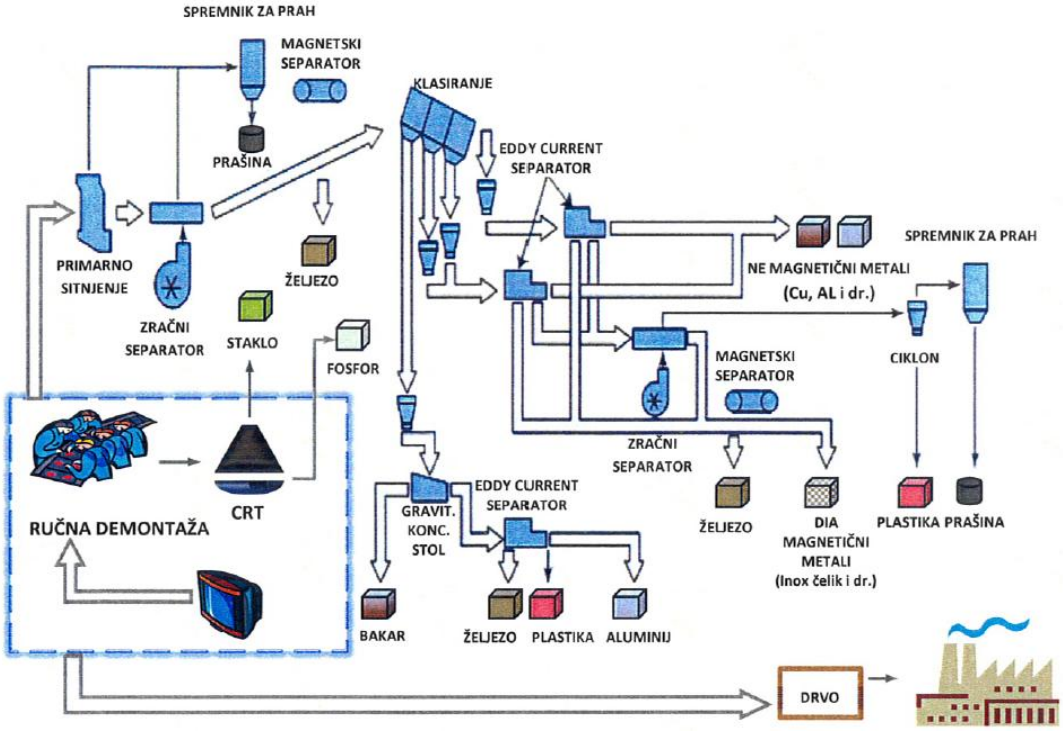
Zbog trenutnog stanja cijena sekundarnih sirovina na tržištu, najveći dio proizvodnje sekundarnih sirovina iz pogona za recikliranje otpadne elektroničke opreme i uređaja u Republici Hrvatskoj izvozi se u Europsku uniju (Izvješće AZO, 2011).

3. RECIKLIRANJE ELEKTRONIČKOGA OTPADA

Svrha recikliranja elektroničkoga otpada je smanjiti njegove količine i pri tom dobiti vrijedne sekundarne sirovine. Pri recikliranju elektroničkoga otpada nastoji se upotrebom različitih postupaka ukupnu masu otpada razdvojiti na korisnu (metali) i nekorisnu (papir, guma, tekstil, staklo i dr.) komponentu. Budući da se radi o sklopovima složenim od velikog broja različitih materijala u malom volumenu, za njihovo uspješno razdvajanje potreban je veći broj različitih postupaka.

Prva faza svakako je ručna demontaža uz upotrebu alata i probiranje osnovnih komponenti (prednje i stražnje strane kučišta, katodne cijevi, elektronički dijelovi te žice i kablovi) kao i isključivanje određenih komponenti uređaja iz daljnje obrade. Slijedi postupak sitnjenja izdvojenih komponenata u drobilicama *(shredder, engl.)* odnosno u slučaju televizijskih aparata katodna cijev zahtijeva poseban postupak zbog odstranjivanja fosfornog praha usisavanjem. Prilikom sitnjenja dolazi do raščina, odnosno oslobađanja međusobno spojenih različitih materijala (komponenti) koji se zatim ručnim probiranjem, klasiranjem, zračnom, magnetskom, i/ili gravitacijskom koncentracijom i drugim koncentracijskim postupcima izdvajaju u gotove proizvode. Ukoliko raščin nije postignut tijekom primarnog sitnjenja, provodi se i sekundarno sitnjenje.

Separacijski postupak biti će to učinkovitiji što su razlike u određenoj značajki (na kojoj se temelji pojedini separacijski postupak) između materijala koji se žele separirati veće, odnosno postiže se bolja kvaliteta koncentrata kao finalnog proizvoda s jedne i veće iskorištenje s druge strane. Oprema i linije za recikliranje mogu biti mobilne s nešto manjim instaliranim kapacitetom ali i fiksne unutar reciklažnog pogona s velikim radnim kapacitetima. Ista linija se promjenom redoslijeda radnih operacija može koristiti za različite komponente uz promjenu radnih parametara i prilagodbom trakastih odnosno pužnih transportera. Uglavnom i gdje god je to moguće koriste se suhi postupci kako bi se izbjeglo onečišćenje vode. Tehnološku vodu koja sadrži čestice teških metala i drugih štetnih tvari potrebno je pročišćavati, što poskupljuje proces recikliranja.



Slika 3 – 1 Shematski prikaz tipičnog postrojenja za reciklažu televizijskih aparata

Na slici 3 – 1 moguće je pratiti redoslijed postupaka koje prolazi televizijski aparat u postrojenju za reciklažu u Japanu (MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE, 2001) od ručne demontaže sa posebnom obradom ekrana i katodne cijevi. Nakon demontaže i probiranja komponente televizijskog aparata se usitnjavaju i separiraju u zračnoj struji, nakon čega odlaze na razne druge postupke separiranja u svrhu odvajanja korisnih od nekorisnih materijala.

3.1. POSTUPCI RECIKLIRANJA ELEKTRONIČKOGA OTPADA

Prva faza u recikliranju elektroničkoga otpada u pravilu je ručno probiranje i demontaža uređaja, pomoću odvijača, rezača i lemilica zbog izdvajanja dijelova koji se mogu ponovno iskoristiti. Dio dijelova izdvaja se ručnim probiranjem iz daljnje obrade jer se mogu izdvojiti na skladište bez potrebe za daljnjim sitnjenjem, a ukoliko je potrebno, dio dijelova se upotrebom čekića, pile ili škara za metal ručno usitni na veličinu manju od ulaznog otvora primarne drobilice. Primarno drobljenje u pravilu je druga faza u postupku recikliranja elektroničkoga otpada.

Ručno probiranje određenih komponenti pojedinog uređaja neophodno je zbog izbjegavanja prekomjernog sitnjenja čime se ostvaruje značajna ušteda energije potrebne za sitnjenje, a ujedno se određeni materijali skreću na drugi dio reciklažne linije gdje se dalje obrađuje.

Ručnim uklanjanjem katodne cijevi koja odlazi na posebnu liniju na kojoj se izdvaja fosforni prah, izdvojeno je više od 50 % ukupne mase pojedinog televizijskih aparata odnosno monitora. Uređaji stariji od 30 godina imaju drvena kučišta odnosno furnir koji nije pogodan za kompostiranje i može ga se upotrijebiti samo za dobivanje toplinske odnosno električne energije. Slično je i sa stražnjim dijelovima kučišta izrađenim od plastike koja sadrži bromirane inhibitore gorenja koji onečišćuju ostale polimere, a zbog štetnih produkata izgaranja potrebno ih je spaliti pri visokim temperaturama uz primjenu odgovarajućih uređaja za pročišćavanje otpadnih plinova spaljivanja.

Granulometrijski sastav usitnjenog materijala određuje daljnji tijek kretanja materijala i primjenu pojedinih postupaka. Naime, svaki separator radi s veličinom zrna u određenom rasponu kako bi se mogla provesti uspješna separacija, a sa smanjivanjem veličine zrna potrebno je ulagati sve više energije u sitnjenje što povisuje cijenu recikliranja. Složeniji proces recikliranja s primjenom većeg broja postupaka, odnosno viša cijena recikliranja može se opravdati jedino dobivanjem koncentrata odgovarajuće količine i kvalitete čija cijena na tržištu je dovoljno velika da opravda povećane troškove recikliranja.

Ovisno o sastavu ulaznog otpada i rezultatima koje se nastoji postići, a to je određen udio korisne komponente u koncentratu (kvaliteta koncentrata) i određeno iskorištenje određuje se i tijek materijala u procesu recikliranja, pri čemu se u obzir uzimaju različite značajke električnog i elektroničkog otpada, odnosno komponenti od kojih se taj otpad sastoji: gustoća, magnetičnost, vodljivost, veličina i oblik zrna i sl. Preduvjet za uspješnu primjenu nekog od koncentracijskih postupaka je da su pojedine materijalne komponente slobodne, odnosno veze između njih raskinute.

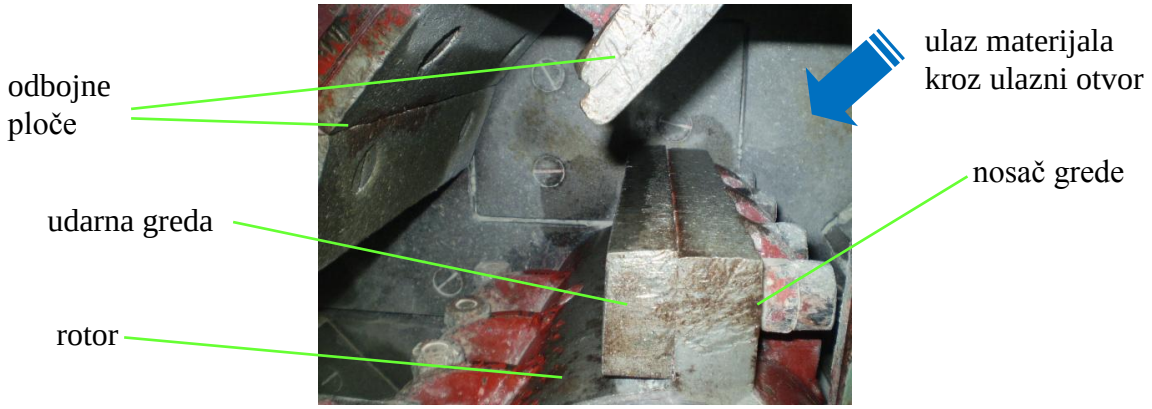
Uzimajući u obzir navedeno, postupci koji se koriste u recikliranju mogu se sistematizirati u grupe:

- postupci kojima se postiže raščin,
- postupci klasiranja,
- koncentracijski postupci (zračna separacija, magnetska separacija, elektrostatička separacija, gravitacijska koncentracija)
- odvodnjavanje (u slučaju mokrih postupaka).

3.1.1. Postizanje raščina

Raščin, odnosno oslobađanje međusobno povezanih komponenti izrađenih od različitih materijala u recikliranju se postiže na nekoliko načina. Jedan od načina je ručno probiranje i demontaža za koje se može reći da predstavljaju važan dio u postupcima recikliranja jer trenutno ne postoji tehnologija koja bi zamijenila ljudski rad koji znatno poskupljuje čitav proces. Iako je takav rad skup, primjenom jednostavnih alata dobivaju se dijelovi uređaja koji se mogu ponovo upotrijebiti i/ili osnovne skupine materijala koje se ponekad izdvajaju iz daljnjeg procesa recikliranja ovisno o svojim značajkama.

Drugi način postizanja raščina je sitnjenje drobljenjem koje se može provoditi u više stupnjeva ako je potrebno, a uključuje drobilice koje režu, kidaju, gnječe ili drobe otpad pomoću diskova, valjaka, zubaca, noževa, lanaca ili udarnih greda i odbojnih ploča. Drobljenje se provodi sa svrhom smanjenja veličine pojedine komponente odnosno otvaranja (razbijanja) kučišta unutar kojeg je uklopljeno više različitih materijala. Na slici 3 – 2 prikazana je unutrašnjost udarne drobilice.



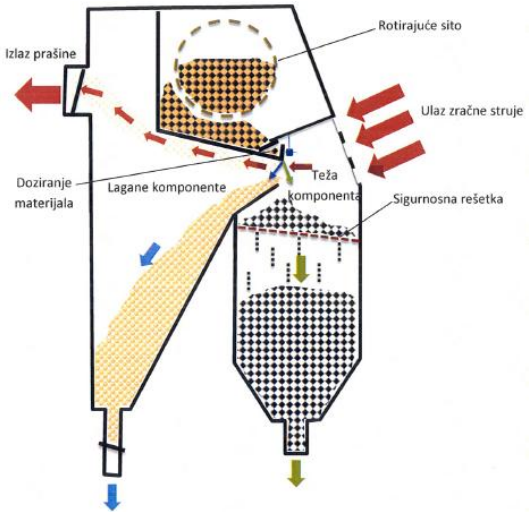
Slika 3 – 2 Prikaz unutrašnjosti udarne drobilice

3.1.2. Postupci klasiranja

Klasiranje je postupak razdvajanja zrnatog kolektiva na klase, pri čemu se pod klasom podrazumijeva grupa zrna približno jednakih dimenzija. Klasiranje se može provoditi prema veličini i obliku ili prema sutaložnosti. Ukoliko se klasiranje provodi na sitima (prosjevnim površinama) govorimo o sijanju koje se može provoditi suho i mokro. Drugi način klasiranja je klasiranje u fluidima (zrak ili voda) na temelju sutaložnosti, pri čemu zrna postižu konačnu brzinu padanja temeljem svoje veličine, gustoće i oblika. Klasiranje se obično provodi nakon sitnjenja sa svrhom razdvajanja zrnatog kolektiva na dvije ili više klasa u cilju pripreme materijala za ulaz u određeni separator koji radi s određenom veličinom zrna ili mogu biti gotovi proizvodi ukoliko je jedini cilj bio sitnjenje materijala na traženu veličinu zrna. Ukoliko materijal nije dovoljno usitnjen, odsjev se ponovo može vratiti na sitnjenje, pa govorimo o zatvorenom krugu drobljenja. Nakon klasiranja u recikliranju obično slijede koncentracijski postupci.

3.1.3. Separacija u zračnoj struji

Separacija u zračnoj struji je postupak u kojem se usko klasirani materijal uvodi u zračnu struju pri čemu dolazi do razdvajanja smjese zrna na temelju gustoće (budući da su sva zrna približno jednakih dimenzija). U radu je separacija u zračnoj struji korištena za razdvajanje „težih“ od „lakših“ komponenti, odnosno za izdvajanje „lakih“ komponenti poput papira, tekstila, listića aluminijske folije iz otpada. U praksi se u drobilicama tijekom sitnjenja u pravilu stvara dosta prašine, te su obično uključene u sustav otprašivanja čiji sastavni dio je najčešće i određeni zračni klasifikator u kojem se iz zračne struje izdvajaju čestice određene veličine. Shematski prikaz jednog takvog separatora nalazi se na sl. 3 – 3.



Slika 3 – 3 Primjer zračnog separatora – CFS separator
(W. GRANOWSKI PTY LTD, 2012)

Prašina izdvojena sustavom otprašivanja prikuplja se u silosima za prašinu, a ukoliko sadrži korisnu komponentu može se reciklirati. Lagane komponente poput papira i kartona moguće je prešati u brikete i koristiti za dobivanje toplinske energije**.** Listiće aluminijske folije koji nastaju usitnjavanjem kondenzatora potrebno je prešati jer je jedino tako moguće ponovno dobiti aluminij (u suprotnom bi ispario prilikom taljenja).

3.1.4. Magnetska separacija

Da bi primjena magnetske separacije bila uspješna potrebna su dva preduvjeta. Jedan je da se separacija odvija u nehomogenom magnetskom polju. U homogenom magnetskom polju magnetične čestice praktično ostaju nepomične, jer u takvom polju nema rezultantne magnetske sile koja bi pomaknula česticu, dok su u nehomogenom polju privlačne sile jače u smjeru zgušnjavanja magnetskih silnica, pa će magnetična čestica biti pomaknuta (privučena) u tom smjeru. Drugi je da se čestice međusobno razlikuju po svojim magnetskim značajkama (susceptibilnosti i permeabilnosti). Magnetska susceptibilnost (χ) predstavlja osjetljivost neke tvari prema magnetiziranju ili odnos intenziteta magnetizacije u nekom materijalu i jakosti magnetskog polja koje stvara magnetizaciju.

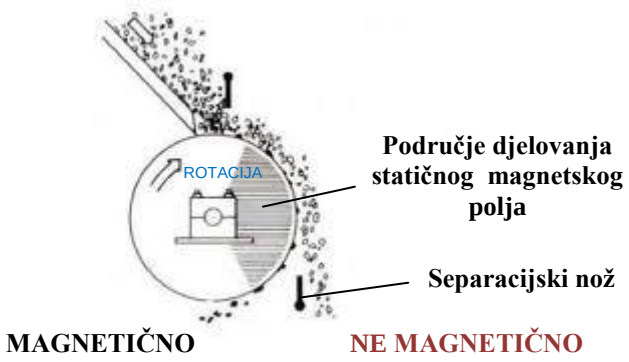
Magnetska permeabilnost (μ) predstavlja magnetsku provodljivost ili odnos magnetske indukcije i jakosti magnetskog polja. Uspješnost magnetske separacije ovisit će o magnetskim značajkama materijala prema kojima se oni dijele u tri osnovne skupine:

- dijamagnetične - magnet ih ne privlači odnosno u magnetskom polju se odbijaju u smjeru slabije jakosti polja,
- paramagnetične - magnet ih privlači odnosno u magnetskom polju se privlače duž magnetskih silnica u smjeru veće jakosti polja,
- feromagnetične - takve tvari zadržavaju magnetizam i kad nema djelovanja vanjskog magnetskog polja (rezidualni magnetizam), pa ih je moguće magnetizirati i sa relativno slabim magnetskim poljem.

Magnetski separatori mogu se podijeliti temeljem različitih kriterija, a najčešće razlikujemo dvije skupine uređaja s obzirom na jakost magnetskog polja:

- niskointenzivni magnetski separatori za izdvajanje jače magnetičnih (feromagnetičnih i paramagnetičnih) materijala
- visokointenzivni magnetski separatori za izdvajanje slabije magnetičnih materijala

S obzirom na radni medij, razlikujemo suhe i mokre magnetske separatore. Suhi se obično koriste za krupnije frakcije, a mokri za sitnije frakcije i manje su zastupljeni od suhih.

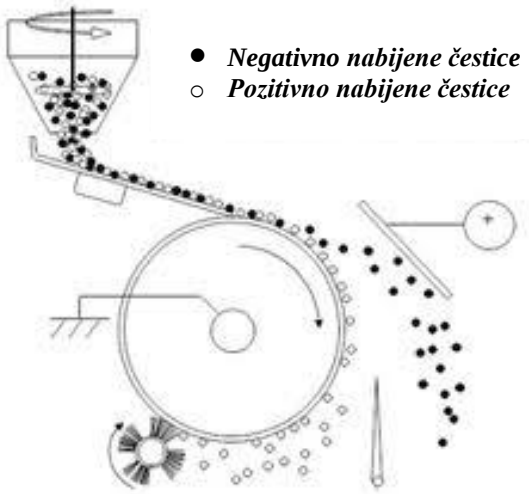


Slika 3 – 4 Princip rada bubnjastog suhog magnetskog separatora

U recikliranju se najčešće primjenjuju tračni niskointenzivni magnetski separatori koji su najučinkovitiji za brzo i učinkovito izdvajanje magnetičnih metala (najčešće je to izdvajanje željeza). Materijali raširenі po površini trake tračnog transportera dolaze do bubnja gdje se nalazi statični magnet i magnetični materijali se pod djelovanjem magnetskog polja priljubljuju uz traku dok nemagnetični materijali budu odbačeni s trake, pri čemu se jedni od drugih razdvajaju separacijskom nožem (slika 3 – 4).

3.1.5. Elektrostatička separacija

Elektrostatička separacija primjenjuje se u slučajevima kada se čestice razlikuju po dielektričkoj konstanti, tj. polarizacijskim svojstvima i intenzitetu električne vodljivosti. Čestice koje nose jednu vrstu naboja privučene su prema elektrodi suprotnog naboja (Bedeković i Salopek, 2010). U slučaju kada se separiraju vodljivi materijali od nevodljivih pod utjecajem električnog polja vodljivi materijali se odvajaju od bubnja, a nevodljivi materijali ostaju na bubnju gdje padaju ili ih sa bubnja čisti četka postavljena na stražnjem dijelu bubnja.

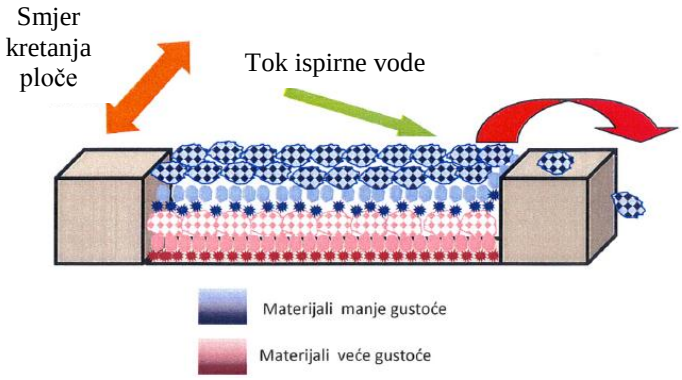


Slika 3 – 5 Prikaz separiranja na elektrostatičkom separatoru
(HITACHI ZOSEN CORPORATION, 2012)

3.1.6. Gravitacijska koncentracija

Uspješnost postupka najviše ovisi o razlici u gustoći materijala pri čemu veća razlika u gustoći daje bolju separaciju. Uz gustoću na separaciju također utječu veličina i oblik čestica. Uređaji koji se koriste u gravitacijskoj koncentraciji su plakalice, žljebovi i koncentracijski stolovi.

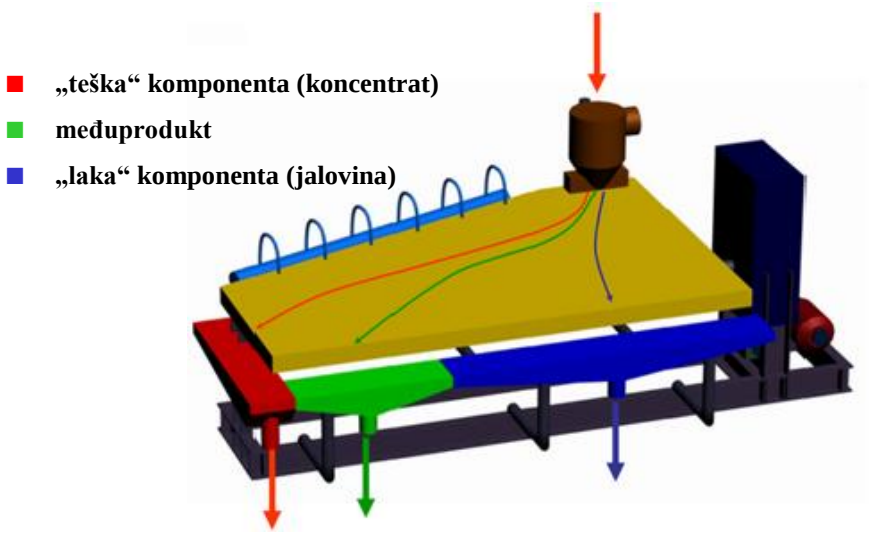
U recikliranju su najzastupljeniji „mokri“ koncentracijski stolovi koji kao medij za transport čestica koriste vodu. Površina ploče koncentracijskog stola je užlijebljena, a na separaciju se može utjecati promjenom poprečnog (rijetko i longitudinalnog) nagiba ploče.



Slika 3 – 6 Stratifikacija zrna unutar žlijeba u ovisnosti o gustoći materijala

Ploča stola giba se asimetrično uslijed čega dolazi do uzdužnog transporta materijala preko ploče stola, a pulziranje vode unutar žljebova uzrokuje stratifikaciju. Stratifikacijom dolazi do raspodjele materijala unutar žlijeba na „laki“ proizvod koji se nalazi na vrhu sloja materijala i na „teški“ proizvod koji se nalazi na dnu ploče stola. Dakle, stratifikacijom se čestice unutar žljebova raspoređuju na način da gustoća sloja materijala raste od vrha prema dnu sloja (slika 3 – 6).

Ispirna voda teče naniže preko cijele površine ploče i odnosi čestice pri vrhu sloja (dakle, prvo „laki“ proizvod koji se sastoji od čestica manje gustoće i nalazi se pri vrhu sloja), dok čestice na dnu sloja nastavljaju kretanje prema izlazu koncentrata koji se nalazi nasuprot pogonske strane koncentracijskog stola. Na taj način dolazi do razdvajanja čestica na koncentracijskom stolu na „laki“ i „teški“ proizvod temeljem njihove različite gustoće kao što je prikazano na slici 3 – 7.



Slika 3 – 7 Kretanje materijala na ploči koncentracijskog stola
(FADIYANA LTD, 2012)

3.1.7. Odvodnjavanje

Iako se u recikliranju nastoji uglavnom primjenjivati suhe postupke, ponekad se primjenjuju uređaji koji kao transportni ili radni medij koriste vodu, koja se po završetku separacije treba odvojiti od krute faze.

Za odvajanje tekuće od krute faze najčešće se koristi mehaničko odvodnjavanje, koje u ovisnosti od polja sila koje djeluju na čestice dijelimo na sedimentaciju i filtraciju.

Sedimentacija predstavlja proces razdvajanja krute i tekuće faze taloženjem dok se kod filtracije za razdvajanje krute od tekuće faze upotrebljava filtarsko sredstvo. U postupku filtriranja zbog razlike tlakova fluid prolazi kroz filtarsko sredstvo (filtar) pri čemu nastaje tekuća faza koju nazivamo filtrat, dok na filtru ostaje kruta faza koju nazivamo filtarski kolač. Ovisno o konstrukciji filtarskog uređaja, razlika tlaka postiže se: gravitacijom, vakuumom, tlakom ili centrifugom.

4. EKSPERIMENTALNI DIO

U svrhu ispitivanja primjenljivosti metoda koje se koriste u oplemenjivanju mineralnih sirovina i njihovim međusobnim kombinacijama za recikliranje elektroničkog otpada izrađen je plan laboratorijskih ispitivanja. Plan ispitivanja je osmišljen za više grupa materijala, a za svaku grupu materijala ispitivanja su provedena kroz nekoliko faza. Sve tri skupine uzoraka načelno su prošle istu proceduru laboratorijskih ispitivanja; mehaničko razdvajanje komponenti, vaganje, grubo usitnjavanje, sitnjenje drobljenjem, klasiranje i separiranje, a rezultati ispitivanja prikazani su za svaku skupinu zasebno.

Prije određivanja komponenti televizijskog aparata od kojih će se sastojati pojedine grupe materijala koje će se ispitivati zasebno u daljnjim fazama istraživanja, bilo je neophodno definirati sastavne dijelove od kojih se sastoji televizijski aparat. Zbog dobivanja što cjelovitije informacije zastupljenosti, prilikom izbora osam odbačenih televizijskih aparata, sljedeći podaci su uzeti u obzir: godina proizvodnje, proizvođač, veličina i vrsta katodne cijevi te dizajn, a ciljane skupine uzoraka podijeljene su u tri grupe:

- zvučnike koji su sastavni dio audio sustava,
- otklonske svitke sa katodne cijevi, kabele, žice, razne plastične držače i konektore kojima su spajani dijelovi unutrašnjosti uređaja,
- tiskane pločice sa pripadajućim kondenzatorima, tranzistorima i dr. koje predstavljaju elektronički dio.

Obzirom da za pojedine komponente nije bilo tehničkih mogućnosti da se ispituju na siguran način, a za druge u praksi ne postoji potreba daljnje obrade, odlučeno je da se televizijski aparati podijele u četiri grupe materijala, ovisno o svojim karakteristikama: zvučnici, otklonski svitci sa kabelima i žicama, te elektroničke tiskane pločice sa elektronikom i komponente koje se neće dalje obrađivati.

U prvoj fazi ispitivanja je demontažom pomoću ručnog alata rastavljen svaki uređaj kako bi se izdvojile komponente koje se neće dalje obrađivati (katodna cijev, drvena kučišta i konstrukcijski elementi koje ne treba dalje obrađivati) od onih koje će se ispitivati.

U drugoj fazi sve komponente koje će se ispitivati su usitnjene u udarnoj drobilici u cilju smanjenja veličine zrna za daljnje testiranje i u cilju postizanja raščina. Već u ovoj fazi je postignuto oslobađanje (tj. raščin) metala od papira, tekstila, plastike, gume i drugih kombinacija spojenih materijala. Nakon raščina moguće je materijale poput većih komada željeza, bakra ili aluminija izdvojiti kao gotovi proizvod, odnosno sekundarnu sirovinu i izdvojiti od daljnjih (nepotrebnih) postupaka obrade. Nakon primarnog sitnjenja provedeno je sekundarno sitnjenje uz upotrebu rešetaka sa sljedećim veličinama otvora: 8, 5, 4, 2 i 1 mm.

Sav usitnjeni materijal iz svake grupe podvrgnut je postupku klasiranja na vibracijskim sitima nakon čega je određen granulometrijski sastav i klase materijala kod kojih je postignuto potpuno oslobađanje materijala, te na taj način dobiven uzorak materijala za svaku grupu koji će se ispitivati različitim separacijskim postupcima: separiranje u zračnoj struji, magnetska separacija, elektrostatička separacija i gravitacijska koncentracija. Uzorci za pojedinačne testove dobiveni su skraćivanjem na Jonesovom djelitelju.

U trećoj fazi se upotrebom separacije u zračnoj struji pokušalo izdvojiti „laku“ komponentu (papir, karton, tekstil i plastika) od „teške“ komponente (metali) Pokusi separacije u zračnoj struji izvedeni su na modelu horizontalnog zračnog separatora pri različitim vrijednostima radnih parametara koji utječu na separaciju: visina pregrade između komora, brzina zračne struje i udaljenost ulaznog otvora od izvora zračne struje. Utjecaj prethodno navedenih nezavisnih varijabli na uspješnost separacije u zračnoj struji ispitan je uz primjenu eksperimentalnog statističkog dizajna.

U četvrtoj fazi se nastojalo iz uzorka izdvojiti magnetične metale upotrebom magnetske separacije. Testiranje magnetske separacije izvedeno je u laboratorijskom niskointenzivnom mokrom i suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru. Ispitivanja u mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru provedeno je uz maksimalni električni napon od 75 V i jakost struje od 15 A. Separacija je također provedena i u suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru pri čemu nije bilo moguća mijenjati bilo kakve radne parametre.

U petoj fazi se primjenom elektrostatičkog separatora nastojalo odvojiti jače od slabije vodljivih materijala. Separacija je izvedena u laboratorijskom elektrostatičkom separatoru, a promjenjivi radni parametri bili su: nagib (položaj) separacijskog noža, brzina rotacije bubnja i jakost električnog polja (napon na elektrodi). Utjecaj prethodno navedenih nezavisnih varijabli na uspješnost separiranja u elektrostatskom separatoru, određena je serijom pokusa,

također uz primjenu eksperimentalnog statističkog dizajna. Kao zavisne varijable, odnosno pokazatelji uspješnosti separacije u trećoj, četvrtoj i petoj fazi promatrani su kvaliteta koncentrata tj. sadržaj korisne komponente u koncentratu i iskorištenje mase.

Grupa „Zvučnici“ testirana je gravitacijskom koncentracijom na koncentracijskom stolu gdje se temeljem razlika u gustoći komponenata nastojalo odvojiti metale od nemetala. Promjenjiva radna varijabla bila je nagib ploče koncentracijskog stola, a voda je služila kao medij za transport zrna po površini stola.

Nakon provedenih laboratorijskih ispitivanja, temeljem rezultata određena je segregacijska shema procesa koja bi se mogla primjenjivati pri recikliranju televizijskog aparata.

Sva ispitivanja provedena su u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu. Kemijsku analizu komponenti koje nisu podvrgnute daljnjoj obradi za tvrtku Spectra Media d.o.o. obavio je Laboratorij CEMTRA d.o.o., a izvješće o rezultatima se nalazi u prilozima (PRILOG 1).

U nastavku poglavlja detaljnije su opisane osnovne značajke televizijskog aparata, procedura provedenih laboratorijskih ispitivanja, korišteni laboratorijski uređaji i metode analize uzoraka.

4.1. OSNOVNE ZNAČAJKE TELEVIZIJSKOG APARATA

Televizijski aparat sa katodnom cijevi sastoji se od četiri osnovne cjeline:

- vanjski dio ili kučište,
- audio sustav (zvučnik),
- ekran - katodna cijev sa elektronskim topom i otklonskim svitkom,
- elektronički dio, kabeli, žice i ulaz/izlaz antena.

Prilikom izbora televizijskih aparata sa katodnom cijevi, koji su predmet istraživanja u ovom radu, nastojalo se obuhvatiti različite proizvođače, veličinu samog televizijskog aparata, različita godišta i izvedbe u dizajnerskom smislu kako bi prikupljeni uređaji predstavljali što širi raspon televizijskih aparata koji se javljaju kao elektronički otpad. Jednim dijelom su televizijski aparati uzeti s ulice gdje su odloženi s ostalim glomaznim otpadom, a veći dio uzet je s reciklažnog dvorišta tvrtke Spectra Media d.o.o. u Strmcu.

U tablici 4 – 1 je dat pregled svih prikupljenih televizijskih aparata.

Tablica 4 – 1 Televizijski aparati prikupljeni za recikliranje

Proizvođač	Philips	SONY	Elektronska industrija, Ei Niš	Telefunken	SANYO Electric. Co. Ltd.	TOZD TV	SAMSUNG	PANASONIC
Tip	Spatial stereo	KV- 25T1D Trinitron color TV	Ei - COLOR 5622	Telefunken PA COLOR	SANYO CEP 3011VPS	ISKRA 130 - 1	CB-5083TB Bio Vision	TC-2195 DRS
Godina proizvodnje	1983.	1997.	1987.	1982.	1998.	1988.	2001.	1990.
Porijeklo	Nizozemska	Španjolska	Srbija	Njemačka	Japan	Slovenija	Južna Koreja	Velika Britanija
Dijagonala ekrana [cm]	68	65	58	53	35	32	53	55
Karakteristika	U boji	U boji	U boji	U boji	U boji	U boji	U boji	U boji

4.2. RUČNA DEMONTAŽA UREĐAJA

Ručna demontaža prvi je postupak koji je potrebno primijeniti pri recikliranju televizijskih aparata sa katodnom cijevi. Primjenom jednostavnih alata poput odvijača (ručnih i električnih), čekića i kliješta demontaža započinje od stražnjeg dijela kućišta rezanjem kabela za napajanje. Na raznim nosačima i držačima nalaze se kabeli i žice koje treba odvojiti od elektroničkog dijela gdje su spojene pomoću konektora. Nakon vađenja elektroničkog dijela i većine kabela i žica može se započeti sa demontažom katodne cijevi, koja je pomoću metalnog okvira i vijaka učvršćena na kučište ili metalne nosače prednje maske televizijskog aparata. Pojedini modeli imaju i plastične držače preko stražnjeg ljevkastog dijela katodne cijevi pa i njih treba demontirati zajedno s kabelom i spojnicom za napajanje anode. S vrata ljevkastog dijela katodne cijevi potrebno je demontirati otklonski svitak. U posljednjem dijelu demontaže odvaja se drveno ili plastično kučište od prednje maske sa kojeg se skidaju zvučnici i pojedini prekidači, te mrežice zvučnika, a ponekad i limovi sa oznakom i nazivom proizvođača. Po završetku demontaže sve komponente su razvrstane po grupama kao što je vidljivo na slici 4 – 1.

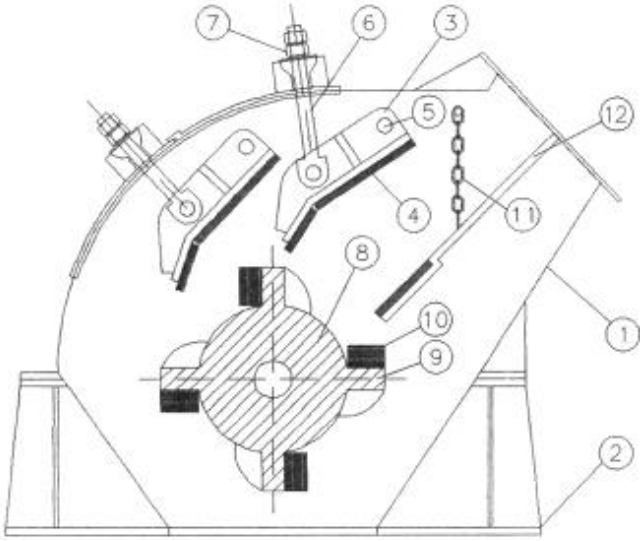
a) b)

Slika 4 – 1 a) i b) Komponente potpuno demontiranih televizijskih aparata pripremljenih za ispitivanje

4.3. OPIS UREĐAJA

4.3.1. Uređaji za sitnjenje

Nakon ručne demontaže neke dijelove bilo je potrebno mehanički prelomiti kako bi bili prikladni za ubacivanje kroz ulazni otvor drobilice u prvoj fazi primarnog sitnjenja. U svrhu sitnjenja korištena je laboratorijska horizontalna udarna drobilica IZ-0 (slike 4 – 2 i 4 – 3a) koja je namijenjena za drobljenje kamena. Do sitnjenja dolazi uslijed udaranja udarnih greda rotora o elektroničke komponente i udaranja elektroničkih komponenti o odbojne ploče, zaštitne obloge kučišta, kao i međusobnim sudaranjem komponenti pri čemu dolazi do „razbijanja“ kučišta pojedinih komponenti sve dok se ne usitne na veličinu izlaznog otvora (slika 4 – 3b). Na taj način došlo je i do oslobađanja papira, kartona i tekstila kod zvučnika, plastike od metala kod otklonskih svitaka i kondenzatora i tranzistora sa tiskanih ploča (slika 4 – 4).



Sastavni dijelovi:

1. kučište drobilice;
2. okvir;
3. odbojne ploče;
4. ploče;
5. osovine;
6. pomični zglobovi;
7. vijci za pomicanje odbojnih ploča;
8. rotor;
9. ispusti;
10. udarne grede;
11. zavjesa od lanaca;
12. rešetka.

Slika 4 – 2 Shematski prikaz horizontalne udarne drobilice IZ-0

(Bedeković i Salopek, 2008)

a) b)

Slika 4 – 3 a) Udarna drobilica IZ-0 b) Veličina izlaznog otvora

Tehnički podaci laboratorijske udarne drobilice IZ-0:

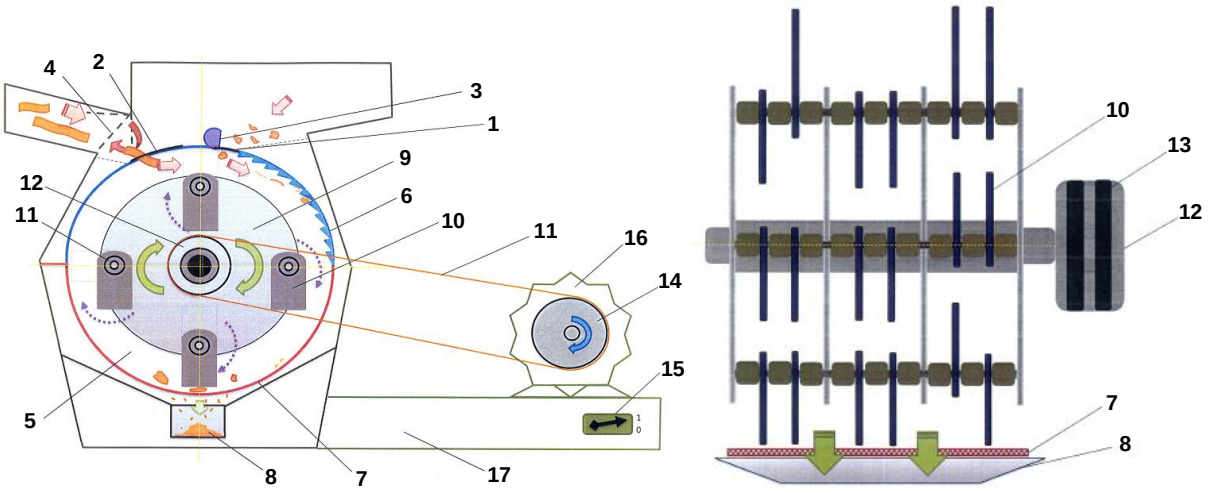
Proizvođač: STT
Zemlja proizvodnje: Slovenija
Veličina ulaznog otvora drobilice 270 x 110 mm
Veličina granulacijskog (izlaznog) otvora: od 10 do 30 mm
Broj okretaja rotora 861, 1288, 1644 o/min.

Podaci o elektromotoru:
Tip Sever Subotica
Snaga 7,5 kW
Broj okretaja 736 o/min.
Frekvencija 50 Hz
Napon priključka 380 V
Jakost struje 16 A
cosϕ 0,83

a) b)

Slika 4 – 4 Postizanje raščina zvučnika a) Oslobođeni papir, karton i tekstil
b) Oslobođeni metalni dijelovi

U ovoj fazi recikliranja vrlo važno je postizanje određenog stupnja oslobađanja jer se po izlasku iz drobilice ručnim probiranjem mogu izdvojiti krupniji komadi metala (slika 4 – 4b) i raznih limova koji su već kao takvi prihvatljivi kao gotov proizvod, odnosno sekundarna sirovina koja ima svoju tržišnu vrijednost, čime se daljnji proces recikliranja rasterećuje od dodatnih količina materijala kojeg treba usitniti i čime je moguće ostvariti uštede u smislu energije potrebne za sekundarno sitnjenje.



Slika 4 – 5 Shematski prikaz udarne drobilice sa rotirajućim pločicama

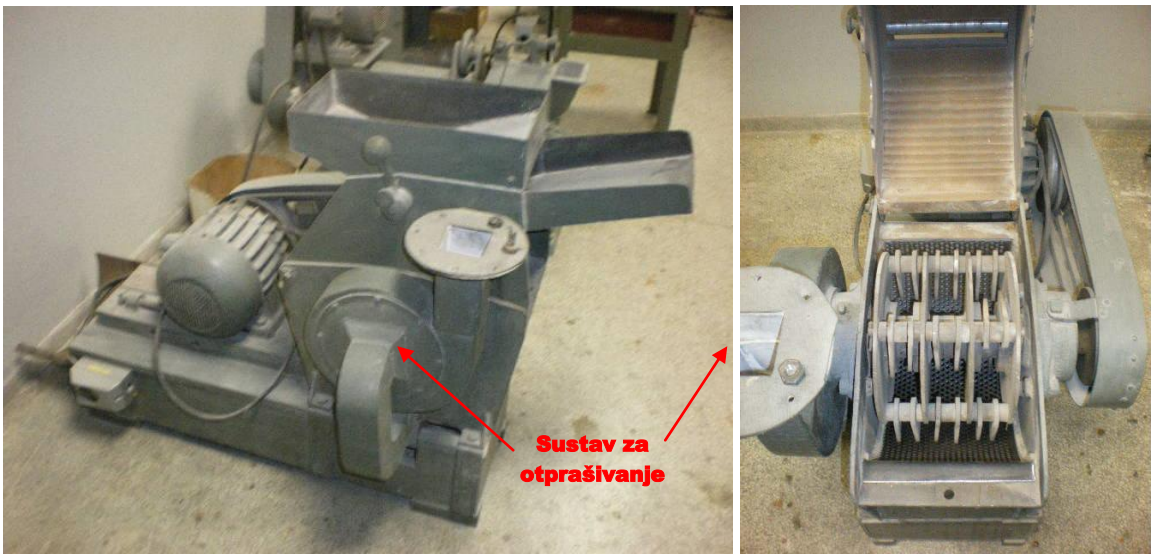
Tehnički podaci za udarnu drobilicu sa rotirajućim pločicama:

Zemlja: Hrvatska

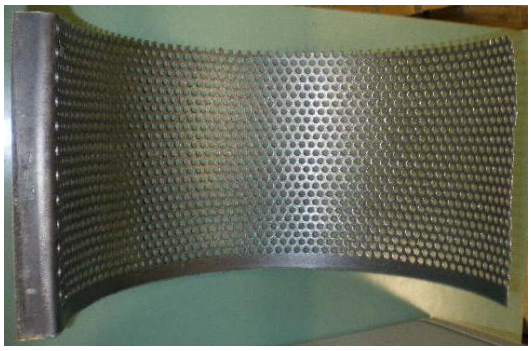
1. ulazni otvor dimenzija 190 x 50 mm za sitnija zrna;
2. ulazni otvor dimenzija 190 x 70 mm za krupnija zrna;
3. regulator za doziranje na manjem ulaznom otvoru;
4. zaštitna vrata na većem ulaznom otvoru;
5. bubanj za sitnjenje D = 356 mm i Š =3 12 mm;
6. nazubljena odbojna ploča;
7. izmjenjiva rešetka sa okruglim otvorima ∅ 2 i 5 mm;
8. posuda za prihvat usitnjenog materijala;
9. rotirajući diskovi (4 kom.) D = 246 mm;
10. neovisne pločice na rotirajućim diskovima za sitnjenje materijala (24 kom.);
11. osovine između rotirajućih diskova (4 kom.) na kojima se okreću neovisne pločice;
12. remenica ∅ 140 mm;
13. remeni (2 kom.) dimenzija 17/11/500 mm;
14. pogonska remenica ∅ 195 mm;
15. pogonska sklopka;
16. elektromotor;
17. postolje kučišta.

Podaci o elektromotoru:

Proizvođač	Rade Končar
Tip	Z-3 K-4
Snaga	1,85 kW
Broj okretaja	1400 o/min
Napon priključka	U = 380 V
Jakost struje	I = 7,17/ 4,15 A
cosφ	0,83



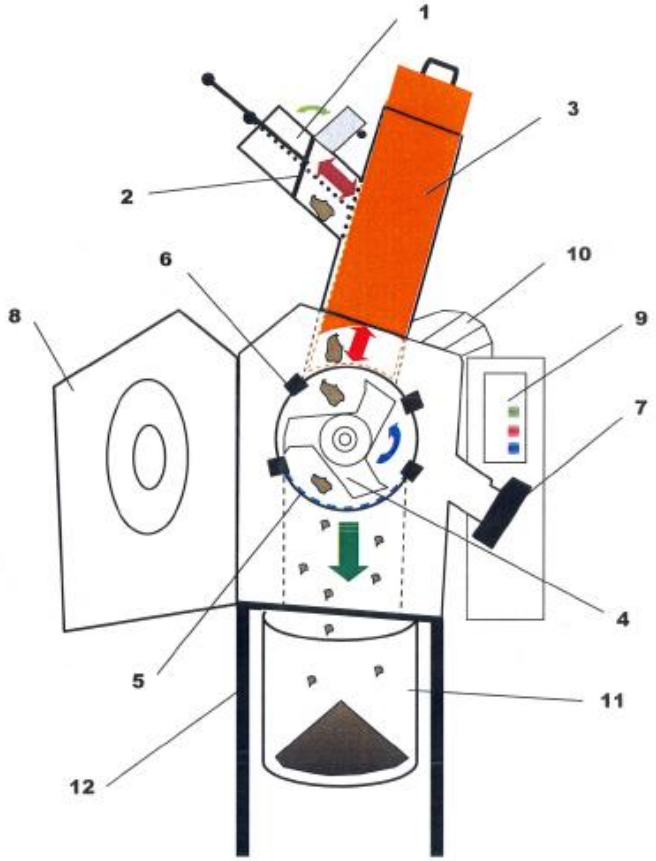
Slika 4 – 6 Udarna drobilica s rotirajućim pločicama



Slika 4 – 7 Rešetka s veličinom otvora ∅ 5 mm

Na slikama 4 – 5, 4 – 6 i 4 – 7 prikazani su udarna drobilica s rotirajućim pločicama i njeni osnovni dijelovi. Materijal u prostor drobljenja ulazi kroz veći usipni otvor, a vrata na otvoru sprječavaju izbacivanje materijala. Udaranjem materijala o nazubljenu ploču unutar bubnja kao i udaranjem neovisnih pločica o materijal dolazi do sitnjenja materijala kidanjem, rezanjem i lomljenjem. Samo dovoljno usitnjena zrna prolaze kroz rešetku (slika 4 – 7) u posudu za prihvat usitnjenog materijala, a ostali materijal unutar bubnja pospješuje sitnjenje stoga je poželjno kontinuirano doziranje materijala tijekom sitnjenja.

Ovakav princip sitnjenja naročito se pokazao učinkovitim za odvajanje metala od izolacijskog vanjskog sloja iz žica jer iz duljih komada žice ili više žilnih kabela principom kidanja dolazi do razdvajanja materijala, čime se izbjegava dodatno usitnjavanje koje je potrebno kod strojeva koji žicu sitne samo rezanjem. Nedostatak ovog uređaja je ograničeni kapacitet od 10 do 12 kg/h.



Slika 4 – 8 Shematski prikaz reznog mlina

Tehnički podaci za rezni mlin RETSCH SM 2000:

1. ulazni otvor max. 60 x 80 mm;
2. potiskivač na ulaznom dijelu;
3. potiskivač (drveni) za materijal u bubnju za mljevenje;
4. rotor sa šest diskova;
5. izmjenjiva rešetka sa otvorima različitih dimenzija (8, 4, 2, 1 i 0,5 mm)
6. odbojne grede;
7. centralna brava;
8. vrata;
9. indikatori i prekidači (start, stop, open);
10. elektromotor;
11. posuda za prihvat materijala (0,2 – 50 kg)
12. postolje.

Podaci o elektromotoru:

Proizvođač	Dietz
Tip	FDR 112M/ 8A
Broj okretaja	695 o/min (50 Hz) ;
Snaga	1,5 kW
Napon priključka	U = 230/400 V
Jakost struje	I = 7,45/ 4,3 A
cosφ	0,68

a) b)

Slika 4 – 9 a) Laboratorijski rezni mlin RETSCH SM 2000
b) Rotor sa 6 diskova i izmjenjivim reznim pločicama

Slika 4 – 10 Rešetke za rezni mlin s veličinama otvora od 0,5 do 8,0 mm

Za sitnjenje u laboratorijskom reznom mlinu RETSCH SM 2000 (slike 4 – 8 i 4 – 9a) upotrijebljen je rotor sa šest diskova koji imaju 18 izmjenjivih reznih elemenata (slika 4 – 9b) i manji broj okretaja motora (695 o/min), koji su pogodni upravo za usitnjavanje elektroničkog otpada bez željeznih odnosno čeličnih dijelova. Zbog ograničavajućeg usipnog prostora nakon ubacivanja materijala drvenim potiskivačem osigurava se da sav materijal dospije u prostor za drobljenje u kojem se zadržava toliko dugo dok se ne usitni dovoljno kako bi mogao proći kroz rešetku koja se nalazi neposredno ispod rotora. Veličina usitnjenog materijala regulira se postavljanjem rešetke s odgovarajućom veličinom otvora. Ovisno o prihvatnoj posudi na izlazu te brzini punjenja usipnog prostora moguće je ostvariti kapacitet od 0,2 do 50 kg/h.

4.3.2. Uređaji za klasiranje sijanjem

Klasiranje je postupak kojim se zrnati kolektiv razdvaja na klase prema veličini i obliku ili prema sutaložnosti, a dijeli se u tri grupe:

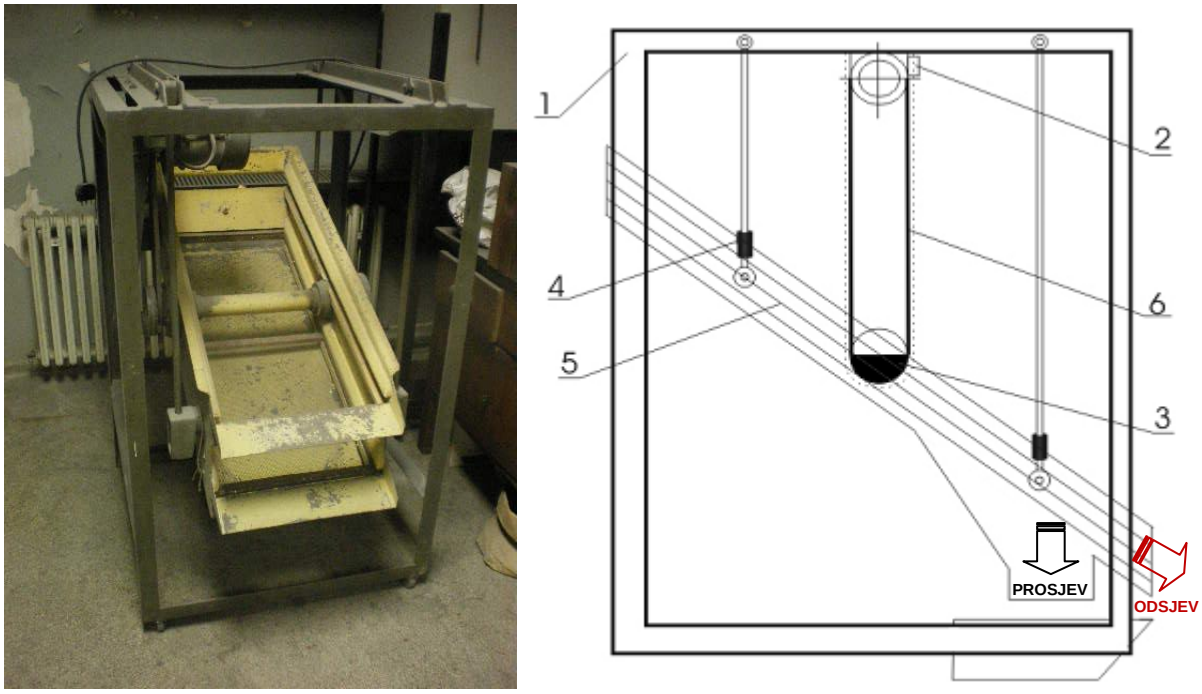
- sijanje
- klasiranje u vodenoj struji
- klasiranje u zračnoj struji

Pod pojmom klasa podrazumijevamo grupu zrna približno jednakih dimenzija. U oplemenjivanju mineralnih sirovina sijanje se koristi za razdvajanje prema veličini uglavnom za zrna veća od 1 mm, a klasiranje u vodenoj ili zračnoj struji za razdvajanje prema sutaložnosti za materijale maksimalne veličine zrna do 4 mm.

Sijanje je postupak diobe zrnatih materijala na klase, izvodi se na sitima a može biti suho ili mokro. Sita se sastoje od dva osnovna dijela: prosjevne površine i uređaja za pogon. Prosjevne površine mogu biti izrađene od različitih materijala (plastika, guma, čelik) i na različite načine (pletena žica, ploče perforiranog lima, čelične šipke, rotirajući elementi), a otvori mogu biti različitih oblika. Sita se dijele u tri skupine: pokretna, nepokretna i specijalna sita (Bedeković i Salopek, 2008).

Za potrebe klasiranja sijanjem korišteno je laboratorijsko vibracijsko sito Denver Dillon (slika 4 – 11). Eliptična putanja ostvaruje se vezom okvira za prosjevnu površinu *5* s osovinom na kojoj se nalaze ekscentrično smješteni utezi *3*, dok je spoj s glavnim temeljnim okvirom *1* ostvaren putem vodilica s oprugama *4*. Pogonski elektromotor *2* spojen je s osovinom *3* pomoću remena *6*. Prosjevne površine na ovom situ mogu se mijenjati, a sito može raditi najviše sa dvije prosjevne površine istovremeno, pri čemu se mogu dobiti najviše tri proizvoda tj. klase.

Zbog zaostajanja kabela na prosjevnoj površini od pletene žice korištene su perforirane prosjevne površine s otvorima kvadratnog oblika veličine 4 i 2 mm. Odsjev odnosno sva zrna veća od 4 mm vraćena su na dodatno usitnjavanje, a ostala dva proizvoda međuklasa 4/2 mm i prosjev u formi klase -2 mm daljnjim sijanjem su razdvojena na više podklasa.



a) b)

Slika 4 – 11 a) Laboratorijsko vibracijsko sito Denver Dillon
i b) Shematski prikaz (Bedeković i Salopek, 2008)

Tehnički podaci za vibracijsko sito Denver Dillon:

1. glavni temeljni okvir;
2. pogonski elektromotor;
3. utezi (smješteni ekscentrično);
4. vodilice s oprugama;
5. prosjevna površina (nagib površine α= 42,5 ° ; max. 2 istovremeno);
6. remen.

Podaci o elektromotoru:

Proizvođač	Elektrokovina
Tip	AZ 1304
Snaga elektromotora	0,42 kW
Napon priključka	220/380 V
Frekvencija	50 Hz
cosφ	0,76
Broj okretaja	1350 o/min

Iz prethodno usitnjenog i klasiranog materijala postupkom skraćivanja u Jonesovom djelitelju (slika 4 – 12) su dobiveni pojedinačni uzorci za daljnja ispitivanja.

Slika 4 – 12 Jonesov djelitelj

Materijal se usipava na gornjoj strani Jonesovog djelitelja unutar kojeg se nalaze naizmjenično postavljeni žljebovi koji ravnomjerno razdvajaju (skraćuju) materijal na dva približno jednaka dijela. Usuti materijal podijeljen u dvije posude, dalje se dijeli na način da se materijal iz samo jedne posude ponovo propušta kroz djelitelj te se postupak ponavlja onoliko puta dok se ne dobije potrebna količina materijala za ispitivanje.

Za potrebe granulometrijske analize uzorci su skraćivani do mase od približno 200 g grama. Granulometrijski sastav određen je postupkom suhog sijanja na elektromagnetskom laboratorijskom situ *FRITSCH "Analysette 3"* sa IMS sitima promjera od 20 cm i s veličinama otvora od 3,15, 2, 1 i 0,5 mm (slika 4 – 13).

a) b)

Slika 4 – 13 a) Elektromagnetsko laboratorijsko sito *FRITSCH "Analysette 3"*
b) ims sito ∅ 200 mm sa pletenom mrežom kvadratičnih otvora

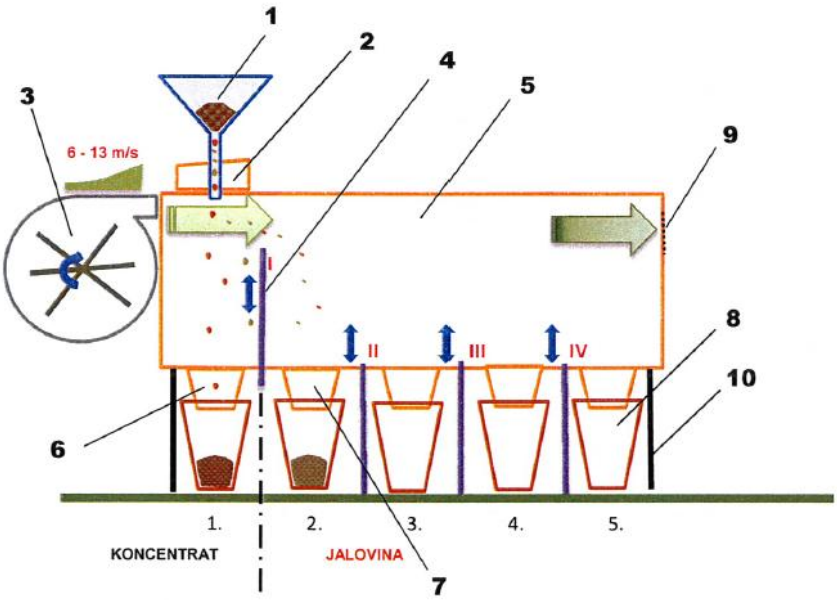
Tehnički podaci za vibracijsko sito FRITSCH Analysette:

Tip Analysette 03.502
Napon 220 V
Amplitude 1 – 10
Režim rada interval/permenentno/mikrosijanje

4.3.3. Model horizontalnog zračnog separatora

Za potrebe testiranja korišten je model horizontalnog zračnog separatora prikazan na slikama 4 – 14 i 4 – 15. Princip rada ovog uređaja je sljedeći. Materijal koji je potrebno separirati dodaje se s gornje strane na jednom kraju separatora u horizontalnu zračnu struju. Zračna struja djeluje na pojedinačna zrna određenom silom u horizontalnom smjeru, a gravitacija u vertikalnom. O rezultantnoj sili ovisit će oblik parabole koja predstavlja trajektoriju taloženja pojedinačne čestice. Rezultantna sila ovisi o značajkama čestica i vrijednostima radnih parametara kojima se može utjecati na separaciju u separatoru. Značajke čestica koje utječu na separaciju u zračnoj struji su veličina, gustoća i oblik pojedinačnih zrna. Radne varijable uređaja kojima se utječe na separaciju su brzina zračne struje, visina pregrada i pozicija ulaza materijala na separator u odnosu na izvor zračne struje.

Materijal u separator kao što je vidljivo na slici 4 – 14 ulazi na gornjem dijelu separatora putem lijevka *1*. Ulaz za materijal *2* može se pomicati u horizontalnom smjeru i na taj način mijenjati udaljenost ulaza materijala od izvora zračne struje *3* odnosno udaljenost do prve pregrade (separacijskog noža). Brzina zračne struje može se podešavati potenciometrom (koji je baždaren prilikom konstruiranja uređaja) u rasponu od 6 do 13 m/s. U prostoru separiranja *5* nalaze se četiri pregrade *4* čija visina se može mijenjati i na taj način utjecati na sastav pojedinih produkata. Produkti istaloženi između pojedinih pregrada ispuštaju se iz separatora kroz za to predviđene ispuste *6* i *7* u posude *8* koje se nalaze neposredno ispod svakog ispusta. Zračna struja izlazi na suprotnoj strani od ulazne kroz mrežicu *9* koja sprječava izlaz zrna iz separatora. Budući da ima četiri pregrade, separator daje pet produkata. U testiranju je korištena samo prva pregrada tako da su dobivena samo dva produkta (koncentrat i jalovina). Koncentrat se sastoji od težih zrna koja su se istaložila u prvoj komori, a jalovina od lakših zrna koje je zračna struja prebacila preko pregrade u drugu komoru.



Slika 4 – 14 Shematski prikaz laboratorijskog zračnog separatora

Glavni dijelovi modela horizontalnog zračnog separatora

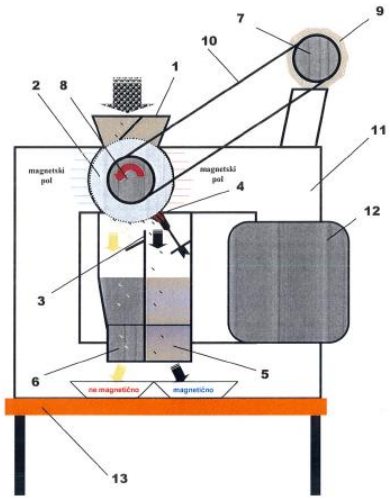
1. lijevak za ulaz materijala;
2. ulazni otvor (horiz. pomicanje);
3. izvor zračne struje (6-13 m/s);
4. pregrada između komora;
5. kučište separatora;
6. ispust za koncentrat;
7. ispust za jalovinu;
8. posude za prihvat materijala;
9. izlaz zračne struje;
10. postolje.

Slika 4 – 15 Model horizontalnog zračnog separatora
(Bedeković i Salopek, 2008)

4.3.4. Magnetski separatori

Za potrebe testiranja korišten je i suhi i mokri magnetski separator.

Testiranje na suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru njemačkog proizvođača "Humboldt-Wedag" (slika 4 – 16 i 4 – 17) izvedeno je na sljedeći način. Uzorak je doziran kroz ulaz *1*, ravnomjerno i u tankom sloju, po cijeloj površini bubnja *2* koji rotira između polova elektromagneta. Sva zrna pod djelovanjem gravitacije padaju na površinu bubnja i počinju rotirati zajedno s bubnjem. U času kada rotacijom bubnja zrna dođu u položaj da se ispod njih nalazi slobodan prostor (a ne više bubanj), nemagnetične čestice napuštaju bubanj pod djelovanjem gravitacijske sile i padaju u ispust za jalovinu *6* i napuštaju separator sakupljajući se u posudi za prihvat nemagnetičnih čestica. Magnetične čestice nastavljaju rotirati zajedno s bubnjem (iako se ispod njih nalazi slobodan prostor) jer ih magnetska sila drži priljubljene uz bubanj, te kada dođu do četke *4* koja služi kao skidač materijala, napuštaju bubanj i padaju u ispust za koncentrat *5*, te izlaze iz separatora sakupljajući se u posudi za prihvat magnetičnih čestica. Princip rada ovog tipa magnetskog separatora prikazan je na slici 3 – 4 u 3. poglavlju.



Slika 4 – 16 Shematski prikaz visokointenzivnog suhog magnetskog separatora

Glavni dijelovi visokointenzivnog suhog magnetskog separatora:

1. ulaz;
2. indukcijski bubanj Ø 150 mm;
3. razdjelna ploča;
4. skidač materijala;
5. ispust za magnetične materijale;
6. ispust za nemagnetične materijale;
7. pogonska remenica;
8. remenica bubnja;
9. elektromotor;
10. remen;
11. magnetski sustav;
12. magnetski svitak;
13. postolje uređaja.

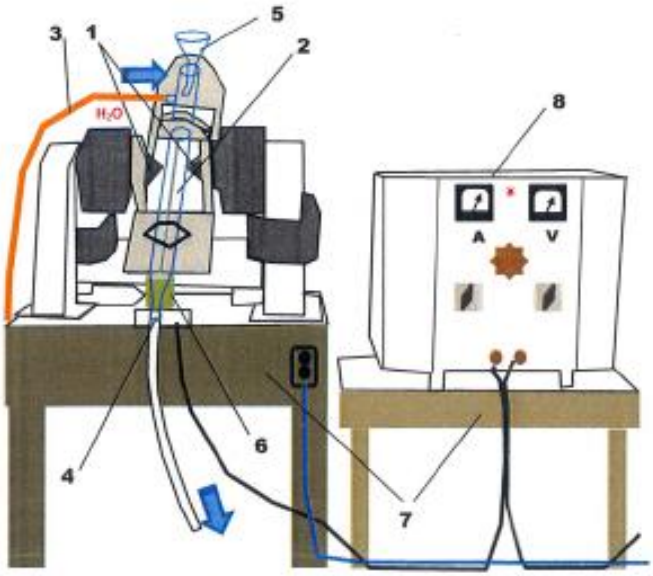
Podaci o elektromotoru:

Proizvođač	Bauer
Godina	1977.
Tip	DK 7407/178
Snaga	0,37 kW
Napon priklj.	220/380 V
Jakost	2,05/ 1,20 A
Broj okretaja	315 o/min
cos ϕ	0,72

Slika 4 – 17 Laboratorijski suhi visokointenzivni magnetski separator ("Humboldt-Wedag")

Zbog razmaka između bubnja i elektromagnetskih polova koji ne dozvoljava prolaz čestica većih od 2 mm pokusi su rađeni sa klasama 2/1 mm, 1/0,5 mm i -0,5 mm. .

Testiranja su obavljena također i u mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru (slike 4 – 18 i 4 – 19). Princip rada je sljedeći. Staklena cijev *2* koja je položena pod nagibom napuni se vodom, te se uskladi dotok vode u cijev i otok vode iz nje. Uključi se elektromotor *6* koji pomiče staklenu cijev *2* gore-dolje uz zakretanje od 90°, te se podesi željena jakost magnetskog polja povećavanjem jakosti struje koja prolazi namotajima elektromagneta. Na vrhu staklene cijevi nalazi se lijevak *5* za ulaz materijala. Nakon što materijal dospije u cijev koja se nalazi između polova magneta *1* i pomiče u uzdužnom smjeru, uslijed strujanja vode i gravitacije čvrsta faza polako putuje prema donjem dijelu cijevi i pri tome prolazi kroz magnetsko polje (između polova magneta). Magnetične čestice biti će zadržane uz stijenke staklene cijevi u predjelu polova magneta zbog djelovanja magnetskog polja (slika 4 – 20), a nemagnetične će neometano proći kroz magnetsko polje i izaći iz staklene cijevi u njezinom donjem dijelu. Nakon što sve nemagnetične čestice napuste staklenu cijev, na dnu cijevi se promijeni posuda za prihvat materijala i vode, te se isključi magnetsko polje i ispusti sva voda s magnetičnim česticama. Nakon što cijeli uzorak dospije u staklenu cijev suspenzija je vrlo mutna pa postupak traje sve dok voda ne postane bistra.

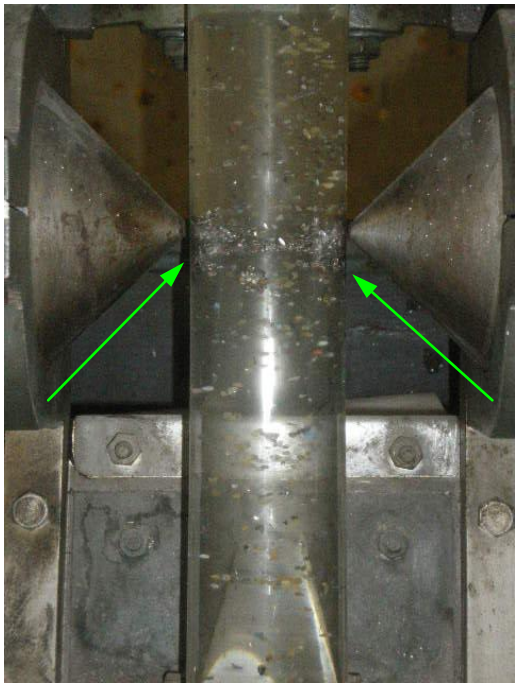


Slika 4 – 18 Shematski prikaz mokrog niskointenzivnog magnetskog separatora

Glavni dijelovi magnetskog separatora:

1. polovi magneta;
2. staklena (*Davisova*) cijev *(Ø 50 mm, L= 770 mm, nagib 40°)*;
3. dovod vode;
4. odvod vode;
5. lijevak za doziranje materijala;
6. elektromotor za pokretanje staklene cijevi *(75 o/min i zakretanje cijevi za 90°)*;
7. postolja;
8. ispravljač s regulacijom *(0,5 do 75 V i 0,5 do 12 A)*.

Slika 4 – 19 Laboratorijski mokri niskointenzivni magnetski separator *25T-СЭМ*
("завод имени Котлякова")



Slika 4 – 20 Pogled na Davis-ovu cijev sa zadržanim magnetičnim materijalom na staklenim stijenkama uz magnetske polove i nemagnetični materijal koji tone

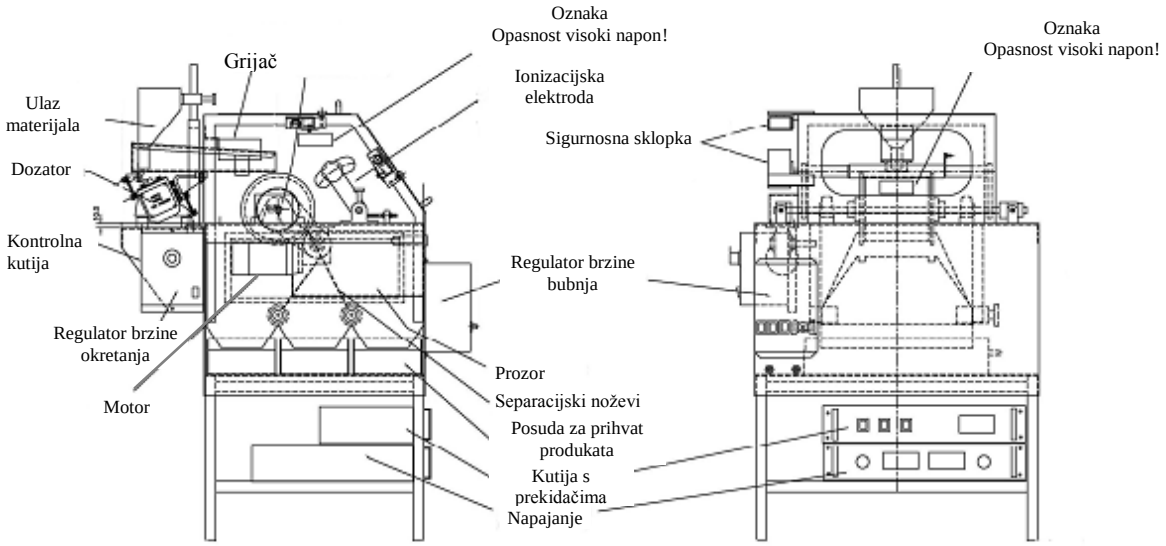
Testiranja su provedena pri jakosti struje od 10 do 12 A, a mijenjano je vrijeme doziranja uzorka (od 180 do 240 sekundi) kao i protok vode (od 0,5 do 5 l/min.).

4.3.5. Elektrostatički separator

Elektrostatička separacija je postupak razdvajanja materijala na korisnu i nekorisnu komponentu uslijed međudjelovanja između električnog polja i električnog naboja čestice, pri čemu dolazi do razlike u kretanju električki nabijenih čestica u električnom polju (Bedeković i Salopek, 2008).

Elektrostatička separacija primjenjuje se u slučajevima kada se čestice razlikuju po dielektričnoj konstanti, tj. polarizacijskim svojstvima i intenzitetu električne vodljivosti.

Elektrostatički separator korišten u eksperimentalnom radu i njegovi osnovni dijelovi prikazani su na slikama 4 – 21 i 4 – 22 . Uzorak u separator ulazi kroz metalni lijevak *1* i pada u vibracijski dozator *17* koji ga dovodi do bubnja *2* (slika 4 – 23). Ulaskom u separacijski prostor sve čestice su izložene bombardiranju negativnim ionima iz ionizacijske elektrode *16*. Čestice koje poprime i nose negativan naboj privučene su prema elektrodi (bubnju) suprotnog (pozitivnog) naboja, a ostale čestice odbačene s bubnja. Odbačene čestice prolaze iznad separacijskog noža *3* i padaju u posudu za prihvat jednog produkta *5*, a čestice privučene bubnju rotiraju s njim sve dok ne naiđu na četku koja ih skida s bubnja pri čemu padaju u posudu za prihvat drugog produkta. Čestice koje imaju tendenciju nabijanja određenim nabojem također se mogu razdvojiti iako njihova vodljivost može biti slična. Gornja veličina zrna u elektrostatičkoj separaciji se kreće u intervalu od 3 do 6 mm, a donja od 40 do 70 μm. Krupnija zrna ne mogu se preraditi jer su preteška za sile koje djeluju u separatoru, a sitnija od 40 μm blokiraju elektrode taložeći se na njima. Ovo je isključivo suhi postupak, a za što uspješnije separiranje potrebno je prethodno obaviti usko klasiranje usitnjenog materijala kako bi zrna bilo što ujednačenijih veličina.



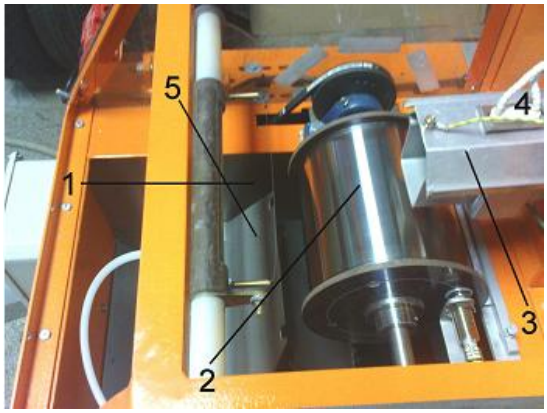
Slika 4 – 21 Shematski prikaz elektrostatičkog separatora Eriez Magnetics HT – 150

a) b)

Slika 4 – 22 Elektrostatički separator Eriez Magnetics HT – 150

Glavni dijelovi elektrostatičkog separatora Eriez Magnetics HT – 150:

1. ulaz materijala;
2. bubanj;
3. separacijski noževi;
4. regulator položaja separacijskih noževa;
5. posude za prihvat produkata;
6. potenciometar za regulaciju napona;
7. voltmetar;
8. ampermetar;
9. potenciometar za regulaciju struje;
10. prekidač za elektrode;
11. pokazivač brzine bubnja;
12. prekidač;
13. prekidač grijača;
14. glavni prekidač;
15. regulator brzine bubnja;
16. ionizacijska elektroda;
17. hranilica elektrostatičkog separatora.



Dijelovi:

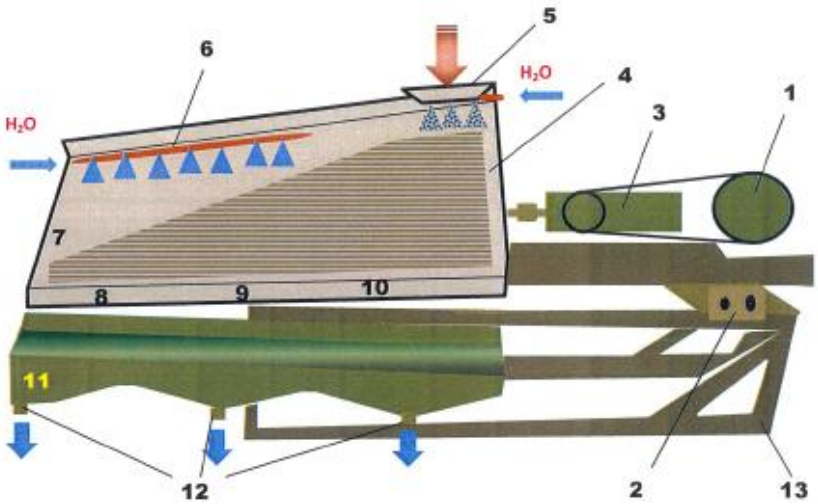
1. ionizacijska elektroda;
2. bubanj;
3. hranilica;
4. grijač;
5. separacijski nož.

Slika 4 – 23 Detalj unutrašnjosti separatora – separacijski prostor

4.3.6. Koncentracijski stol

Koncentracijski stol je uređaj na kojem uslijed pulziranja nagnute i užlijebljene ploče, uz stalni dotok vode dolazi do stratifikacije i raspodjele materijala na „laki“ i „teški“ proizvod. Stratifikacija se odvija na temelju koncentracije u tankom sloju vode, koncentracije u protočnom sloju vode te dodatnih mehanizama koji podrazumijevaju užljebljenje i asimetrično gibanje ploče (Bedeković i Salopek, 2008).

Na slikama 4 – 24 i 4 – 25 prikazan je koncentracijski stol korišten u eksperimentalnom radu. Uzorak na ploču stola dolazi kroz posudu za ulaz uzorka *5* uz dodatak vode. Nakon što dođe na ploču *4*, dolazi do stratifikacije materijala temeljem prethodno navedenih mehanizama. Vrlo sitne čestice (mulj) imaju toliko malu masu da se ne uspiju istaložiti na ploču stola, pa izlaze nasuprot ulaza (sl. 4 – 24, poz. *10*). Čestice „lake“ komponente nalaze se na vrhu stratificiranog sloja pa prve dolaze pod utjecaj poprečnog strujanja ispirne vode *6*, koja ih skida s ploče na poziciji *9*. Na poziciji *8* izlazi međuprodukt, dok čestice teške komponente koje su se istaložile na dno ploče stola prevaljuju najdulji put od mjesta ulaza na ploču i izlaze dijagonalno s obzirom na mjesto ulaza (poz. *7*).



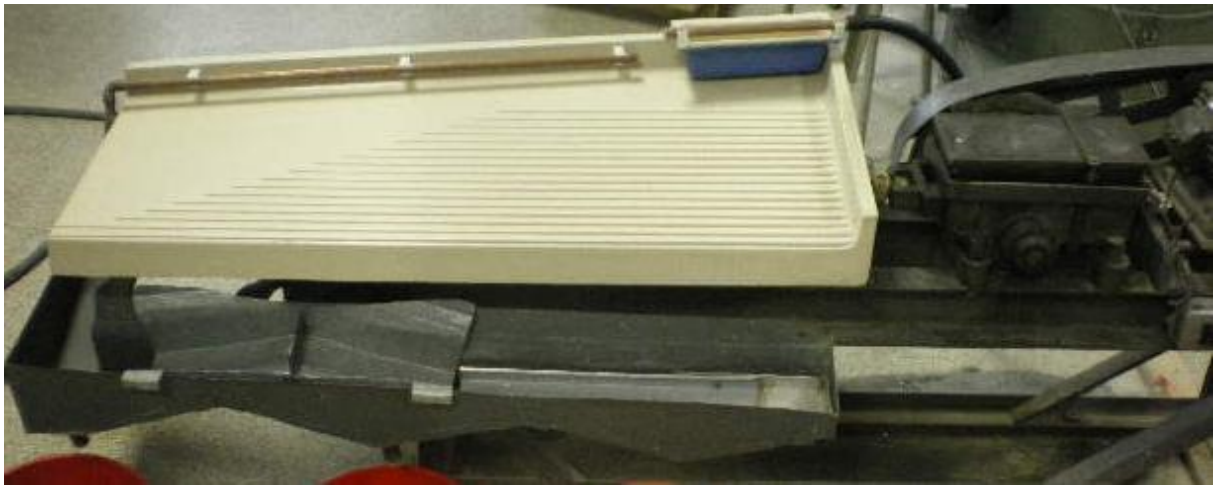
Slika 4 – 24 Shematski prikaz koncentracijskog stola

Glavni dijelovi koncentracijskog stola Wilfley:

1. Elektromotor,
2. Prekidač elektromotora,
3. Mehanizam asimetričnog gibanja,
4. Ploča stola sa žljebovima,
5. Ulaz materijala,
6. Cijev za dotok ispirne vode,
7. Izlaz teške frakcije,
8. Izlaz međuprodukta,
9. Izlaz lake frakcije,
10. Izlaz mulja,
11. Žlijeb za prihvat vode i frakcija,
12. Ispusti za frakcije,
13. Postolje.

Podaci o elektromotoru:

Proizvođač	Elektrokovina	Jakost	5,2 / 3 A
Tip	TMP 14d4	Broj okretaja	1360 o/min
Snaga	1,1 kW	Frekvencija	50 Hz
Napon priklj.	220/380 V	cos ϕ	0,75



Slika 4 – 25 Koncentracijski stol Wilfley

4.4. TESTIRANJE GRUPE „ZVUČNICI“

4.4.1. Priprema uzorka

Slika 4 – 26 prikazuje zvučnike nakon ručnog izdvajanja audio sustava.

Slika 4 – 26 Zvučnici nakon odvajanja audio sustava

Grupa „Zvučnici“ (u daljnjem tekstu grupa „Z“) sadrže najviše željeza ali i nešto bakra u svitcima te plastiku, papir, karton i tekstil. Svi ovi materijali međusobno su na određen način spojeni u jednu jedinstvenu cjelinu koja čini zvučnik. Budući da je krajnji cilj recikliranja dobiti zasebne produkte koji se mogu ponovo iskoristiti, prije svega je potrebno postići raščin da bi se kasnije nekim od separacijskih postupaka ili kombinacijom više njih materijali od kojih se sastoji zvučnik razdvojili u zasebne proizvode. Primarno sitnjenje zvučnika izvedeno je u udarnoj drobilici IZ-0 prikazanoj na slici 4 – 27 kako je opisano u poglavlju 4.3.1.

Slika 4 – 27 Sitnjenje zvučnika u udarnoj drobilici IZ-0

U ovoj fazi je vrlo važno da dođe do prekidanja veza između materijala od kojih se sastoje zvučnici da se može izdvojiti najveći dio željezne komponente koja je kao sekundarna sirovina zadovoljavajuće granulacije, a ujedno se štedi energija potrebna za sekundarno sitnjenje i uređaji od trošenja radnih elemenata. Vaganjem je utvrđeno da je iz daljnje obrade izdvojeno 2 509 grama željezne komponente (slika 4 – 28) odnosno 97,0 % mase uzorka dok preostalih 3,0 % predstavlja nešto sitnijeg željeza, bakrena žica, aluminijski držači, plastika, papir, karton, tekstil i dr.

Slika 4 – 28 Ručno izdvojeno željezo nakon primarno sitnjenja u udarnoj drobilici

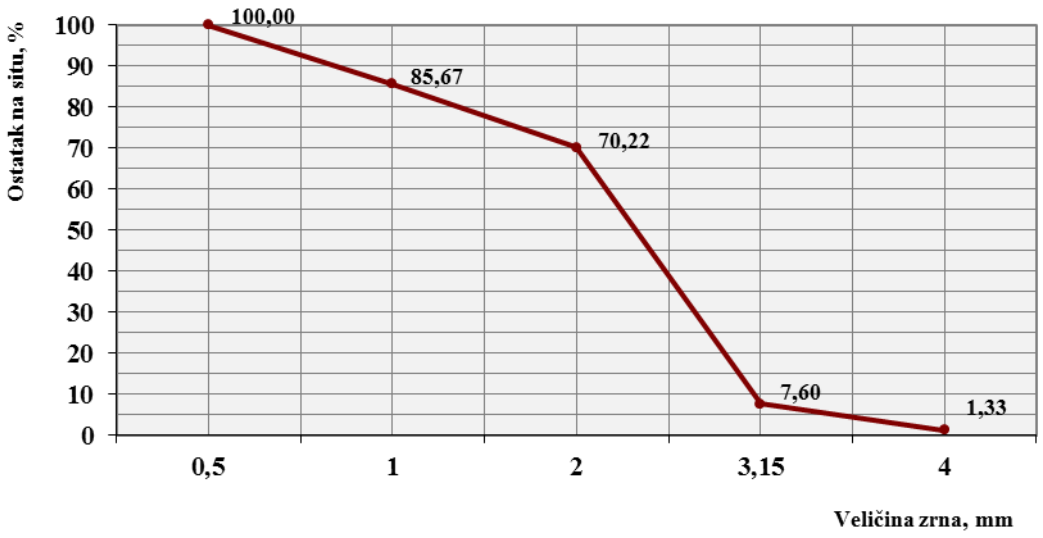
4.4.2. Određivanje granulometrijskog sastava

Nakon odvajanja krupne željezne komponente, preostali dio uzorka ide na sekundarno sitnjenje u rezni mlin RETSCH 2000 pri čemu je korištena rešetka s veličinom otovora od 4 mm. Nakon sekundarnog sitnjenja je provedena granulometrijska analiza, a dobiveni rezultati su prikazani u tablici 4 – 2.

Tablica 4 – 2 Granulometrijski sastav preostalog materijala grupe „Z“ nakon sekundarnog sitnjenja

KLASA [mm]	**MASA**		**MASA [cum.%]**
	[g]	**[%]**	
+ 4	0,27	0,37	0,37
4/3,15	0,71	0,97	1,33
3,15/2	4,61	6,27	7,60
2/1	46,07	62,62	70,22
1/0,5	11,37	15,45	85,67
-0,5	10,54	14,33	**100,00**
UKUPNO:	**73,57**	**100,00**	

Određivanje granulometrijskog sastava provedeno je postupkom suhog sijanja na standardnim laboratorijskim sitima s veličinama otvora od 3,15, 2, 1 i 0,5 mm te vaganjem mase zrna zaostalih na pojedinim sitima. Sijanje je izvedeno uz upotrebu laboratorijskog elektromagnetskog sita *FRITSCH "Analysette 3"* na sitima promjera 200 mm s pletenim prosjevnim površinama, kvadratičnih otvora (poglavlje 4.3.2.).



Slika 4 – 29 Dijagram granulometrijskog sastava nakon sekundarnog sitnjenja grupe „Z“

Iako su na granulometrijskoj krivulji (slika 4 – 29) zastupljene klase + 4 mm i 4/3,15 mm, bitno je napomenuti da se radi o komadima tkanine i papira, koji su kao nekorisna komponenta izdvojeni iz daljnje eksperimentalne procedure.

Ručnim probiranjem utvrđen je maseni udio korisne komponente u uzorku, a uspjeh separacije procjenjivat će se temeljem dvaju tehnoloških parametara od kojih je jedan kvaliteta koncentrata, a drugi maseno iskorištenje. Ovi tehnološki parametri izračunavaju se prema izrazima (1) i (2). U daljnjem ispitivanju testirane su četiri klase: 3,15/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm.

Kvaliteta (čistoća) koncentrata *(K_k)* definira se kao maseni udio korisne komponente (u ovom testiranju metal i plastika) u koncentratu, izražen u postocima:

$$K_k = 100 \cdot \frac{m_k}{K} \ (\%) \qquad (1)$$

gdje je:

K_k – kvaliteta koncentrata (%)
m_k - masa korisne komponente u koncentratu (kg)
K - masa koncentrata (kg)

Maseno iskorištenje je odnos mase koncentrata i mase ulaznog materijala izražen u postocima:

$$I_m = 100 \cdot \frac{K}{U} \ (\%) \qquad (2)$$

gdje je:

I_m – maseno iskorištenje (%)
U - masa ulazne sirovine (kg)

4.4.3. Separiranje u zračnom separatoru

U ovoj fazi ispitivanja određen je utjecaj visine pregrade, brzine strujanja zraka i udaljenosti ulaznog otvora od izvora zračne struje tj. „položaj uspinog otvora“ (nezavisne varijable) na efikasnost separiranja, pri čemu je pokazatelj uspješnosti separacije bila kvaliteta koncentrata i maseno iskorištenje (zavisne varijable). U tu svrhu primijenjeno je statističko planiranje eksperimenata, s ciljem da se uz što manji broj pokusa, nakon statističke analize njihovih rezultata, dobije što više nepristranih informacija o utjecaju nezavisnih varijabli i njihovih međudjelovanja na zavisne varijable (Pfaff & Salopek, 2004; Montgomery, 1976).

Ispitivanja u modelu horizontalnog zračnog separatora izvedena su prema Centralno složenom planu *(engl., Central Composite Design)*, a dobiveni rezultati ispitivanja statistički obrađeni metodom analize varijance u programskom sustavu *Statistica (Version 8)* tvrtke StatSoft. Analizom varijance utvrđeno je koja od pojedinačnih nezavisnih varijabli i koja međudjelovanja svake dvije od ukupno tri ispitivane nezavisne varijable imaju značajan utjecaj na zavisne varijable, a također je određena nelinearna regresijska jednadžba (model) ovisnosti zavisnih varijabli o nezavisnim.

Za tri nezavisne varijable program *Statistica* generira odgovarajući Centralno složen plan s kodiranim vrijednostima varijabli (17 pokusa, pet različitih vrijednosti svake od tri nezavisne varijable), kao što je prikazano u tablici 4 – 3. Planom su definirane kombinacije vrijednosti radnih parametara pri kojima su provedeni pokusi. Zadane su sljedeće središnje vrijednosti nezavisnih varijabli (h_o, v_o, d_o) i korak između vrijednosti pojedine varijable (c_h, c_v, c_d):

h_o = 100 mm c_h = 60 mm

v_o = 9,5 m/s c_v = 2,0 m/s

d_o = 35 mm c_d = 15 mm

Za svaku od pet kodiranih vrijednosti (x') izračunate su stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli x (tablica 4 – 4), prema izrazu:

$$x = c \cdot x' + x_o \quad (3)$$

tj.

$$h = c_h \cdot x' + h_o$$

$$v = c_v \cdot x' + v_o$$

$$d = c_d \cdot x' + d_o$$

a x' prima vrijednost -1,68179, -1, 0, 1, 1,68179

Tablica 4 – 3 Centralno složen plan (*Central Composite Design*) za tri nezavisne varijable*

Broj pokusa	2**(3) Centralno složeni plan, nc=8 ns=6 nc0=2 ns0=1 Pokusa=17			
	Blok	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm
1	1	-1,0000	-1,0000	-1,0000
2	1	-1,0000	1,0000	1,0000
3	1	1,0000	-1,0000	1,0000
4	1	1,0000	1,0000	-1,0000
5©	1	0,0000	0,0000	0,0000
6	1	-1,0000	-1,0000	1,0000
7	1	-1,0000	1,0000	-1,0000
8	1	1,0000	-1,0000	-1,0000
9	1	1,0000	1,0000	1,0000
10 ©	1	0,0000	0,0000	0,0000
11	1	-1,6818	0,0000	0,0000
12	1	1,6818	0,0000	0,0000
13	1	0,0000	-1,6818	0,0000
14	1	0,0000	1,6818	0,0000
15	1	0,0000	0,0000	-1,6818
16	1	0,0000	0,0000	1,6818
17 ©	1	0,0000	0,0000	0,0000

* kodirane vrijednosti

Tablica 4 – 4 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli – grupa „Z“

x' Kodirana vrijednost	**x** Stvarna vrijednost		
	h* = *x₁ Visina pregrade (mm)	***v* = *x₂*** Brzina strujanja zraka (m/s)	***d* = *x₃*** Udaljenost ulaznog otvora (mm)
-1.68179	40	6,0	10
-1.00000	64	7,5	20
0.00000	100	9,5	35
1.00000	134	11,5	50
1.68179	160	13,0	60

Metodom višestruke regresije u istom programu određeni su koeficijenti u krivolinijskoj jednadžbi ovisnosti zavisne varijable o nezavisnim, čiji je opći oblik (Pfaff & Salopek, 2004; StatSoft®, 2008):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=i+1}^{k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} x_i^2 \tag{4}$$

a koja u slučaju tri nezavisne varijable to $x_1=h$, $x_2=v$, $x_3=d$ ima sljedeći oblik:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \tag{5}$$

gdje je:

h, v, d – nezavisne varijable,

Y – zavisna varijabla kvaliteta koncentrata odnosno maseno iskorištenje

b_0 – konstanta *(Intercept)*,

b_1, b_2, b_3 – koeficijenti koji opisuju linearni utjecaj nezavisnih varijabli x_1, x_2 i x_3 na zavisnu varijablu Y,

b_{11}, b_{22}, b_{33} – koeficijenti koji opisuju krivolinijski (kvadratni) utjecaj nezavisnih varijabli x_1, x_2 i x_3 na zavisnu varijablu Y,

b_{12}, b_{13}, b_{23} – koeficijenti koji opisuju međudjelovanje po dvije od nezavisnih varijabli x_1, x_2 i x_3 na zavisnu varijablu Y.

Uvrštavanjem odgovarajućih koeficijenata, dobivenih analizom za svaku od promatranih zavisnih varijabli (posljednji stupac u tablicama 4 – 6) za stvarne vrijednosti odnosno pretposljednji za kodirane vrijednosti nezavisnih varijabli) u izraz (5), dolazi se do izraza (6) odnosno regresijskih jednadžbi (modela) nelinearne ovisnosti za kvalitetu koncentrata i maseno iskorištenje o visini pregrade (*h*), brzini strujanja zraka (*v*) i udaljenosti ulaznog otvora (*d*), pri separaciji u modelu horizontalnog zračnog separatora,

gdje je:

$$\boldsymbol{Y} = \mathbf{b_0} + \mathbf{b_1} \cdot \boldsymbol{h} + \mathbf{b_2} \cdot \boldsymbol{v} + \mathbf{b_3} \cdot \boldsymbol{d} + \mathbf{b_{11}} \cdot \boldsymbol{h}^2 + \mathbf{b_{22}} \cdot \boldsymbol{v}^2 + \mathbf{b_{33}} \cdot \boldsymbol{d}^2 + \mathbf{b_{12}} \cdot \boldsymbol{h} \cdot \boldsymbol{v} + \mathbf{b_{13}} \cdot \boldsymbol{h} \cdot \boldsymbol{d} + \mathbf{b_{23}} \cdot \boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{d} \quad (6)$$

4.4.3.1. Ispitivanje klase 3,15/2 mm

Ručnim probiranjem utvrđen je sastav ulaznog uzorka klase 3,15/2 mm u zračni separator. Vaganjem je određena masa od 0,60 grama korisne komponente (metala i plastike) koja predstavlja 13,02 % masenog udjela i 4,01 grama nekorisne komponente (papira, gume i tekstila) koja predstavlja 86,98 % masenog udjela uzorka klase 3,15/2 mm koji ulazi u zračni separator.

Rezultati ispitivanja klase 3,15/2 mm – grupa „Z“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 5.

Tablica 4 – 5 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u separatoru za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“

Pokus br.	**Visina pregrade mm**	**Brzina zraka m/s**	**Položaj usipnog otvora mm**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	64	7,5	20	96,67	50,76
2	64	11,5	50	56,67	19,52
3	136	7,5	50	96,67	55,75
4	136	11,5	20	96,67	54,66
5(c)	100	9,5	35	95,00	39,05
6	64	7,5	50	91,67	31,89
7	64	11,5	20	93,33	33,19
8	136	7,5	20	100,00	73,97
9	136	11,5	50	95,00	35,36
10(c)	100	9,5	35	93,33	44,47
11	40	9,5	35	88,33	33,41
12	160	9,5	35	99,17	80,15
13	100	6	35	95,00	70,50
14	100	13	35	88,33	28,20
15	100	9,5	10	95,00	53,15
16	100	9,5	60	88,33	30,15
17(c)	100	9,5	35	93,33	44,90

Tablica 4 – 6 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 3,15/2 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect[2]	*Std.Err.*[3]	t(7)[4]	p[5]	*Coeff.*[6]	***Coeff.***[7]
Mean/Intercept[1]	93,96090	3,568808	26,32837	0,000000	93,96090	3,568808
(1) Visina pregrade, mm (L)	10,04262	3,361735	2,98733	0,020303	5,02131	1,680868
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-7,78938	3,293275	-2,36524	0,049955	-3,89469	1,646637
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-8,52443	3,361735	-2,53572	0,038906	-4,26221	1,680868
Visina pregrade, mm (Q)	-0,77216	3,753148	-0,20574	0,842852	-0,38608	1,876574
Brzina zraka, m/s (Q)	-2,00970	3,452561	-0,58209	0,578764	-1,00485	1,726281
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-2,27336	3,753148	-0,60572	0,563816	-1,13668	1,876574
1L by 2L	8,33500	4,375999	1,90471	0,098522	4,16750	2,187999
1L by 3L	9,16500	4,375999	2,09438	0,074487	4,58250	2,187999
2L by 3L	-7,50000	4,375999	-1,71389	0,130270	-3,75000	2,187999

[1] Slobodni član (b_0) u jednadžbi regresije drugog stupnja - vidi izraz (5); za stvarne vrijednosti u posljednjem i za kodirane vrijednosti nezavisnih varijabli u predposljednjem stupcu tablice.
[2] Procjene veličine utjecaja nezavisnih varijabli i njihovih međudjelovanja navedenih u prvom stupcu tablice.
[3] Standardna greška procjene veličine utjecaja (vrijednosti potrebne za izračunavanje test vrijednosti t).
[4] Test vrijednost t (broj (7) označava tzv. stupanj slobode koji je parametar T-razdiobe o kojem ovise vrijednosti zavisne varijable). t-test se provodi kako bi se ispitala osnovna hipoteza da je pojedini utjecaj jednak nuli tj. da faktor ili međudjelovanje nema značajan utjecaj na zavisnu varijablu.
[5] Razina značajnosti provedenog testa *(p-level)*.
[6] Koeficijenti u jednadžbi regresije (izraz (5)) za kodirane vrijednosti nezavisnih varijabli i njihovih međudjelovanja.
[7] Koeficijenti u jednadžbi regresije za stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli i njihovih međudjelovanja.

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 6 u izraz (6) dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

$$\boldsymbol{Y = 3{,}57 + 1{,}68h + 1{,}65v + 1{,}68d + 1{,}88h^2 + 1{,}73v^2 + 1{,}88d^2 + 2{,}19h \cdot v + 2{,}19h \cdot d + 2{,}19v \cdot d}$$

Tablica 4 – 7 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 3,15/2 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS[1]	df[2]	MS[3]	F[4]	P[5]
(1) Visina pregrade, mm (L)	341,784	1	341,7839	8,924158	0,020303
(2) Brzina zraka, m/s (L)	214,257	1	214,2566	5,594353	0,049955
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	246,256	1	246,2565	6,429885	0,038906
Visina pregrade, mm (Q)	1,621	1	1,6211	0,042328	0,842852
Brzina zraka, m/s (Q)	12,977	1	12,9767	0,338827	0,578764
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	14,052	1	14,0517	0,366898	0,563816
1L by 2L	138,944	1	138,9444	3,627912	0,098522
1L by 3L	167,994	1	167,9945	4,386423	0,074487
2L by 3L	112,500	1	112,5000	2,937434	0,130270
Pogreška *(Eror)*[6]	268,091	7	38,2987		
Total SS	1510,734	16			

[1] Dio varijance *(Sum of Squares)* koja je rezultat promjene određene nezavisne varijable, njenog kvadrata ili međudjelovanja, navedenih u prvom stupcu tablice.

[2,3] Veličine potrebne za izračunavanje veličine test vrijednosti F *(Deegrees of Freedom, Mean Squares)*

[4] Test vrijednost F.

[5] Razina značajnosti *(p-level)* provedenog testa (vjerojatnost pogrešnog odbacivanja osnovne hipoteze). Osnovna hipoteza: varijanca kao posljedica promjene pojedine nezavisne varijable, njenog kvadrata ili međudjelovanja varijabli, jednaka je varijanci greške tj. rezultat je slučajnosti. Prihvaćanje te hipoteze znači da promatrana nezavisna varijabla, njen kvadrat ili međudjelovanje nema značajan utjecaj na zavisnu varijablu. Uobičajeno je da se osnovna hipoteza prihvaća za $p > 0,05$ a za $p < 0,05$ odbacuje ($p = 0,05$ – prag značajnosti).

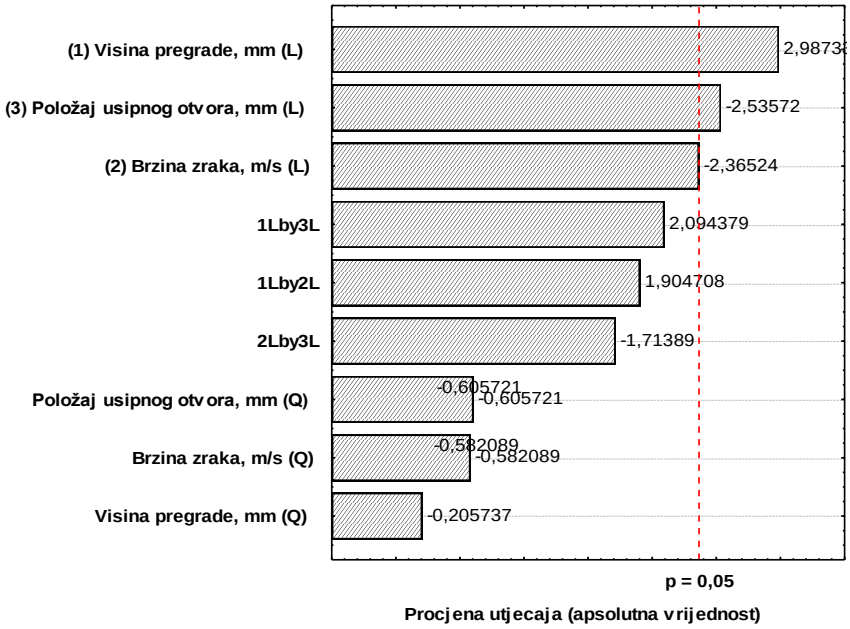
[6] Varijanca greške.

(L) – linearni utjecaj nezavisne varijable

(Q) – utjecaj kvadrata nezavisne varijable

1L by 2L, 1L by 3L, 2L by 3L – linearni utjecaji međudjelovanja nezavisnih varijabli

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 6 i 4 – 7 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati kako na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 1).

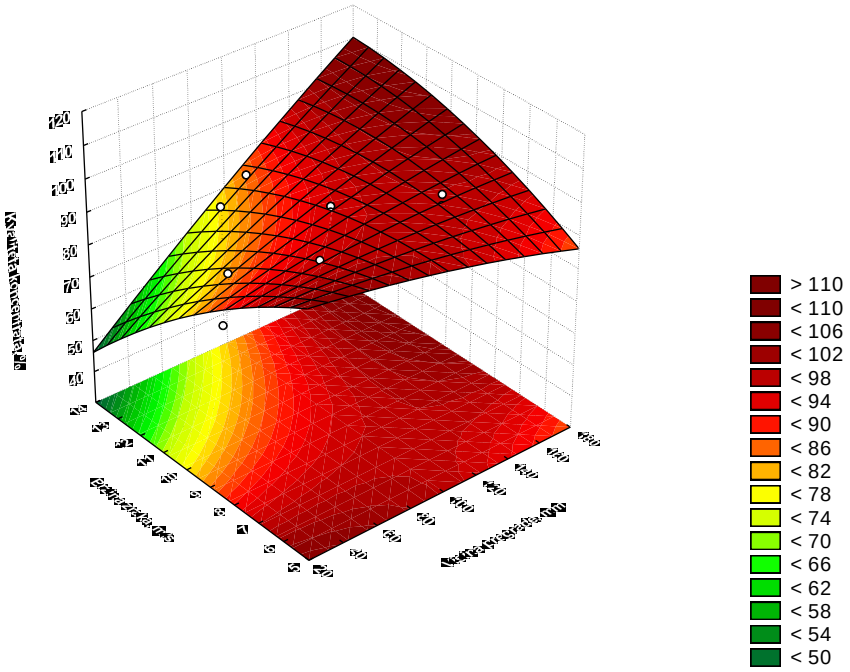


Grafikon 4 – 1 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 3,15/2 mm – grupa „Z“

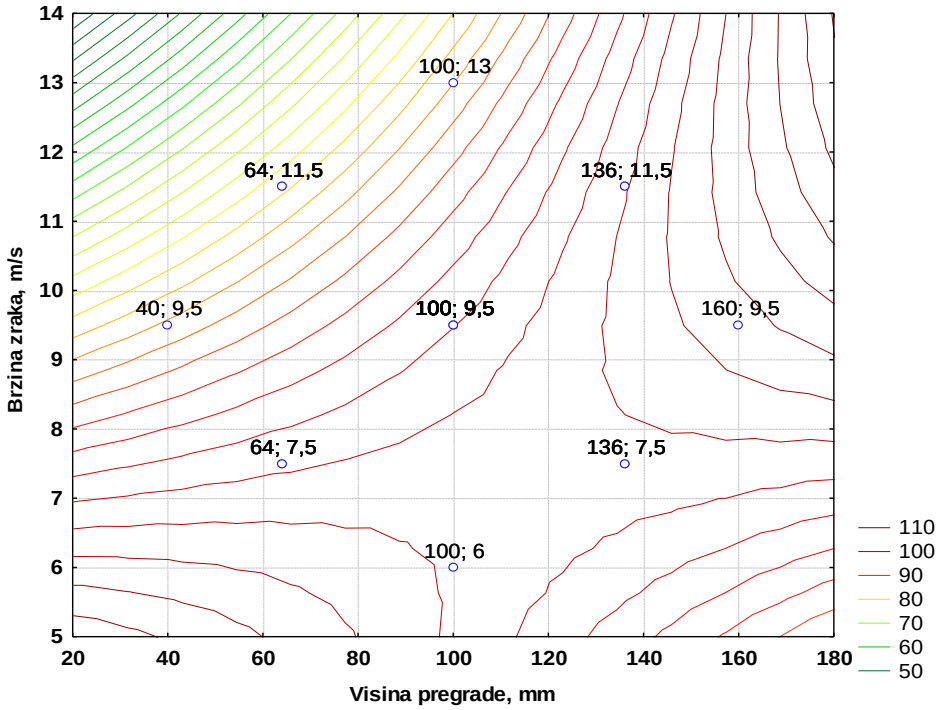
U grafikonu 4 – 1 prikazane su test vrijednosti t-testa (4. stupac u tablici 4 – 6) poredane po veličini apsolutne vrijednosti tj. značajnosti utjecaja nezavisne varijable na zavisnu varijablu. Time su razine značajnosti (5. stupac u tablici 4 – 7) poredane od najmanje do najveće, a označen prag značajnosti ($p = 0,05$) omogućuje jednostavno uočavanje za koje varijable i njihova međudjelovanja je $p<0,05$ što znači da imaju utjecaj na nezavisnu varijablu.

Treba napomenuti da je isti prikaz značajnosti utjecaja nezavisnih varijabli korišten u grafikonu 4 – 2 i svim ostalim grafikonima u eksperimentalnom dijelu ove radnje.

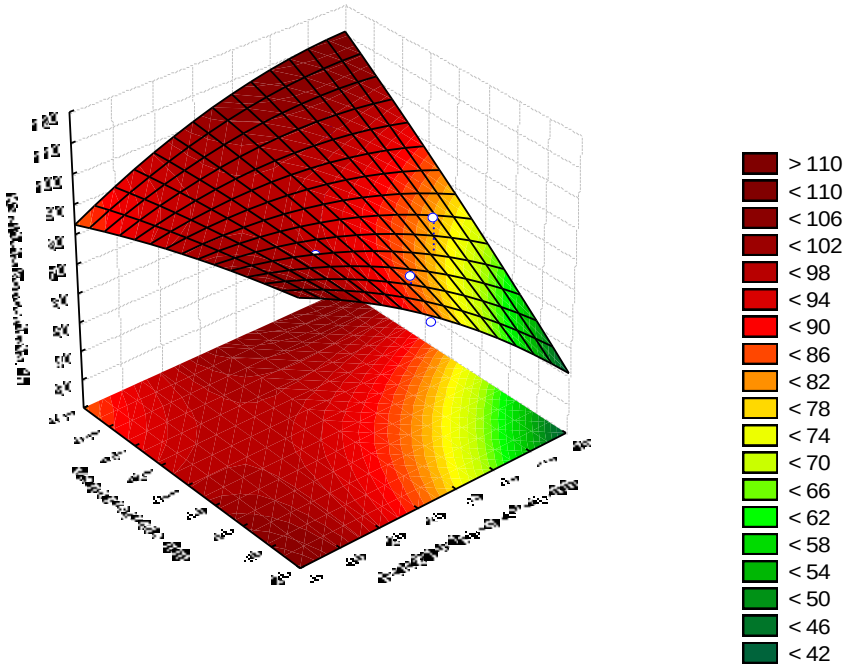
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 30, 4 – 32 i 4 – 34) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 31, 4 – 33 i 4 – 35) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 3,15/2 mm – grupa „Z“.



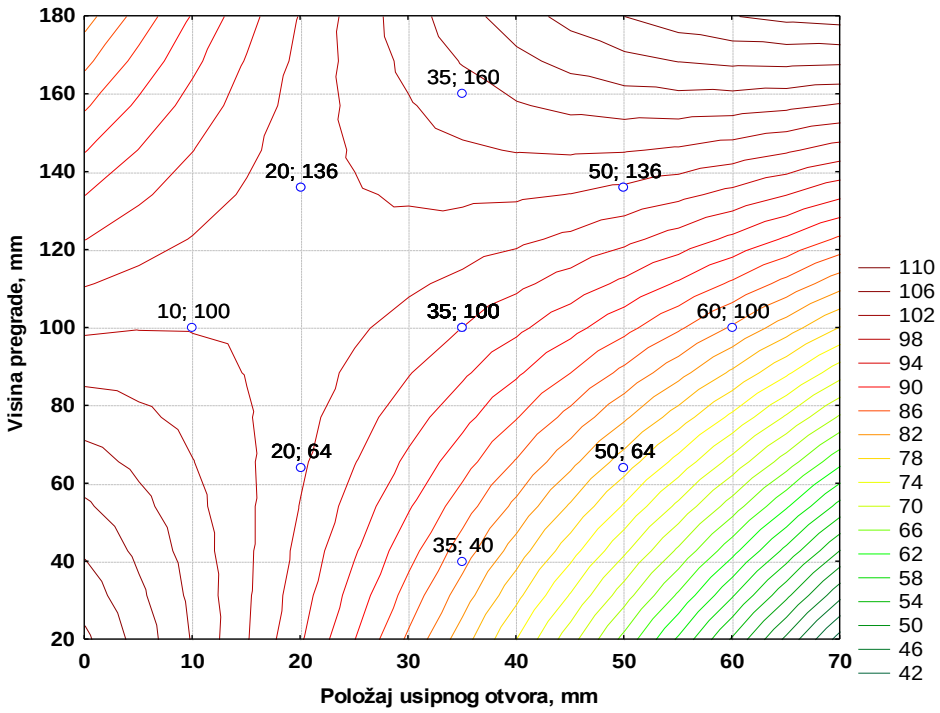
Slika 4 – 30 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



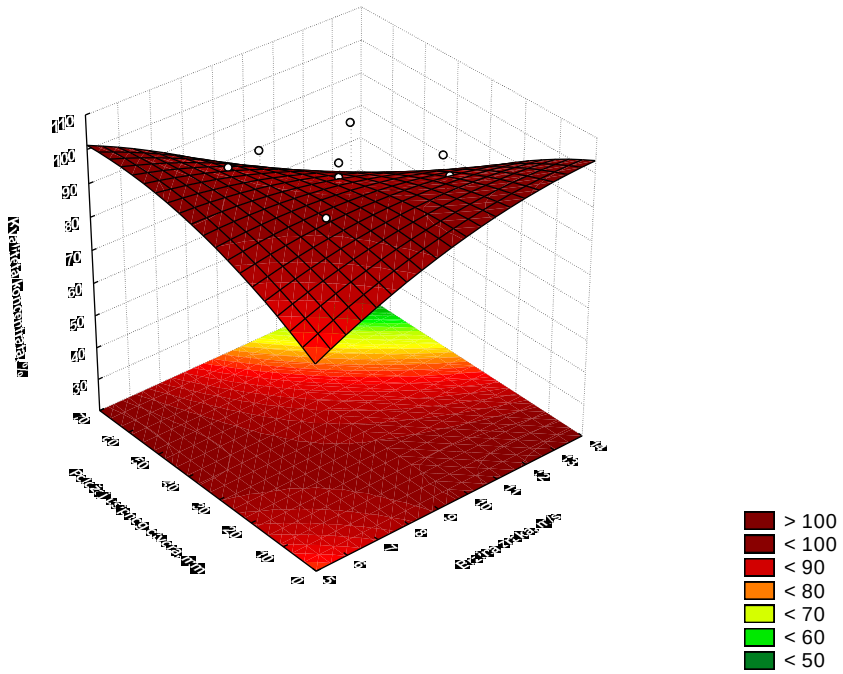
Slika 4 – 31 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



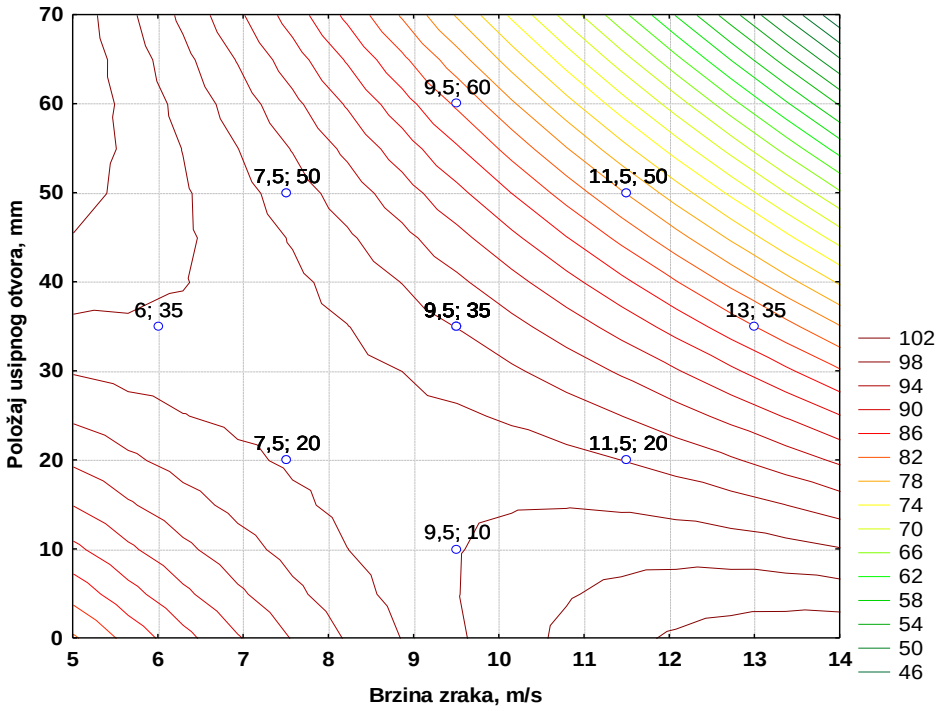
Slika 4 – 32 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 33 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 34 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 35 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

Tablica 4 – 8 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	43,0665	3,108005	13,85663	0,000002	43,0665	3,108005
(1) Visina pregrade, mm (L)	23,9430	2,927669	8,17816	0,000079	11,9715	1,463835
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-20,3419	2,868048	-7,09261	0,000195	-10,1710	1,434024
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-15,9925	2,927669	-5,46252	0,000943	-7,9962	1,463835
Visina pregrade, mm (Q)	7,7029	3,268543	2,35667	0,050589	3,8514	1,634271
Brzina zraka, m/s (Q)	2,3175	3,006767	0,77078	0,466053	1,1588	1,503384
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-3,1907	3,268543	-0,97619	0,361490	-1,5954	1,634271
1L by 2L	-2,4400	3,810971	-0,64026	0,542387	-1,2200	1,905486
1L by 3L	-1,2450	3,810971	-0,32669	0,753455	-0,6225	1,905486
2L by 3L	1,0300	3,810971	0,27027	0,794746	0,5150	1,905486

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 8 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

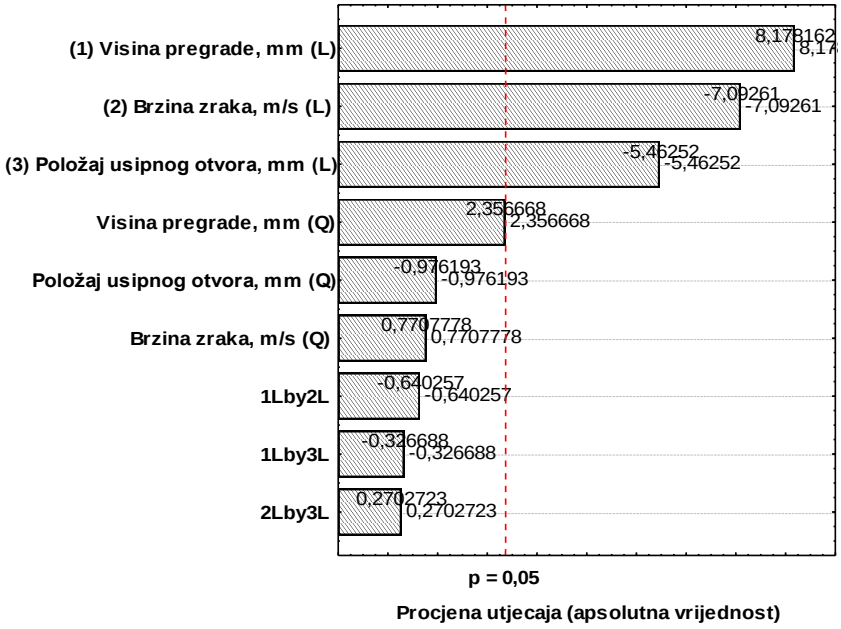
$$\boldsymbol{Y = 3{,}11 + 1{,}46h + 1{,}43v + 1{,}46d + 1{,}63h^2 + 1{,}50v^2 + 1{,}63d^2 + 1{,}91h \cdot v + 1{,}91h \cdot d + 1{,}91v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 3,15/2 mm – grupa „Z“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 8 i 4 – 9, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 2.

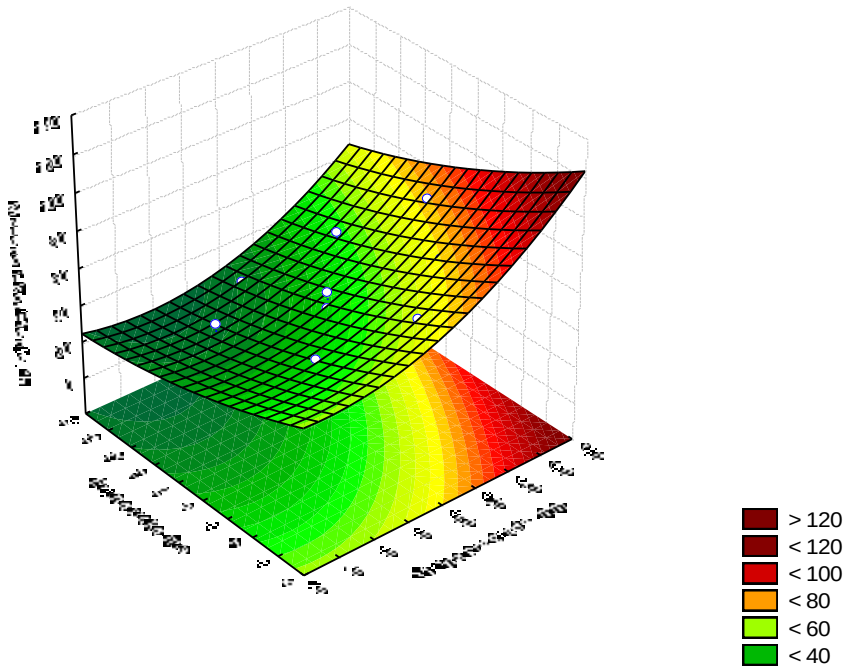
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 37, 4 – 39 i 4 – 41) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 38, 4 – 40 i 4 – 42) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 3,15/2 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 9 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 3,15/2 mm – grupa „Z“

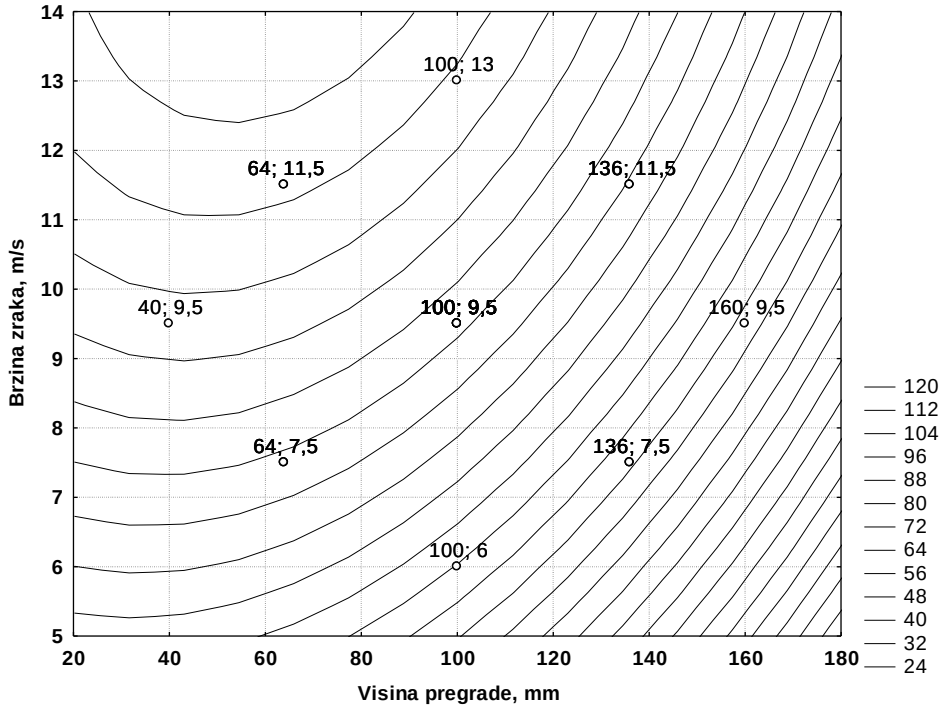
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	1942,731	1	1942,731	66,88233	0,000079
(2) Brzina zraka, m/s (L)	1461,213	1	1461,213	50,30512	0,000195
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	866,738	1	866,738	29,83916	0,000943
Visina pregrade, mm (Q)	161,324	1	161,324	5,55389	0,050589
Brzina zraka, m/s (Q)	17,257	1	17,257	0,59410	0,466053
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	27,680	1	27,680	0,95295	0,361490
1L by 2L	11,907	1	11,907	0,40993	0,542387
1L by 3L	3,100	1	3,100	0,10673	0,753455
2L by 3L	2,122	1	2,122	0,07305	0,794746
Pogreška *(Eror)*	203,329	7	29,047		
Total SS	4748,142	16			



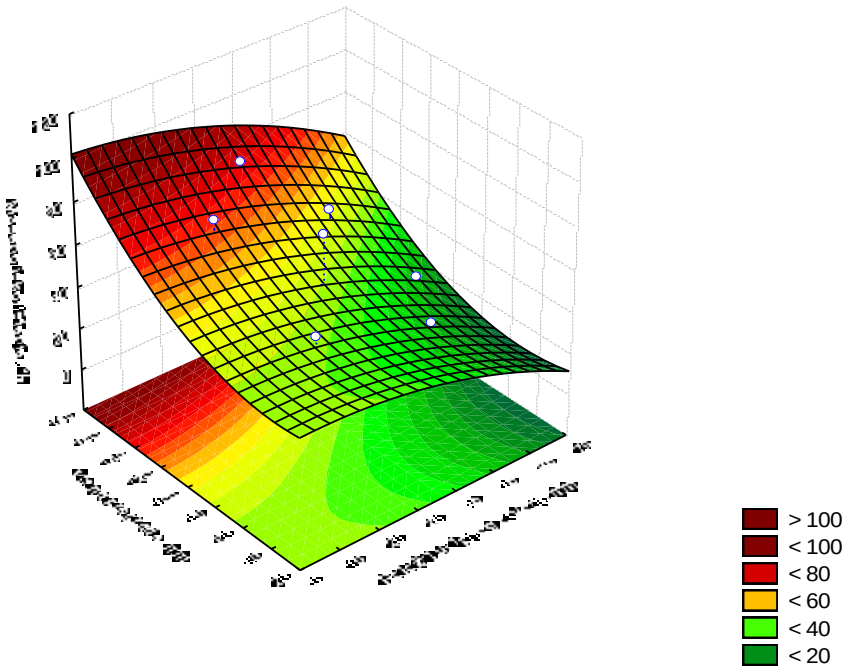
Grafikon 4 – 2 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 3,15/2 mm – grupa „Z“



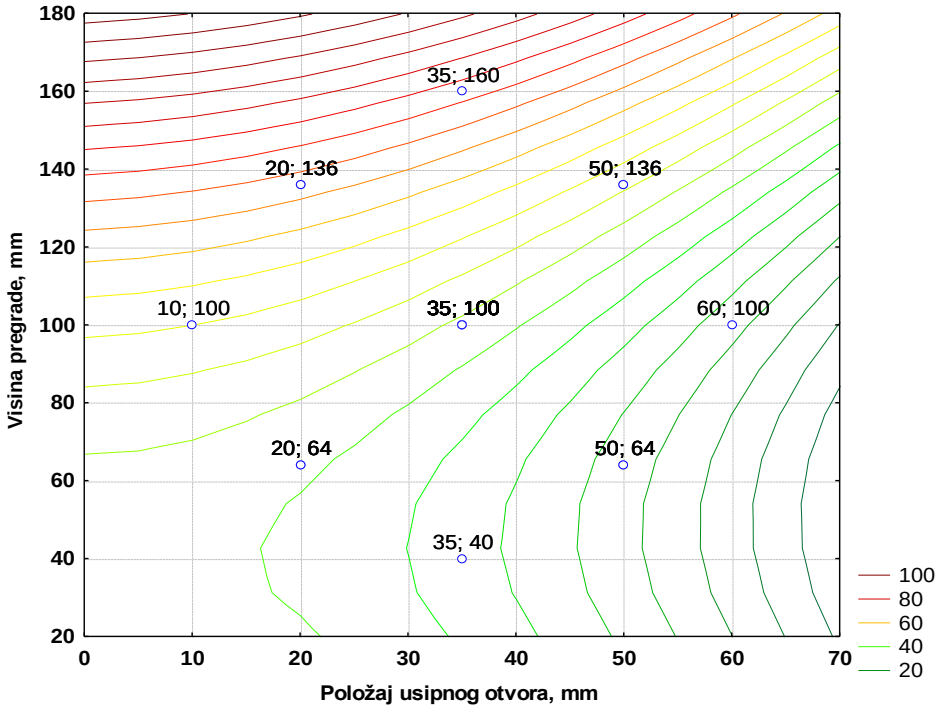
Slika 4 – 36 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



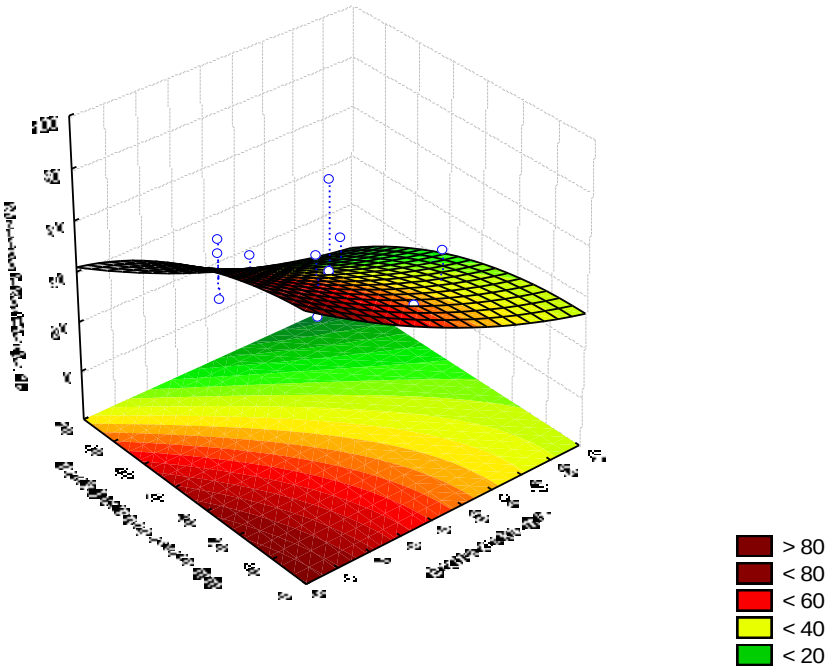
Slika 4 – 37 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



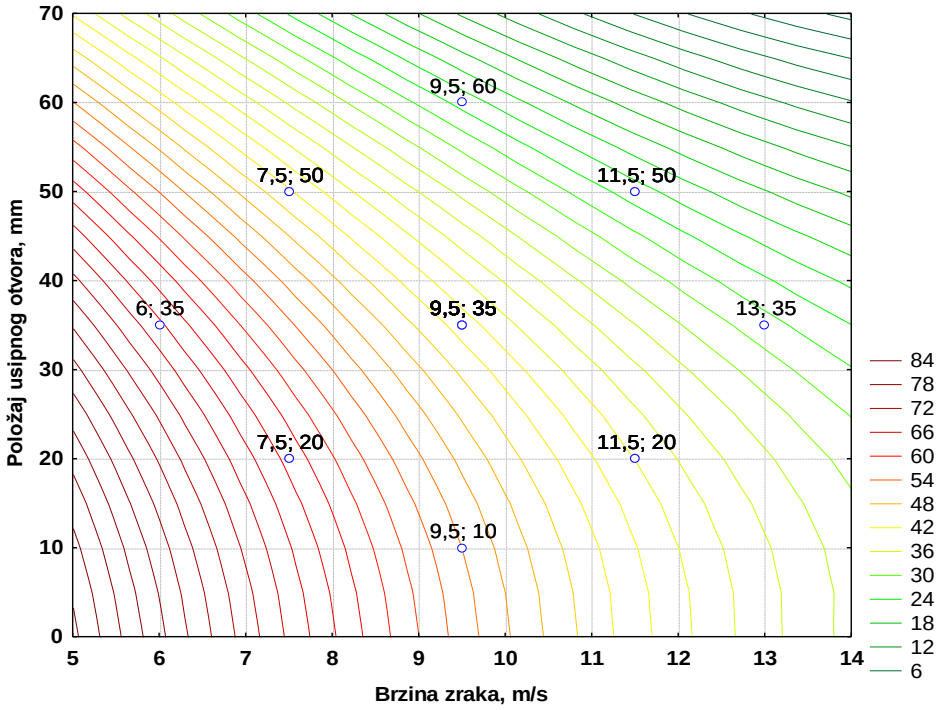
Slika 4 – 38 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 39 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 40 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 41 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

4.4.3.2. Ispitivanje klase 2/1 mm

Ručnim probiranjem utvrđen je sastav ulaznog uzorka mase 46,07 grama, klase 2/1 mm u zračni separator. Vaganjem je određena masa od 7,38 grama korisne komponente (metali i plastika) koja predstavlja 16,02 % masenog udjela i 38,69 grama nekorisne komponente (papir, guma i tekstil) koja predstavlja 83,98 % masenog udjela ukupnog uzorka klase 2/1 mm koji ulazi u zračni separator.

Rezultati ispitivanja klase 2/1 mm – grupa „Z“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 10.

Tablica 4 – 10 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „Z“

Pokus br.	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm	KVALITETA KONCENTRATA %	MASENO ISKORIŠTENJE %
1	64	7,5	20	96,75	42,83
2	64	11,5	50	74,12	15,50
3	136	7,5	50	93,50	46,78
4	136	11,5	20	90,79	36,99
5(c)	100	9,5	35	90,65	32,02
6	64	7,5	50	85,64	28,22
7	64	11,5	20	84,69	22,01
8	136	7,5	20	97,97	63,36
9	136	11,5	50	86,04	22,90
10(c)	100	9,5	35	92,14	29,26
11	40	9,5	35	83,33	19,95
12	160	9,5	35	97,43	66,25
13	100	6	35	97,43	48,51
14	100	13	35	86,45	19,41
15	100	9,5	10	95,12	38,29
16	100	9,5	60	71,00	15,72
17(c)	100	9,5	35	90,11	30,04

Tablica 4 – 11 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	89,38149	4,672371	19,12979	0,000000	89,38149	4,672371
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,94869	4,401266	0,21555	0,835485	0,47434	2,200633
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,08142	4,311636	0,01888	0,985462	0,04071	2,155818
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-5,37197	4,401266	-1,22055	0,261772	-2,68598	2,200633
Visina pregrade, mm (Q)	1,12430	4,913714	0,22881	0,825559	0,56215	2,456857
Brzina zraka, m/s (Q)	2,00436	4,520178	0,44343	0,670839	1,00218	2,260089
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-4,14610	4,913714	-0,84378	0,426683	-2,07305	2,456857
1L by 2L	9,55250	5,729165	1,66735	0,139382	4,77625	2,864583
1L by 3L	8,40250	5,729165	1,46662	0,185913	4,20125	2,864583
2L by 3L	-1,76250	5,729165	-0,30764	0,767310	-0,88125	2,864583

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 11 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

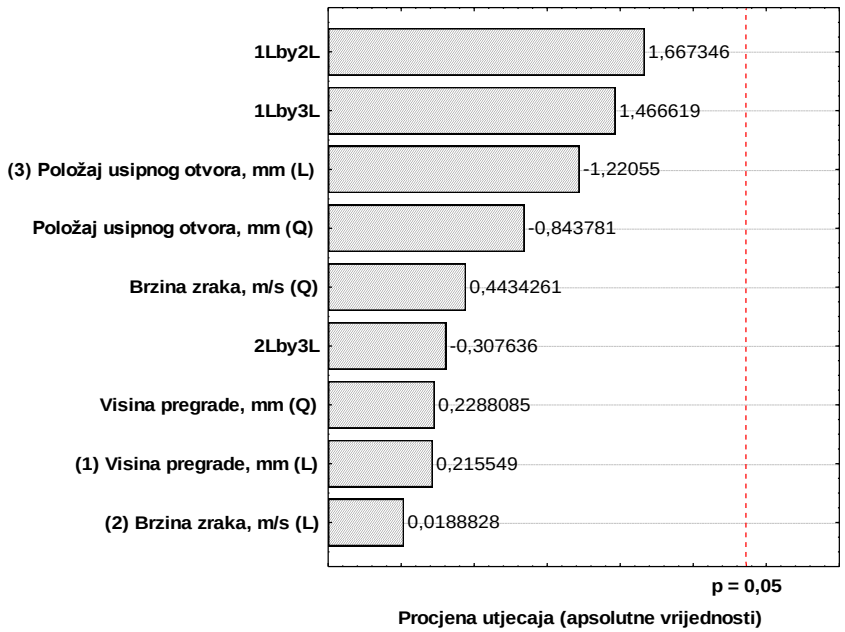
$$\boldsymbol{Y = 4{,}67 + 2{,}20h + 2{,}16v + 2{,}20d + 2{,}46h^2 + 2{,}26v^2 + 2{,}46d^2 + 2{,}86h \cdot v + 2{,}86h \cdot d + 2{,}86v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 11 i 4 – 12 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 3).

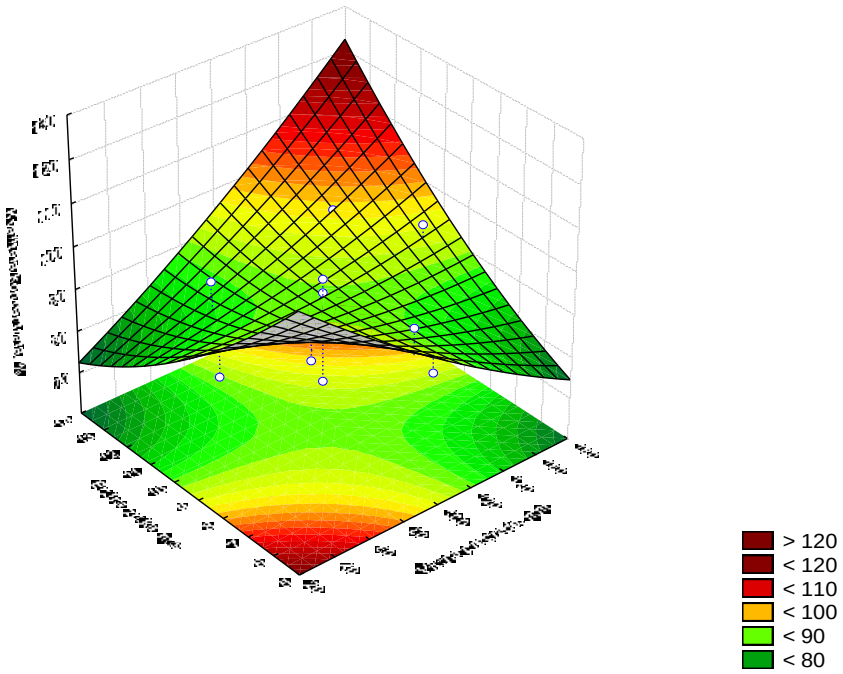
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 42, 4 – 44 i 4 – 46) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 45, 4 – 47 i 4 – 49) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 12 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „Z“

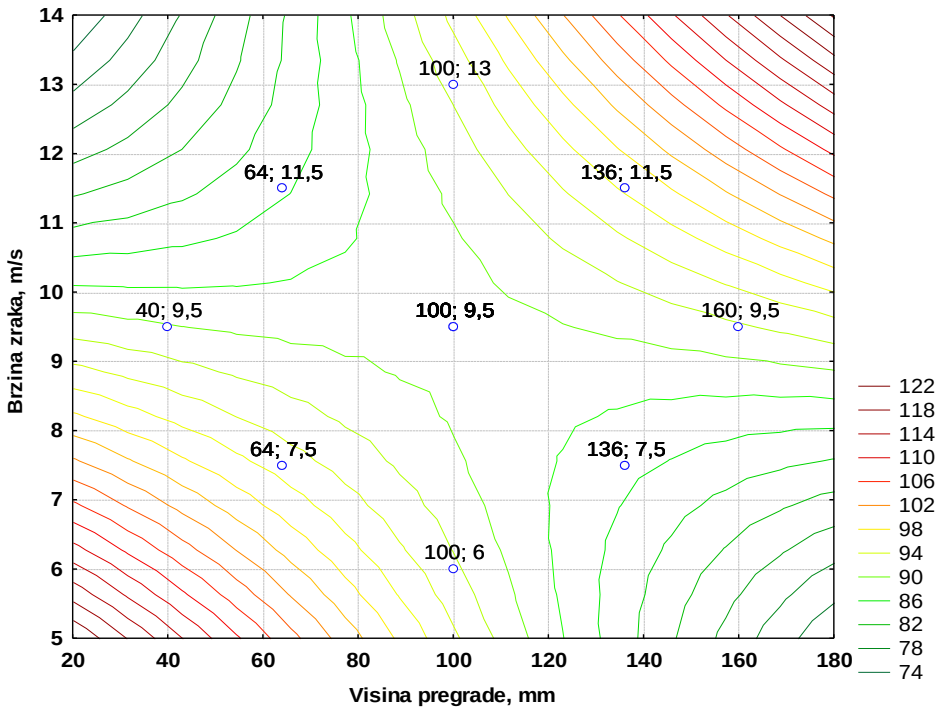
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	3,0500	1	3,0500	0,046461	0,835485
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,0234	1	0,0234	0,000357	0,985462
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	97,7967	1	97,7967	1,489743	0,261772
Visina pregrade, mm (Q)	3,4368	1	3,4368	0,052353	0,825559
Brzina zraka, m/s (Q)	12,9079	1	12,9079	0,196627	0,670839
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	46,7383	1	46,7383	0,711967	0,426683
1L by 2L	182,5005	1	182,5005	2,780042	0,139382
1L by 3L	141,2040	1	141,2040	2,150970	0,185913
2L by 3L	6,2128	1	6,2128	0,094640	0,767310
Pogreška *(Eror)*	459,5266	7	65,6467		
Total SS	980,0675	16			



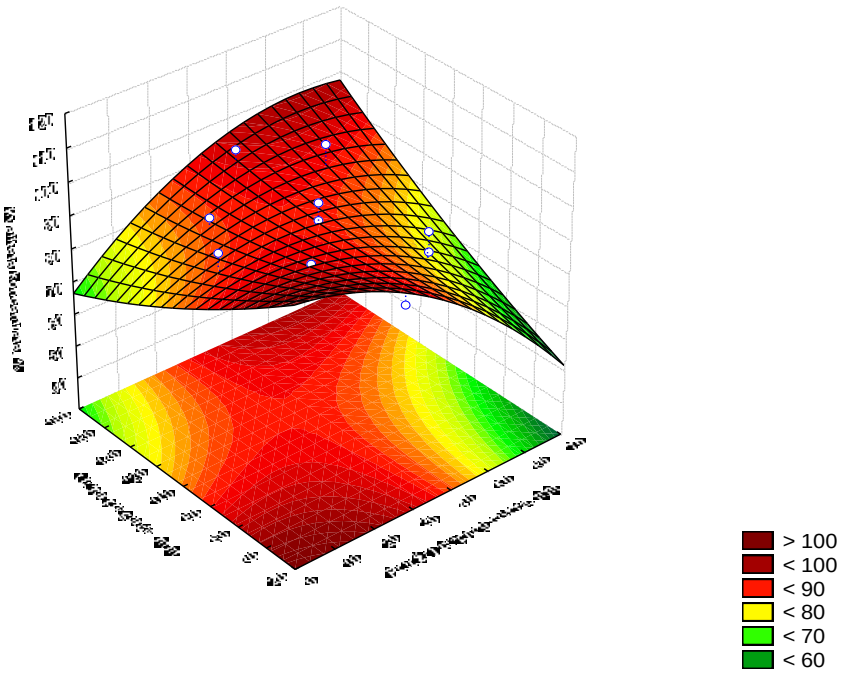
Grafikon 4 – 3 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „Z“



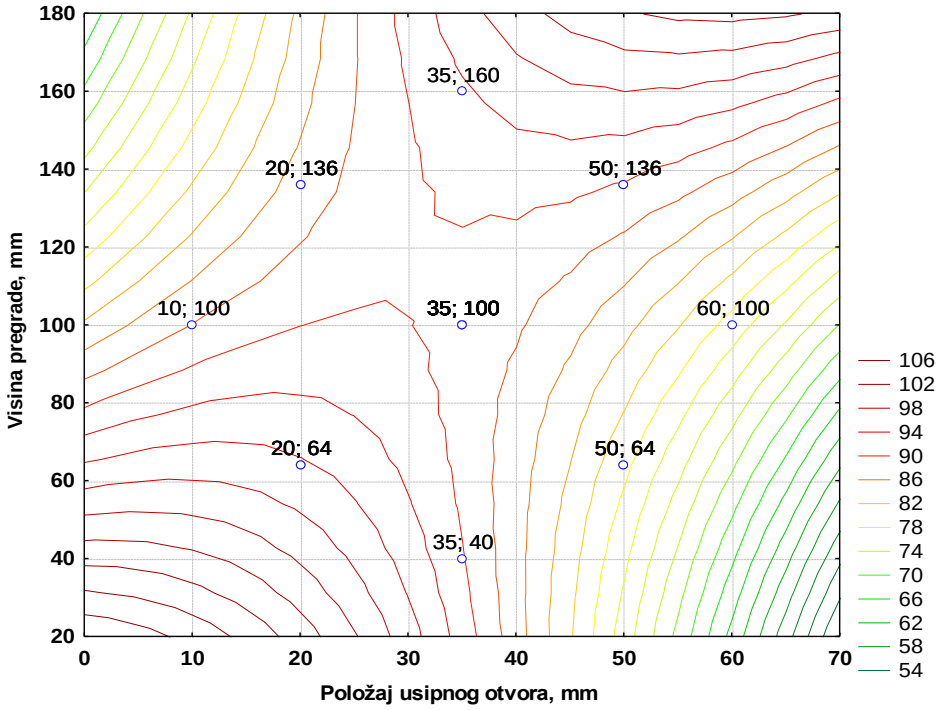
Slika 4 – 42 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



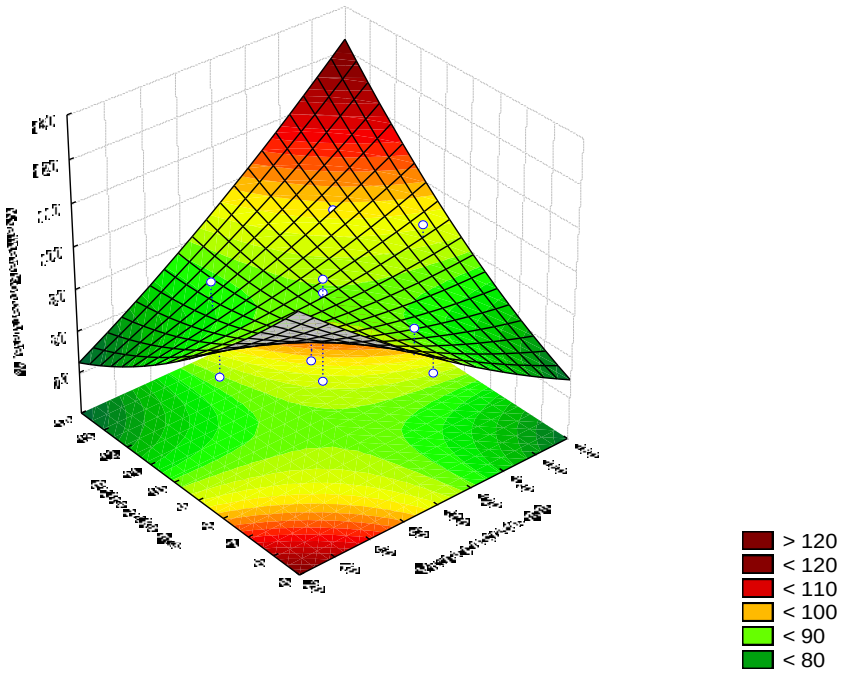
Slika 4 – 43 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



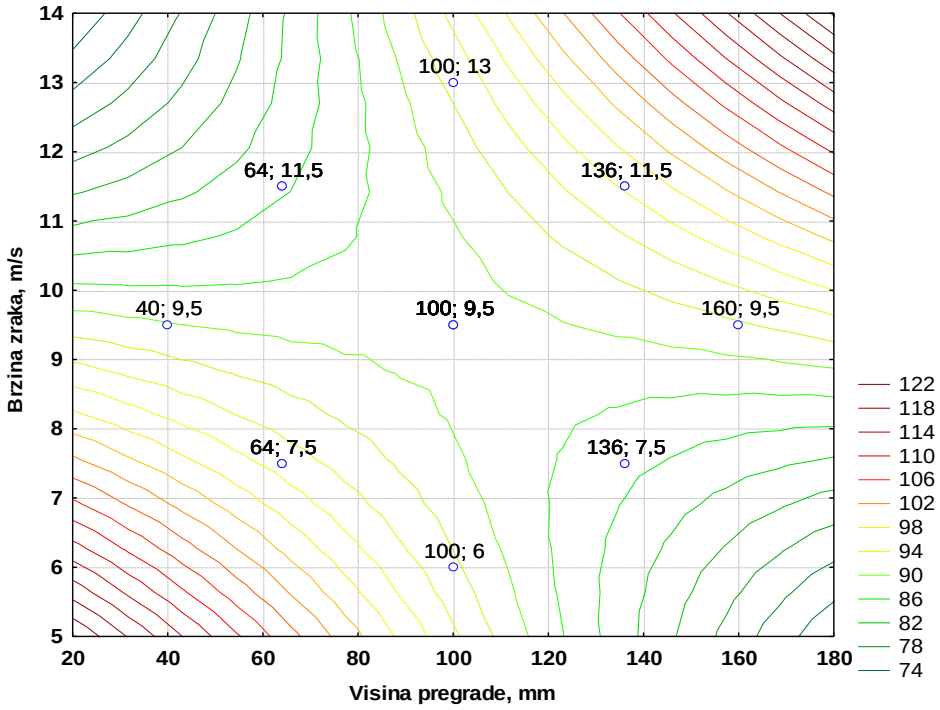
Slika 4 – 44 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 45 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 46 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 47 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

Tablica 4 – 13 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	27,35417	8,90673	3,071181	0,018038	27,35417	8,906727
(1) Visina pregrade, mm (L)	11,44869	8,38993	1,364575	0,214630	5,72434	4,194966
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-0,05027	8,21907	-0,00612	0,995291	-0,02513	4,109537
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-5,03213	8,38993	-0,59978	0,567551	-2,51607	4,194966
Visina pregrade, mm (Q)	11,71992	9,36679	1,251221	0,251048	5,85996	4,683394
Brzina zraka, m/s (Q)	4,62904	8,61661	0,537223	0,607759	2,31452	4,308304
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,13152	9,36679	0,014041	0,989189	0,06576	4,683394
1L by 2L	15,67250	10,92124	1,435047	0,194406	7,83625	5,460622
1L by 3L	18,66750	10,92124	1,709283	0,131146	9,33375	5,460622
2L by 3L	-0,07750	10,92124	-0,00710	0,994536	-0,03875	5,460622

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 13 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

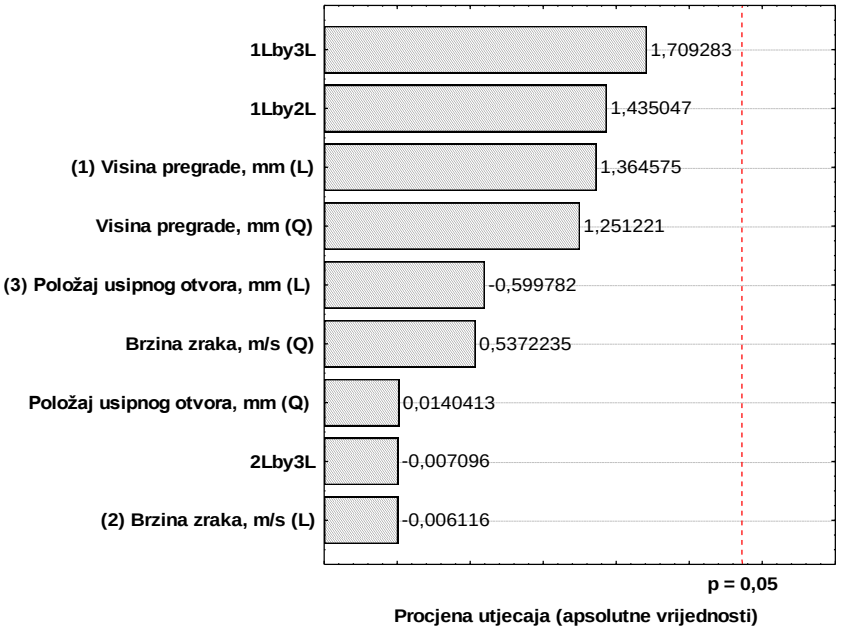
$$\boldsymbol{Y = 8{,}91 + 4{,}19h + 4{,}11v + 4{,}19d + 4{,}68h^2 + 4{,}31v^2 + 4{,}68d^2 + 5{,}46h \cdot v + 5{,}46h \cdot d + 5{,}46v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 13 i 4 – 14, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 4.

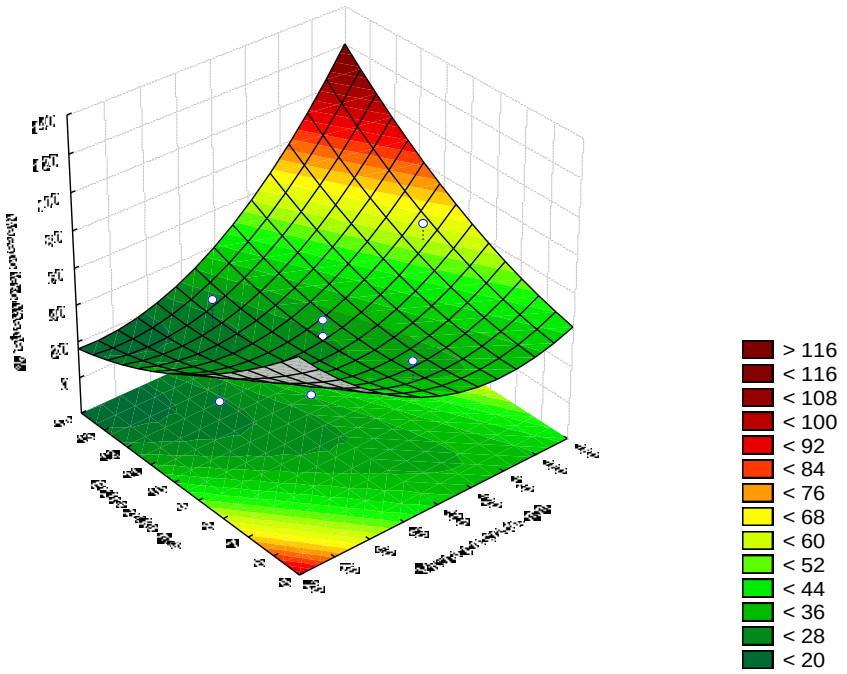
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 48, 4 – 50 i 4 – 52) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 49, 4 – 51 i 4 – 53) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 14 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“

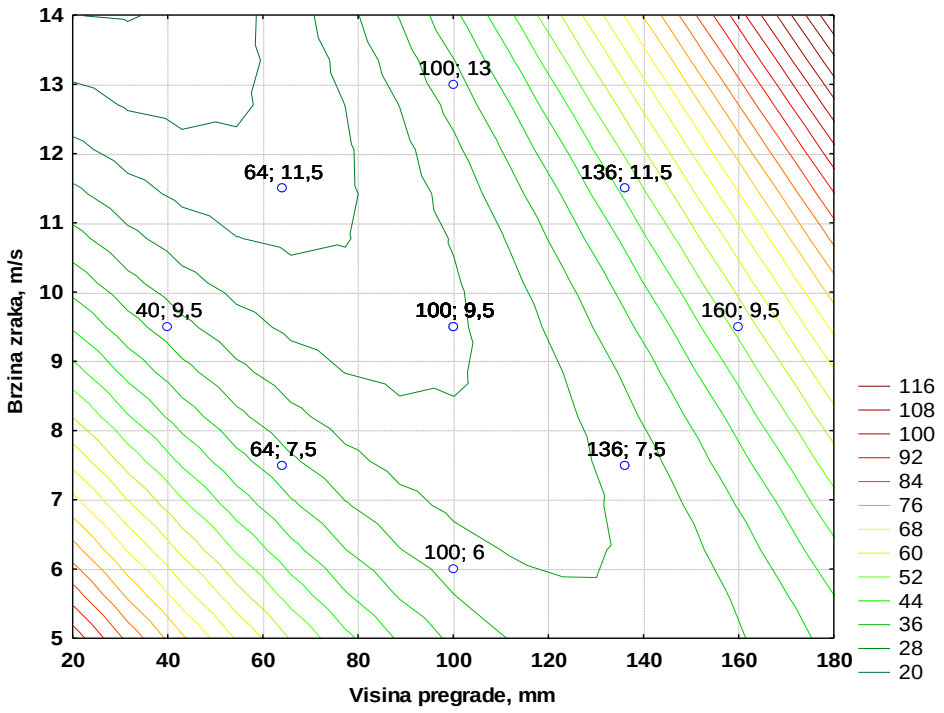
Nezavisna varijabla ***(Factor)***	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	444,190	1	444,1900	1,862064	0,214630
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,009	1	0,0089	0,000037	0,995291
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	85,815	1	85,8146	0,359739	0,567551
Visina pregrade, mm (Q)	373,458	1	373,4585	1,565554	0,251048
Brzina zraka, m/s (Q)	68,847	1	68,8469	0,288609	0,607759
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,047	1	0,0470	0,000197	0,989189
1L by 2L	491,255	1	491,2545	2,059360	0,194406
1L by 3L	696,951	1	696,9511	2,921649	0,131146
2L by 3L	0,012	1	0,0120	0,000050	0,994536
Pogreška *(Eror)*	1669,830	7	238,5472		
Total SS	3810,381	16			



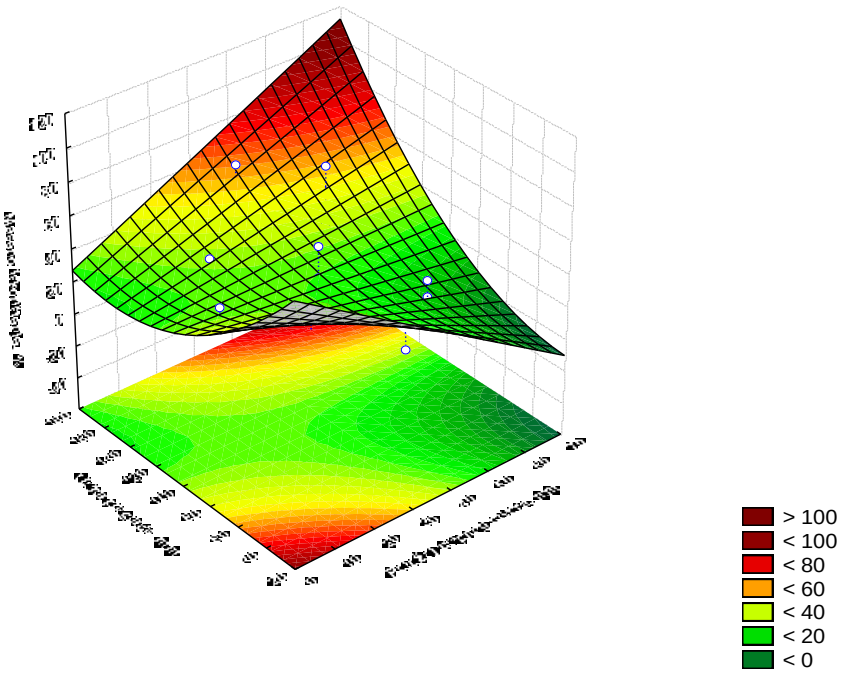
Grafikon 4 – 4 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“



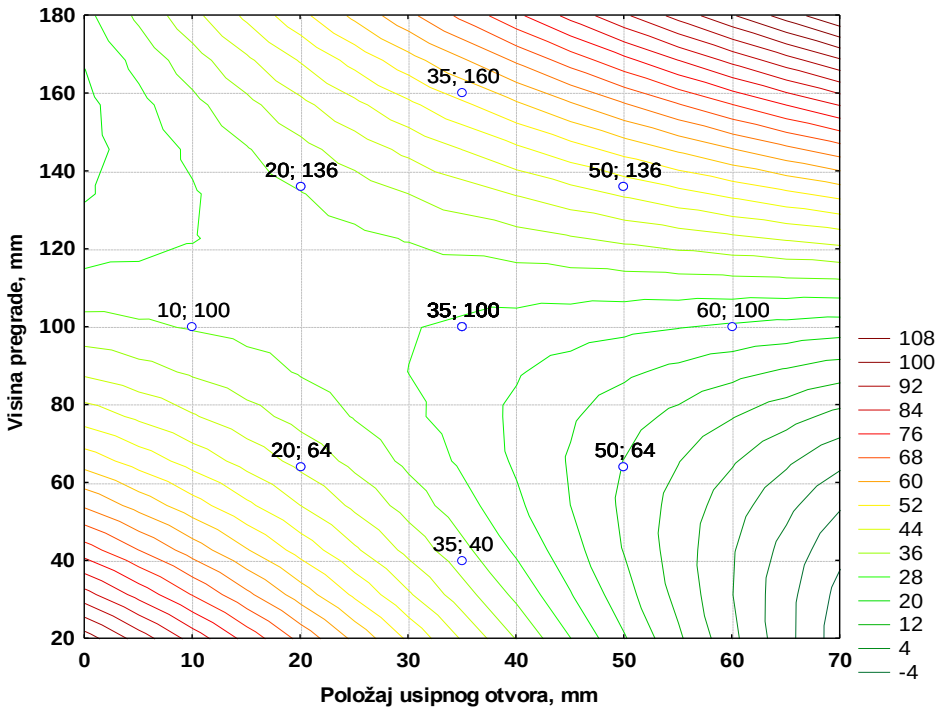
Slika 4 – 48 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



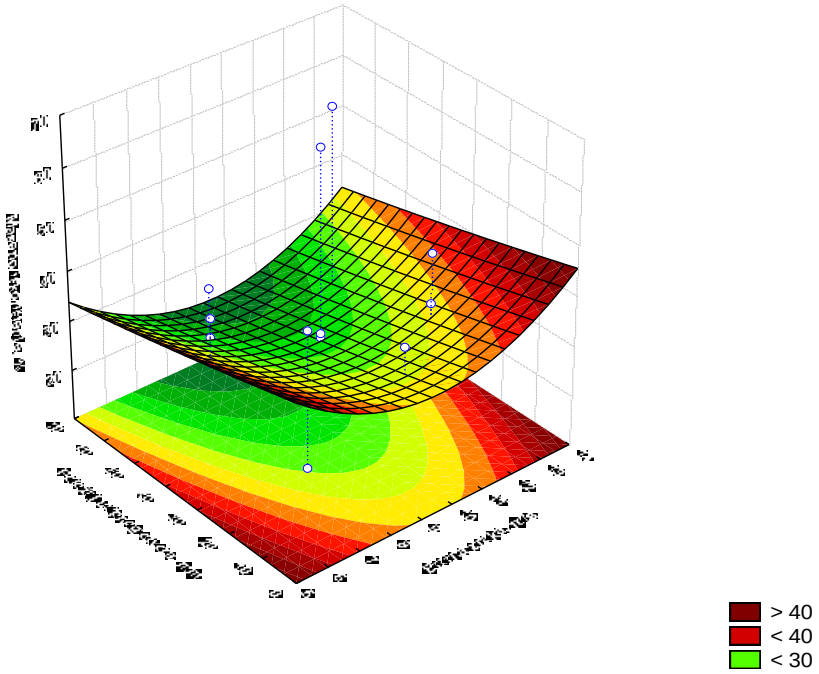
Slika 4 – 49 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



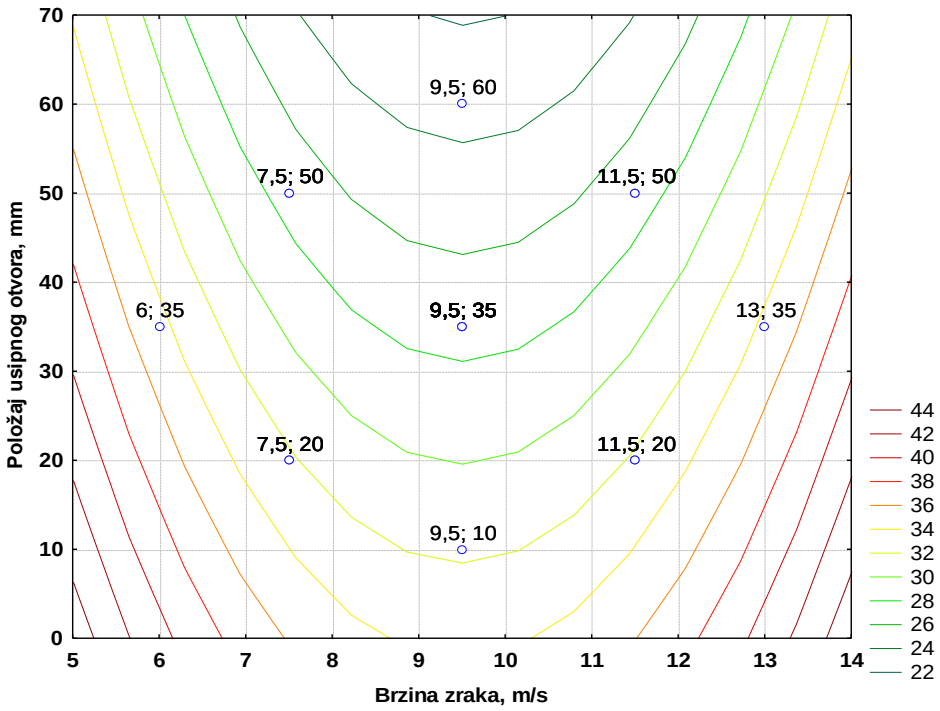
Slika 4 – 50 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora grupa



Slika 4 – 51 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 52 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 53 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

4.4.3.3. Ispitivanje klase 1/0,5 mm

Ručnim probiranjem utvrđen je sastav ulaznog uzorka klase 1/0,5 mm u zračni separator. Vaganjem je određena masa od 2,18 grama korisne komponente (metala i plastike) koja predstavlja 19,17 % masenog udjela i 9,19 grama nekorisne komponente (papira, gume i tekstila) koja predstavlja 80,83 % masenog udjela uzorka klase 1/0,5 mm koji ulazi u zračni separator.

Rezultati ispitivanja klase 1/0,5 mm – grupa „Z“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 15.

Tablica 4 – 15 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatora za klasu 1/0,5 mm – grupa „Z“

Pokus br.	**Visina pregrade mm**	**Brzina zraka m/s**	**Položaj usipnog otvora mm**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	64	7,5	20	75,80	48,47
2	64	11,5	50	51,57	30,21
3	136	7,5	50	54,16	53,77
4	136	11,5	20	48,68	46,26
5(c)	100	9,5	35	69,56	43,37
6	64	7,5	50	33,77	40,42
7	64	11,5	20	53,52	34,51
8	136	7,5	20	84,24	67,53
9	136	11,5	50	70,70	35,47
10(c)	100	9,5	35	61,94	42,12
11	40	9,5	35	59,13	32,49
12	160	9,5	35	85,12	68,66
13	100	6	35	67,35	53,65
14	100	13	35	70,04	34,01
15	100	9,5	10	80,04	47,61
16	100	9,5	60	66,19	29,58
17(c)	100	9,5	35	79,89	43,33

Tablica 4 – 16 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	71,0857	6,016811	11,81451	0,000007	71,08567	6,016811
(1) Visina pregrade, mm (L)	12,7530	5,667698	2,25011	0,059188	6,37648	2,833849
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-2,6609	5,552277	-0,47924	0,646376	-1,33044	2,776138
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-11,0838	5,667698	-1,95560	0,091410	-5,54189	2,833849
Visina pregrade, mm (Q)	-4,4518	6,327598	-0,70355	0,504432	-2,22591	3,163799
Brzina zraka, m/s (Q)	-5,8394	5,820825	-1,00319	0,349178	-2,91971	2,910412
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-3,7390	6,327598	-0,59091	0,573160	-1,86951	3,163799
1L by 2L	-3,6350	7,377689	-0,49270	0,637301	-1,81750	3,688845
1L by 3L	8,9800	7,377689	1,21718	0,262972	4,49000	3,688845
2L by 3L	23,0450	7,377689	3,12361	0,016759	11,52250	3,688845

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 16 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (*h*, *v*, *d*);

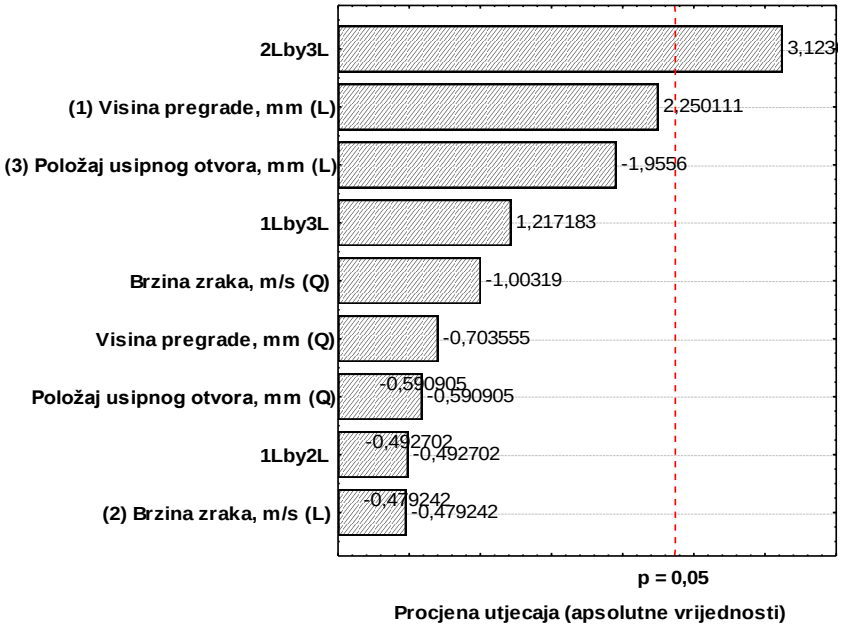
$$\boldsymbol{Y = 6{,}02 + 2{,}83h + 2{,}78v + 2{,}83d + 3{,}16h^2 + 2{,}91v^2 + 3{,}16d^2 + 3{,}69h \cdot v + 3{,}69h \cdot d + 3{,}69v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 16 i 4 – 17 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 5).

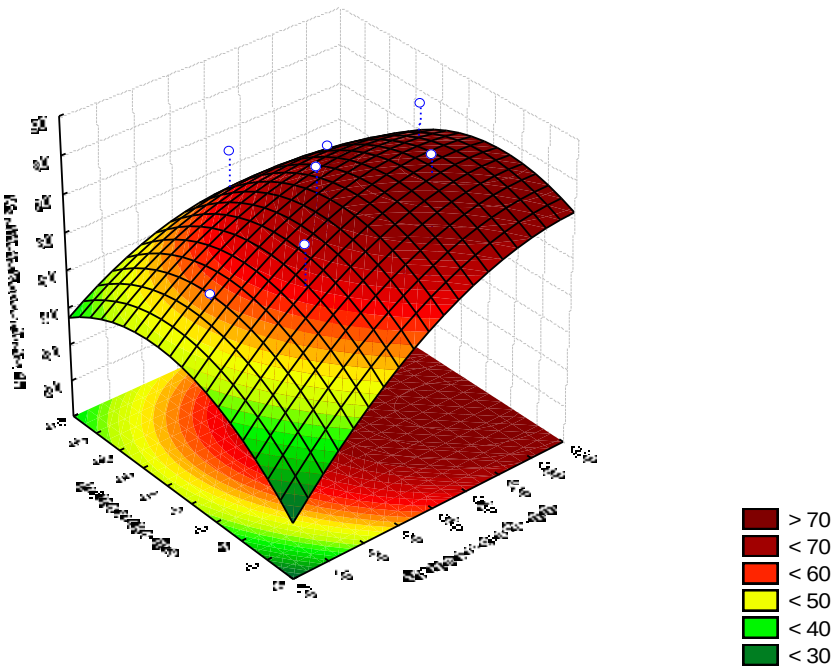
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 1/0,5 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 54, 4 – 56 i 4 – 58) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 55, 4 – 57 i 4 – 59) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 17 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „Z“

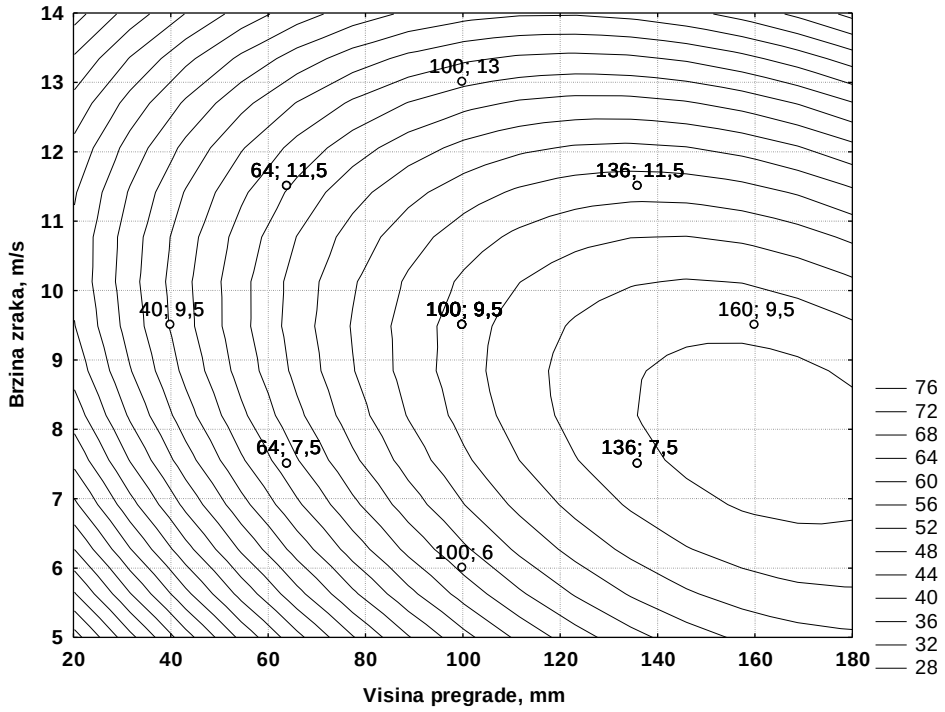
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	551,161	1	551,161	5,063001	0,059188
(2) Brzina zraka, m/s (L)	25,002	1	25,002	0,229673	0,646376
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	416,325	1	416,325	3,824386	0,091410
Visina pregrade, mm (Q)	53,885	1	53,885	0,494989	0,504432
Brzina zraka, m/s (Q)	109,557	1	109,557	1,006397	0,349178
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	38,011	1	38,011	0,349169	0,573160
1L by 2L	26,426	1	26,426	0,242755	0,637301
1L by 3L	161,281	1	161,281	1,481535	0,262972
2L by 3L	1062,144	1	1062,144	9,756920	0,016759
Pogreška *(Eror)*	762,024	7	108,861		
Total SS	3137,666	16			



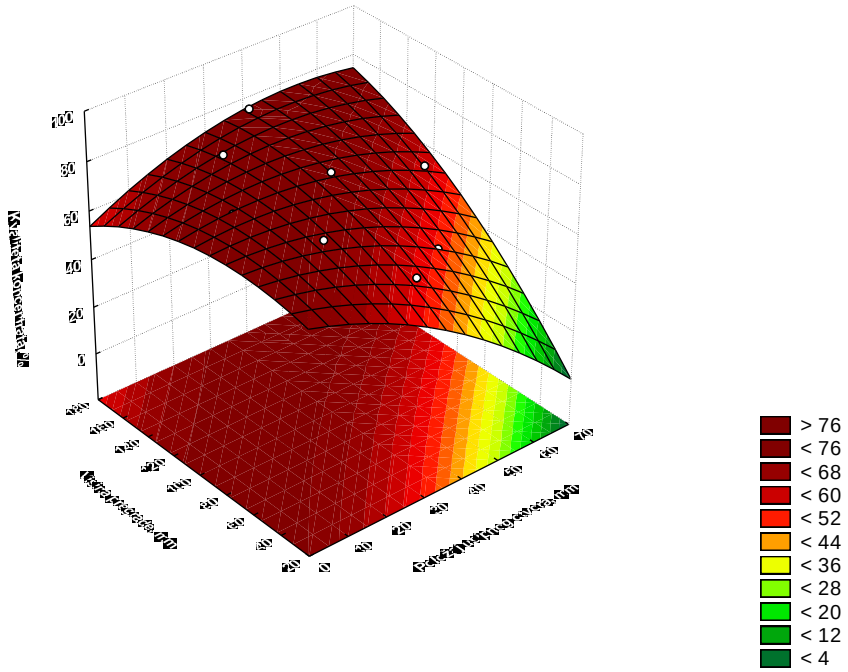
Grafikon 4 – 5 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „Z“



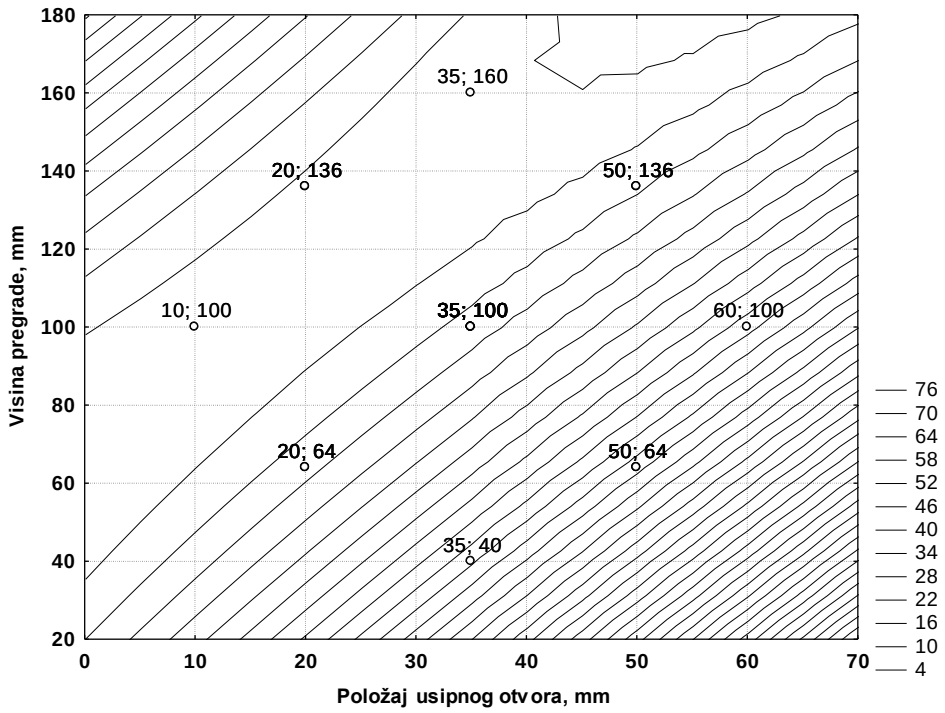
Slika 4 – 54 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



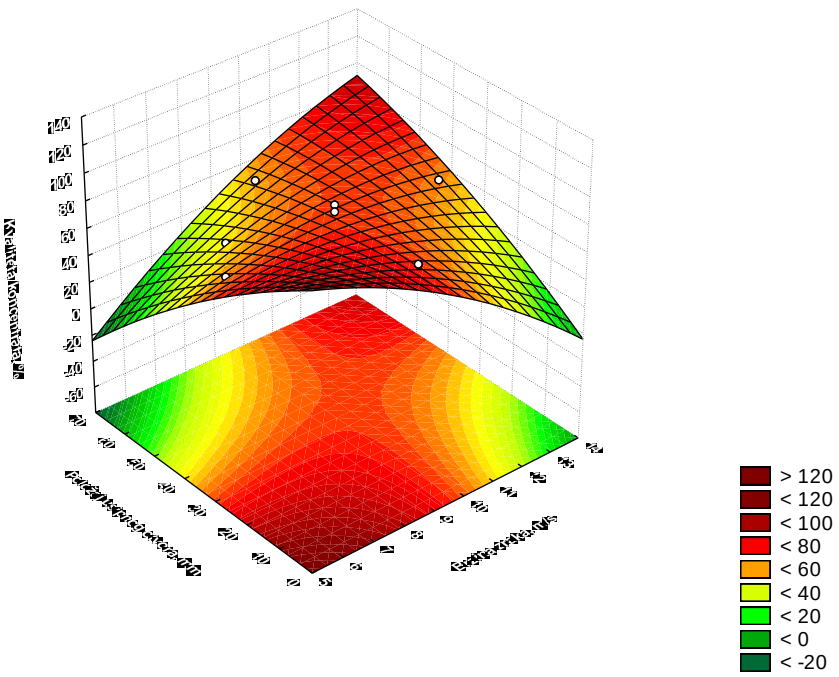
Slika 4 – 55 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



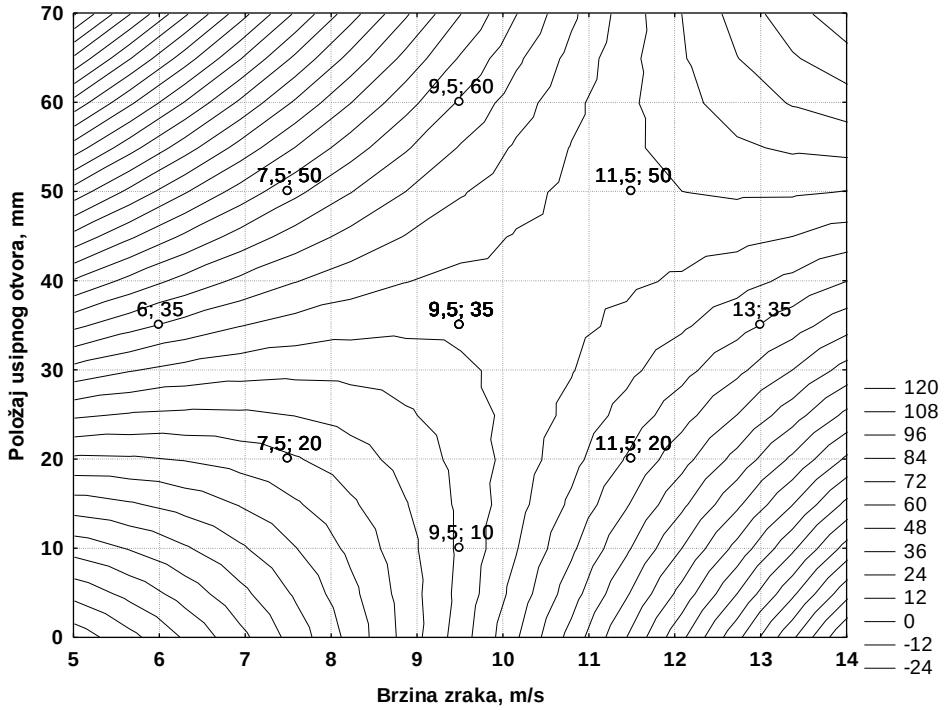
Slika 4 – 56 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 57 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata – klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 58 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 59 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

Tablica 4 – 18 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	42,9317	2,114600	20,30252	0,000000	42,93171	2,114600
(1) Visina pregrade, mm (L)	16,1857	1,991905	8,12576	0,000082	8,09287	0,995952
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-13,8917	1,951340	-7,11905	0,000190	-6,94584	0,975670
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-9,8779	1,991905	-4,95901	0,001639	-4,93893	0,995952
Visina pregrade, mm (Q)	5,5725	2,223826	2,50579	0,040646	2,78623	1,111913
Brzina zraka, m/s (Q)	0,6436	2,045721	0,31463	0,762216	0,32182	1,022861
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-3,0531	2,223826	-1,37293	0,212139	-1,52657	1,111913
1L by 2L	-3,8500	2,592879	-1,48484	0,181166	-1,92500	1,296440
1L by 3L	-3,0500	2,592879	-1,17630	0,277924	-1,52500	1,296440
2L by 3L	1,6800	2,592879	0,64793	0,537695	0,84000	1,296440

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 18 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

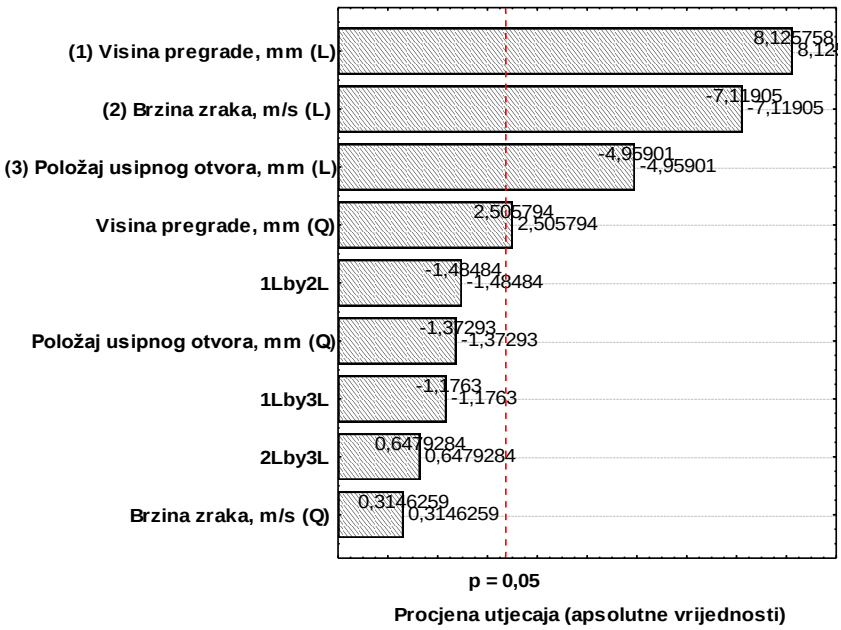
$$\boldsymbol{Y = 2{,}11 + 0{,}99h + 0{,}98v + 0{,}99d + 1{,}11h^2 + 1{,}02v^2 + 1{,}11d^2 + 1{,}30h \cdot v + 1{,}30h \cdot d + 1{,}30v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 18 i 4 – 19, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 6.

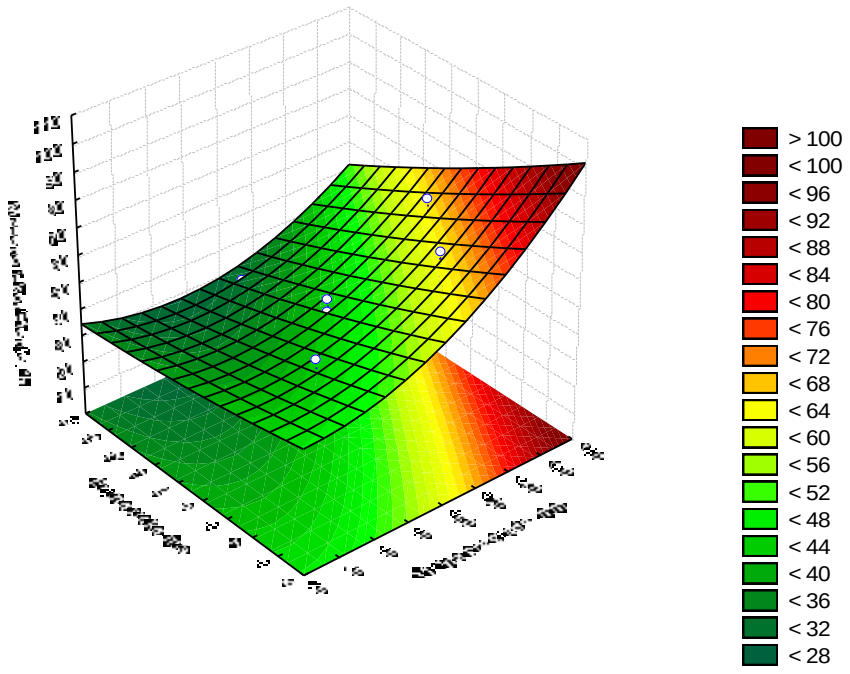
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 1/0,5 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 60, 4 – 62 i 4 – 64) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 61, 4 – 63 i 4 – 65) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 19 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“

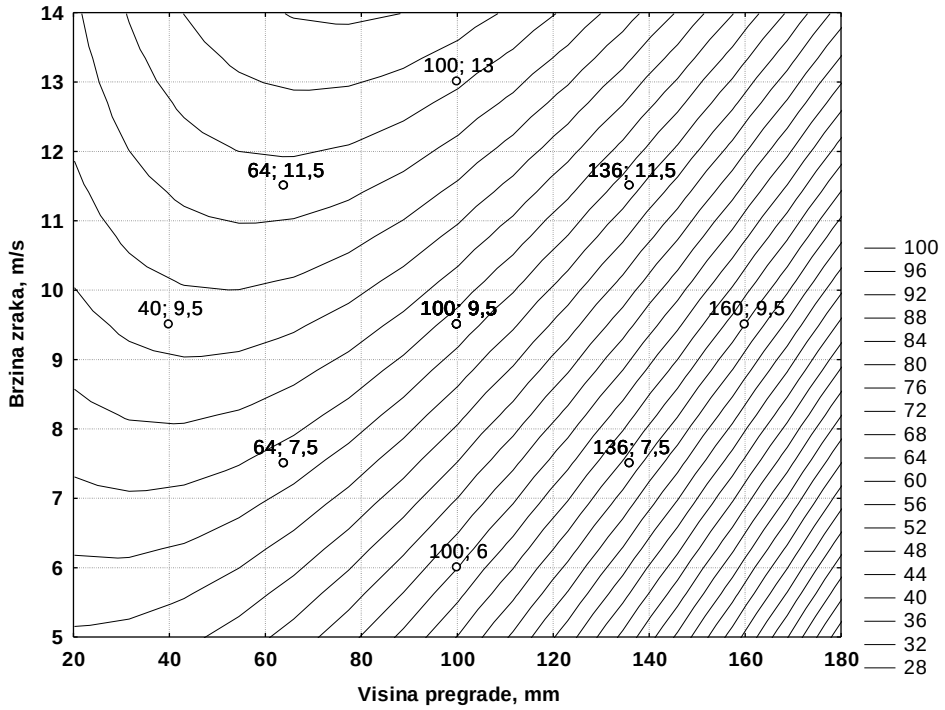
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	887,815	1	887,8147	66,02794	0,000082
(2) Brzina zraka, m/s (L)	681,456	1	681,4564	50,68081	0,000190
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	330,662	1	330,6617	24,59174	0,001639
Visina pregrade, mm (Q)	84,428	1	84,4278	6,27901	0,040646
Brzina zraka, m/s (Q)	1,331	1	1,3310	0,09899	0,762216
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	25,345	1	25,3448	1,88493	0,212139
1L by 2L	29,645	1	29,6450	2,20474	0,181166
1L by 3L	18,605	1	18,6050	1,38368	0,277924
2L by 3L	5,645	1	5,6448	0,41981	0,537695
Pogreška *(Eror)*	94,122	7	13,4460		
Total SS	2198,167	16			



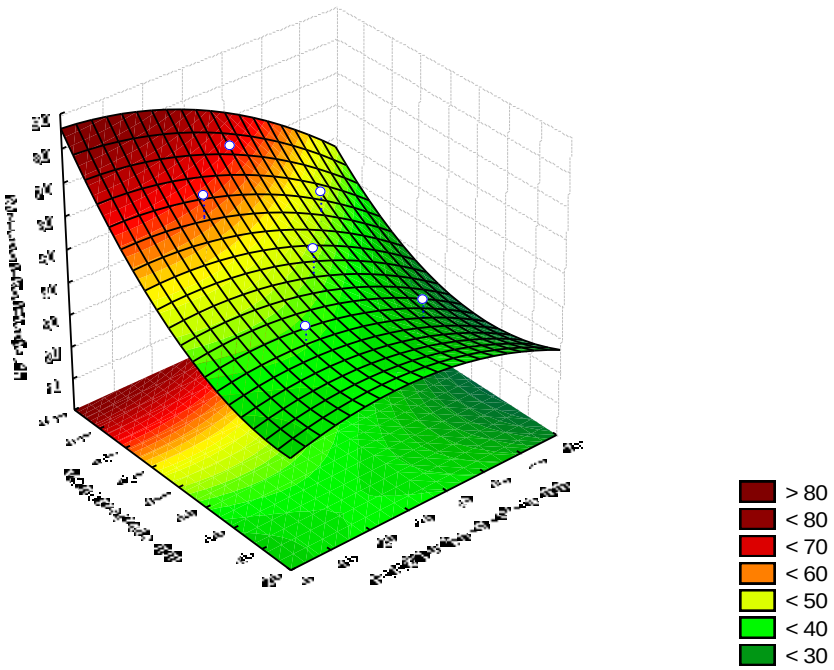
Grafikon 4 – 6 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“



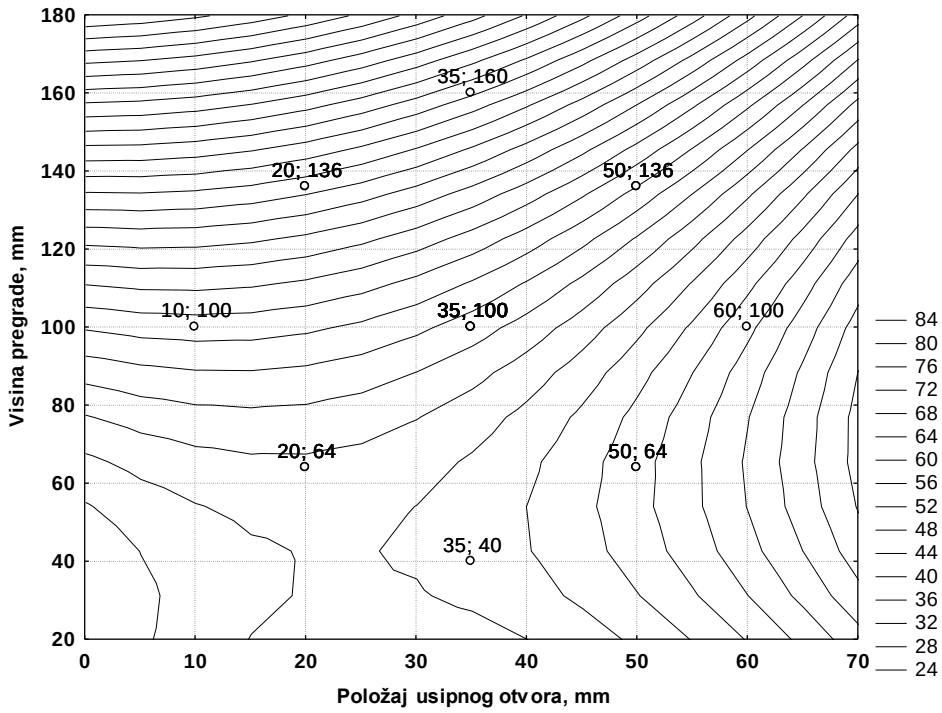
Slika 4 – 60 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



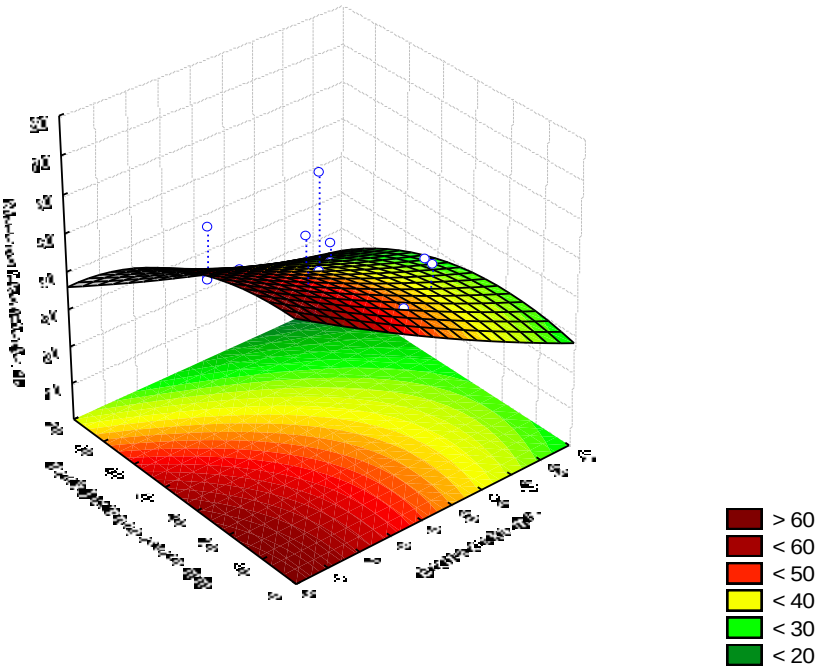
Slika 4 – 61 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



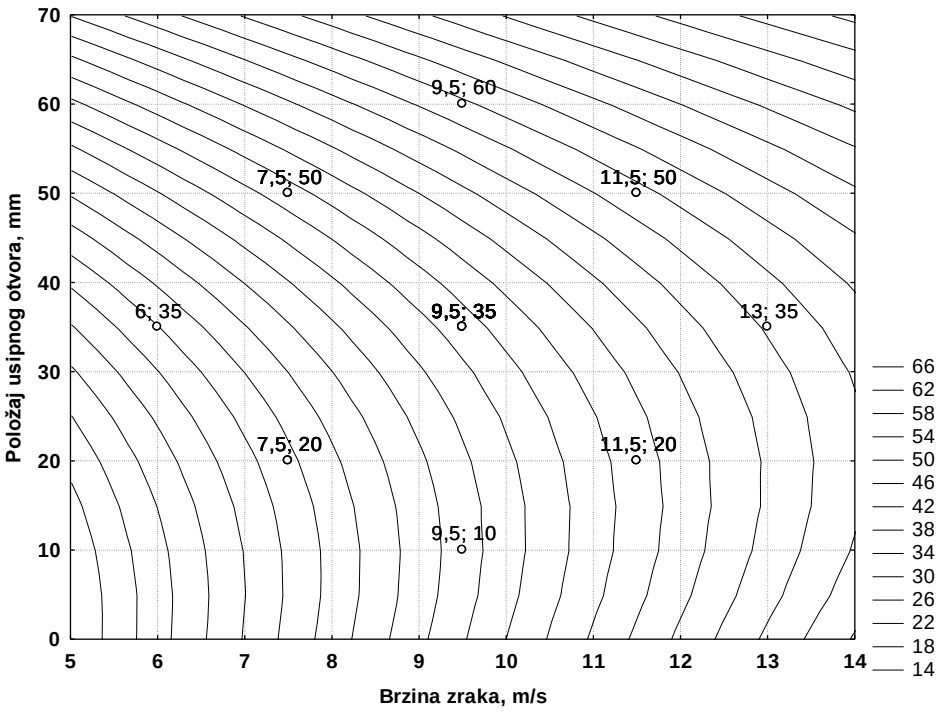
Slika 4 – 62 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 63 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 64 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 65 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

4.4.3.4. Ispitivanje klase -0,5 mm

Ručnim probiranjem utvrđen je sastav ulaznog uzorka klase -0,5 mm u zračni separator. Vaganjem je određena masa od 2,33 grama korisne komponente (metala i plastike) koja predstavlja 22,07 % masenog udjela i 8,21 grama nekorisne komponente (papira, gume i tekstila) koja predstavlja 77,93 % masenog udjela uzorka klase -0,5 mm koji ulazi u zračni separator.

Rezultati ispitivanja klase -0,5 mm – grupa „Z“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 20.

Tablica 4 – 20 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu -0,5 mm – grupa „Z“

Pokus br.	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm	KVALITETA KONCENTRATA %	MASENO ISKORIŠTENJE %
1	64	7,5	20	74,75	45,36
2	64	11,5	50	57,56	29,56
3	136	7,5	50	65,42	65,14
4	136	11,5	20	59,73	46,13
5(c)	100	9,5	35	71,03	43,40
6	64	7,5	50	49,88	41,15
7	64	11,5	20	48,48	38,20
8	136	7,5	20	81,50	67,07
9	136	11,5	50	74,29	34,76
10(c)	100	9,5	35	65,99	41,81
11	40	9,5	35	64,23	31,94
12	160	9,5	35	65,96	68,82
13	100	6	35	63,14	56,26
14	100	13	35	51,99	34,98
15	100	9,5	10	66,03	53,42
16	100	9,5	60	65,09	37,36
17(c)	100	9,5	35	68,72	48,09

Tablica 4 – 21 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	68,51418	2,598975	26,36200	0,000000	68,51418	2,598975
(1) Visina pregrade, mm (L)	7,84230	2,448175	3,20332	0,014996	3,92115	1,224088
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-7,22159	2,398319	-3,01111	0,019631	-3,61080	1,199159
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-2,78508	2,448175	-1,13762	0,292717	-1,39254	1,224088
Visina pregrade, mm (Q)	-1,91181	2,733221	-0,69947	0,506829	-0,95590	1,366610
Brzina zraka, m/s (Q)	-6,69800	2,514319	-2,66394	0,032282	-3,34900	1,257159
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-1,57701	2,733221	-0,57698	0,582026	-0,78850	1,366610
1L by 2L	1,42250	3,186810	0,44637	0,668811	0,71125	1,593405
1L by 3L	3,56750	3,186810	1,11946	0,299881	1,78375	1,593405
2L by 3L	16,14750	3,186810	5,06698	0,001452	8,07375	1,593405

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 21 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

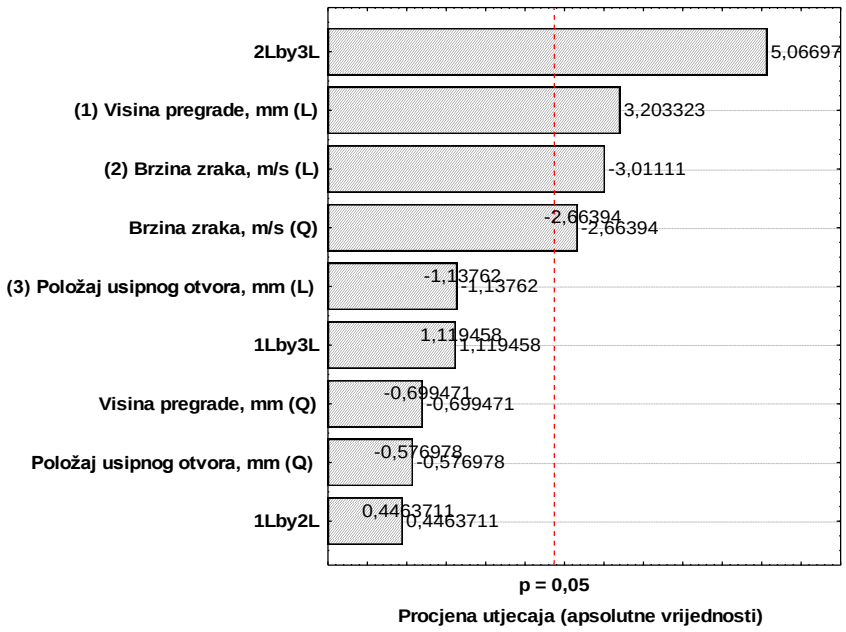
$$\boldsymbol{Y = 2{,}60 + 1{,}22h + 1{,}20v + 1{,}22d + 1{,}37h^2 + 1{,}26v^2 + 1{,}37d^2 + 1{,}59h \cdot v + 1{,}59h \cdot d + 1{,}59v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 21 i 4 – 22 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 7).

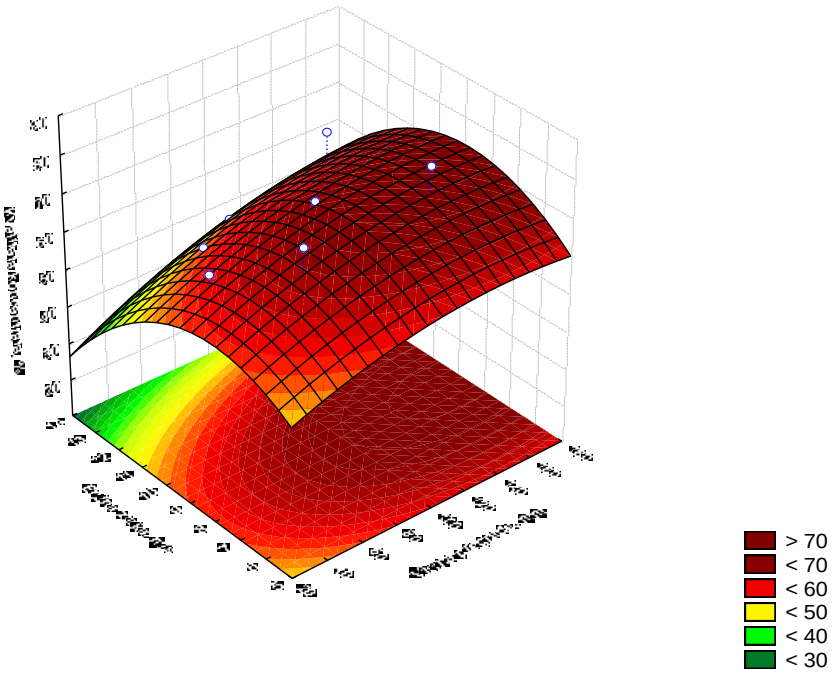
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu -0,5 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 66, 4 – 68 i 4 – 70) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 67, 4 – 69 i 4 – 71) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase -0,5 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 22 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „Z“

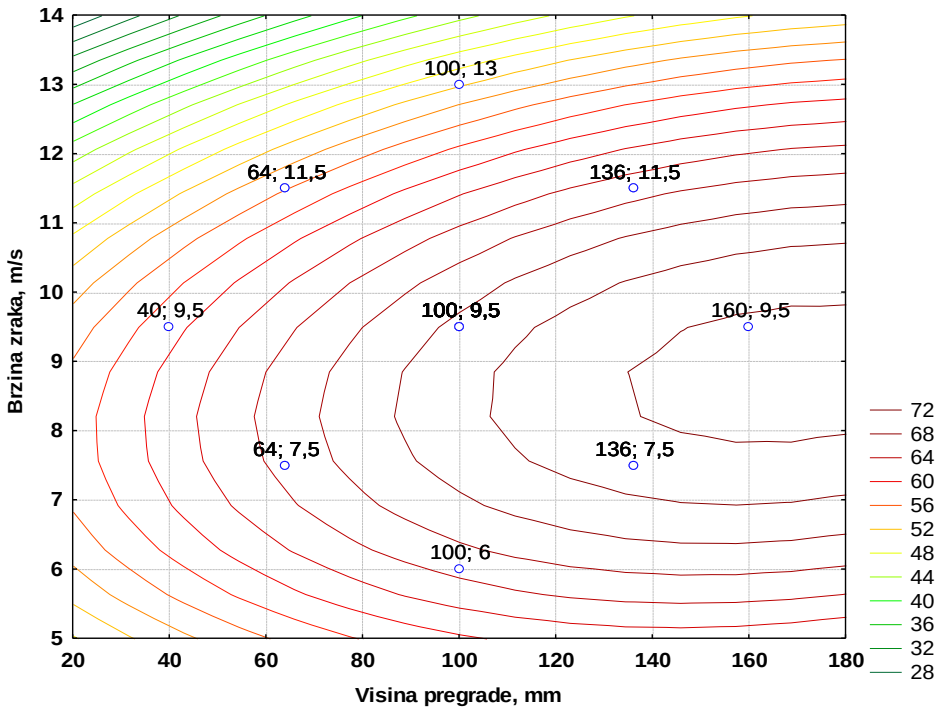
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	208,422	1	208,4221	10,26128	0,014996
(2) Brzina zraka, m/s (L)	184,160	1	184,1596	9,06676	0,019631
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	26,287	1	26,2865	1,29417	0,292717
Visina pregrade, mm (Q)	9,938	1	9,9376	0,48926	0,506829
Brzina zraka, m/s (Q)	144,142	1	144,1423	7,09658	0,032282
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	6,762	1	6,7618	0,33290	0,582026
1L by 2L	4,047	1	4,0470	0,19925	0,668811
1L by 3L	25,454	1	25,4541	1,25319	0,299881
2L by 3L	521,484	1	521,4835	25,67428	0,001452
Pogreška *(Eror)*	142,181	7	20,3115		
Total SS	1257,535	16			



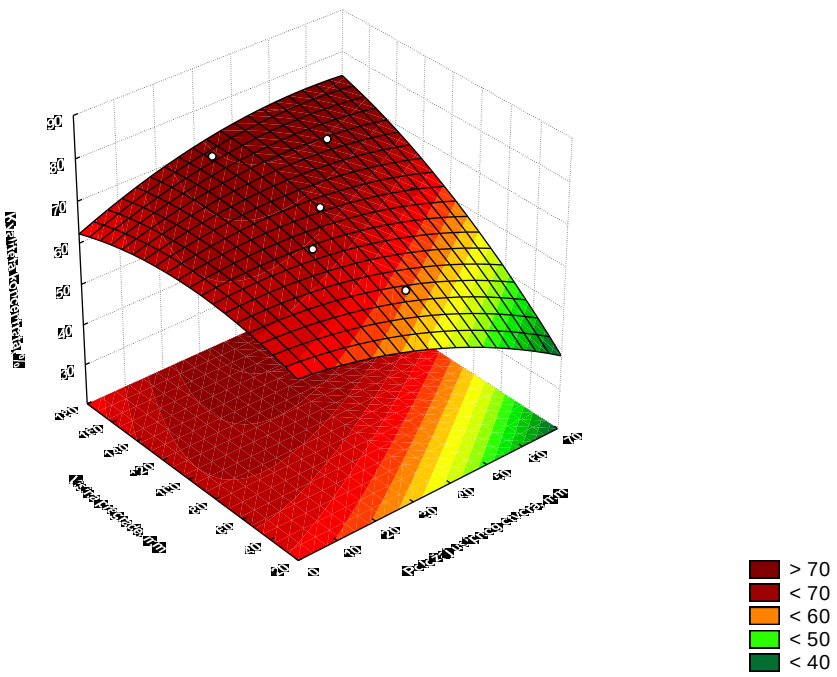
Grafikon 4 – 7 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „Z“



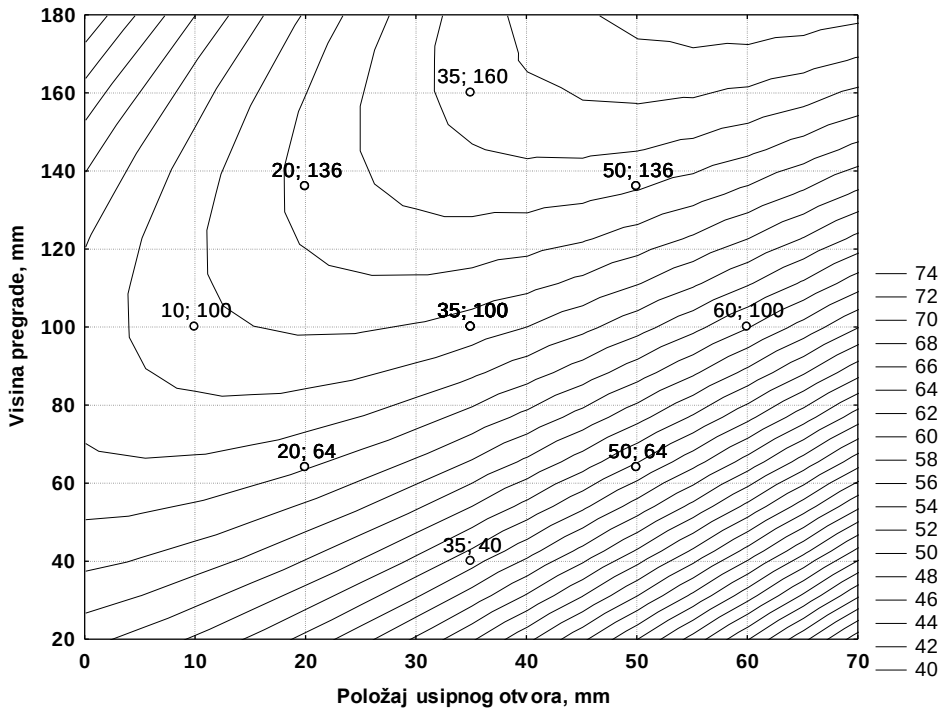
Slika 4 – 66 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



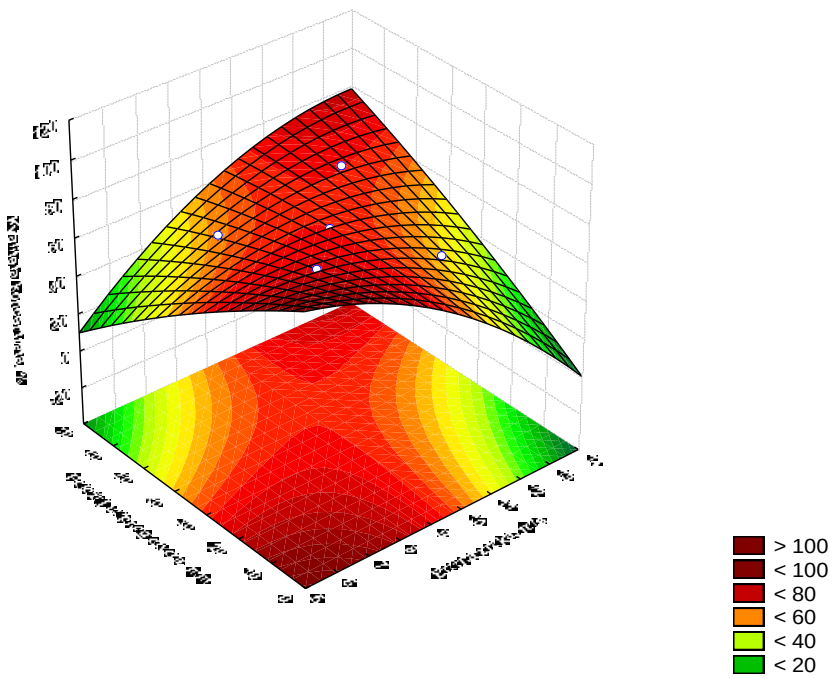
Slika 4 – 67 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



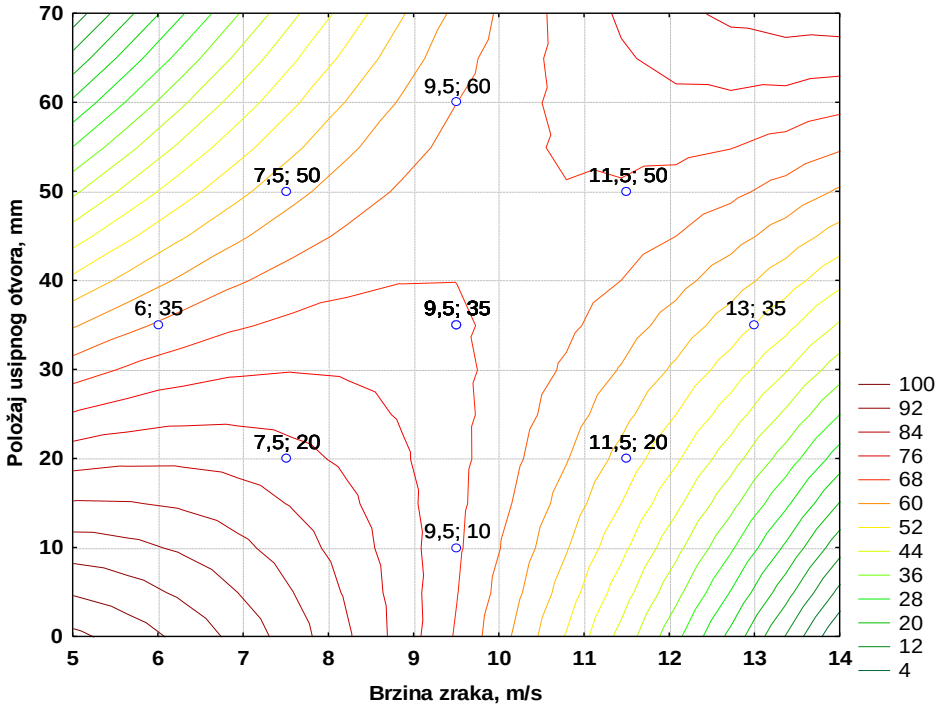
Slika 4 – 68 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 69 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 70 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 71 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

Tablica 4 – 23 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „Z“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	44,5029	2,271082	19,59548	0,000000	44,50292	2,271082
(1) Visina pregrade, mm (L)	17,7487	2,139307	8,29647	0,000072	8,87434	1,069653
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-15,1943	2,095741	-7,25010	0,000170	-7,59717	1,047870
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-7,8074	2,139307	-3,64949	0,008183	-3,90369	1,069653
Visina pregrade, mm (Q)	3,6500	2,388390	1,52823	0,170299	1,82500	1,194195
Brzina zraka, m/s (Q)	0,2511	2,197106	0,11430	0,912209	0,12556	1,098553
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,0572	2,388390	0,02395	0,981559	0,02860	1,194195
1L by 2L	-8,1425	2,784753	-2,92396	0,022215	-4,07125	1,392377
1L by 3L	-0,1125	2,784753	-0,04040	0,968903	-0,05625	1,392377
2L by 3L	-3,4675	2,784753	-1,24517	0,253133	-1,73375	1,392377

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 23 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

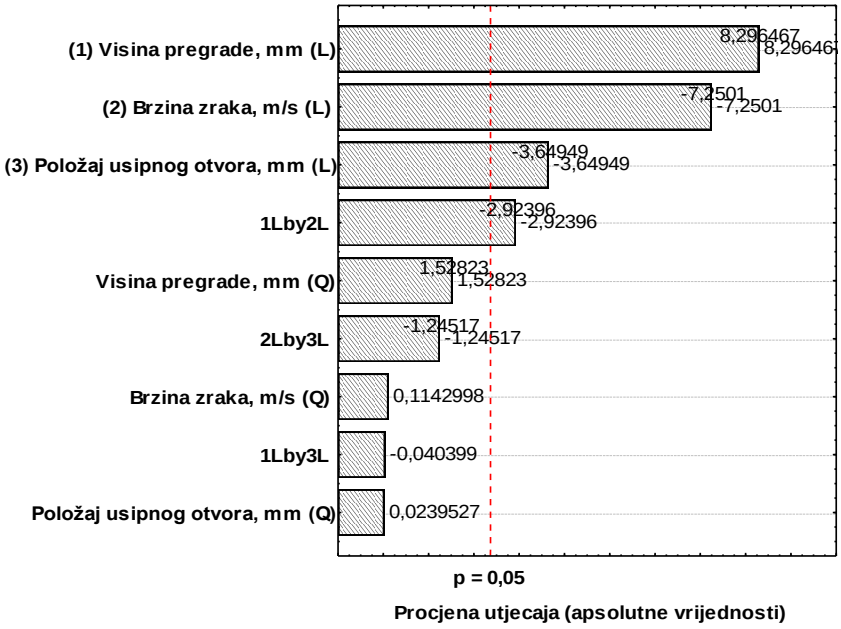
$$\boldsymbol{Y = 2{,}27 + 1{,}07h + 1{,}05v + 1{,}07d + 1{,}19h^2 + 1{,}10v^2 + 1{,}19d^2 + 1{,}39\, h \cdot v + 1{,}39h \cdot d + 1{,}39v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „Z“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 23 i 4 – 24, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 8.

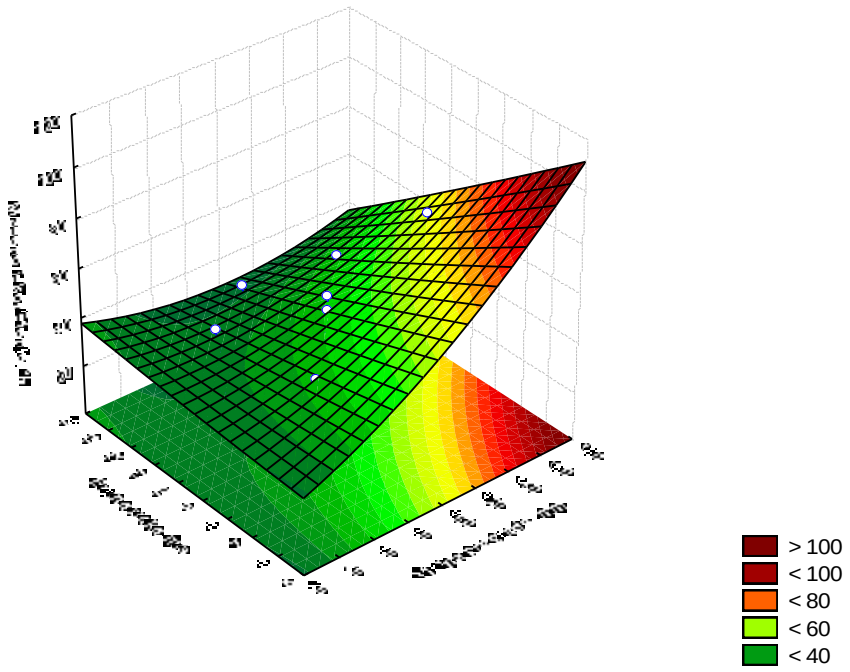
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu -0,5 mm – grupa „Z“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 72, 4 – 74 i 4 – 76) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 73, 4 – 75 i 4 – 77) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase -0,5 mm – grupa „Z“.

Tablica 4 – 24 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „Z“

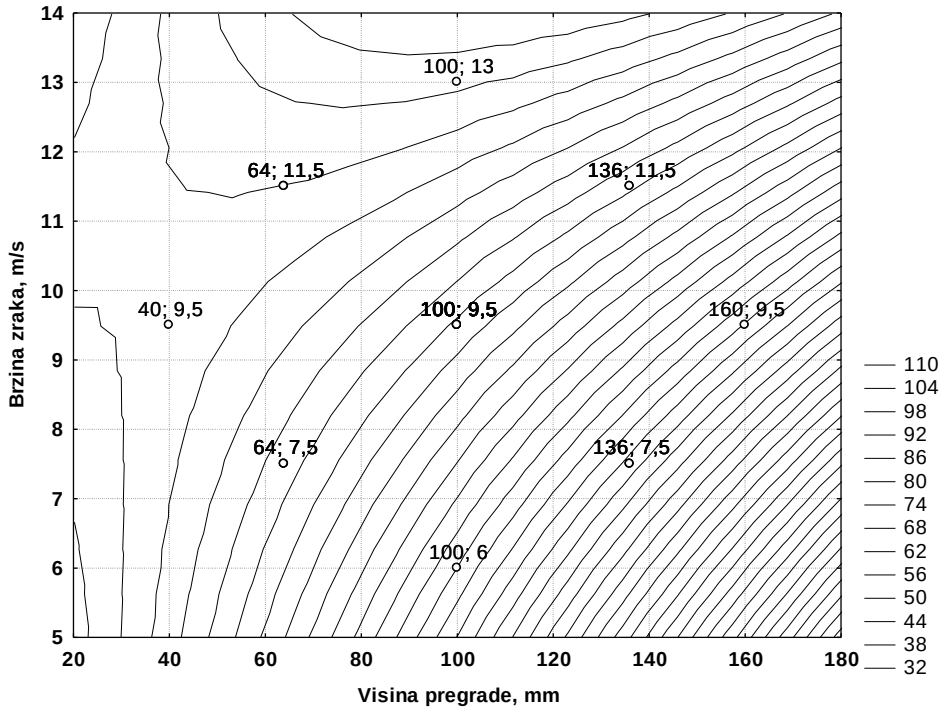
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	P
(1) Visina pregrade, mm (L)	1067,554	1	1067,554	68,83136	0,000072
(2) Brzina zraka, m/s (L)	815,252	1	815,252	52,56401	0,000170
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	206,570	1	206,570	13,31877	0,008183
Visina pregrade, mm (Q)	36,223	1	36,223	2,33549	0,170299
Brzina zraka, m/s (Q)	0,203	1	0,203	0,01306	0,912209
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,009	1	0,009	0,00057	0,981559
1L by 2L	132,601	1	132,601	8,54953	0,022215
1L by 3L	0,025	1	0,025	0,00163	0,968903
2L by 3L	24,047	1	24,047	1,55046	0,253133
Pogreška *(Eror)*	108,568	7	15,510		
Total SS	2395,095	16			



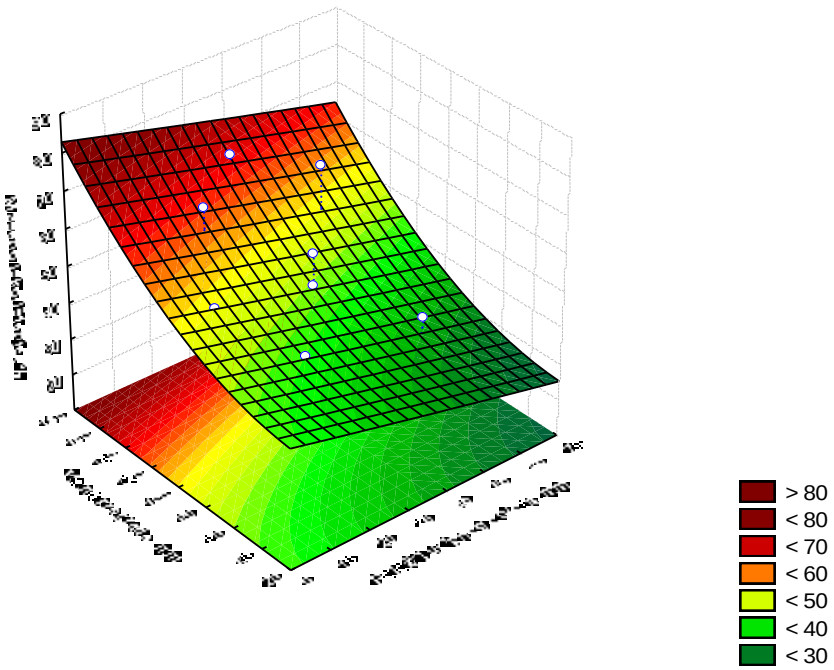
Grafikon 4 – 8 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „Z“



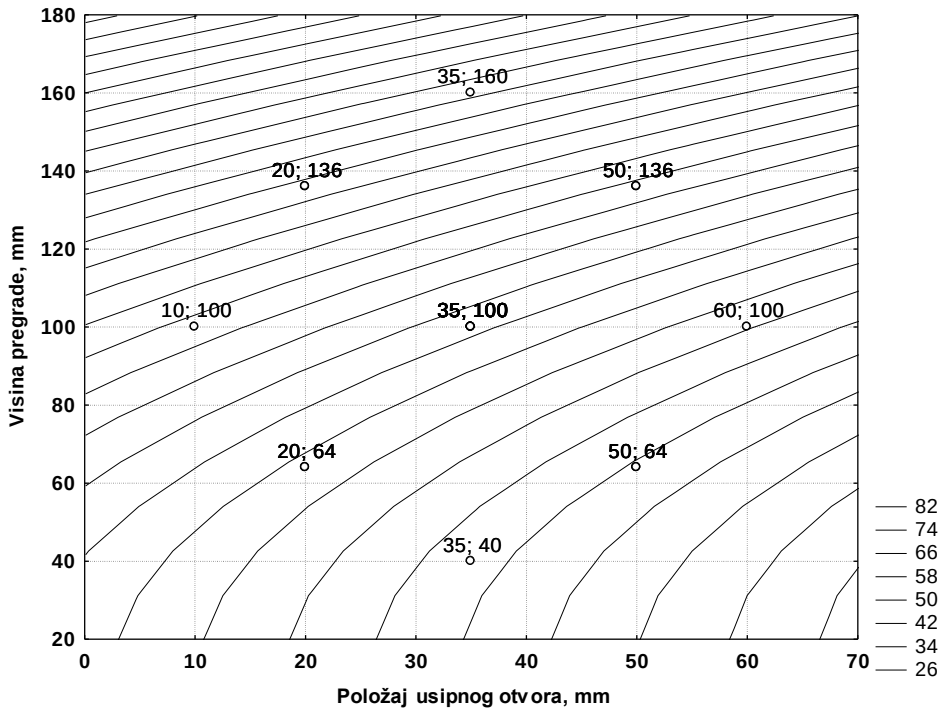
Slika 4 – 72 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupu „Z“



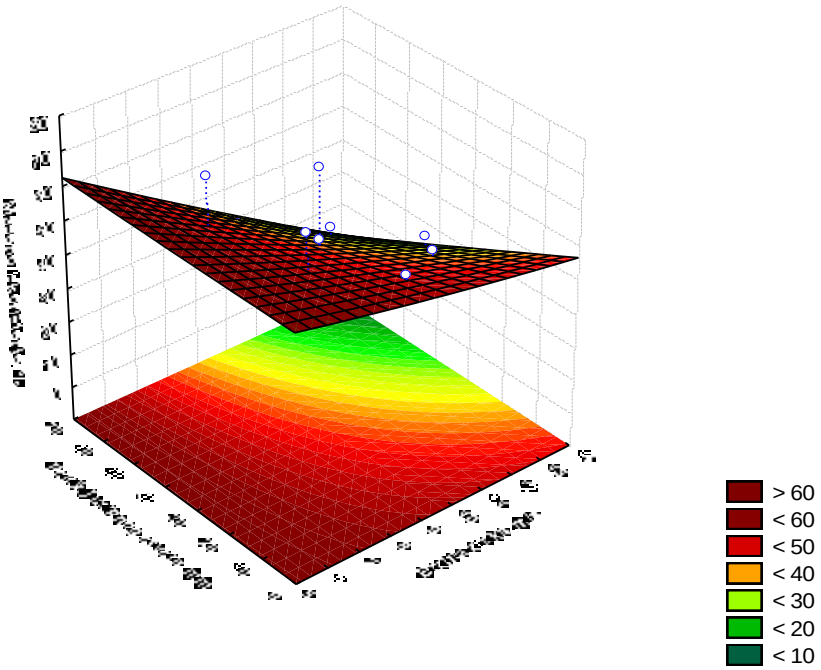
Slika 4 – 73 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“



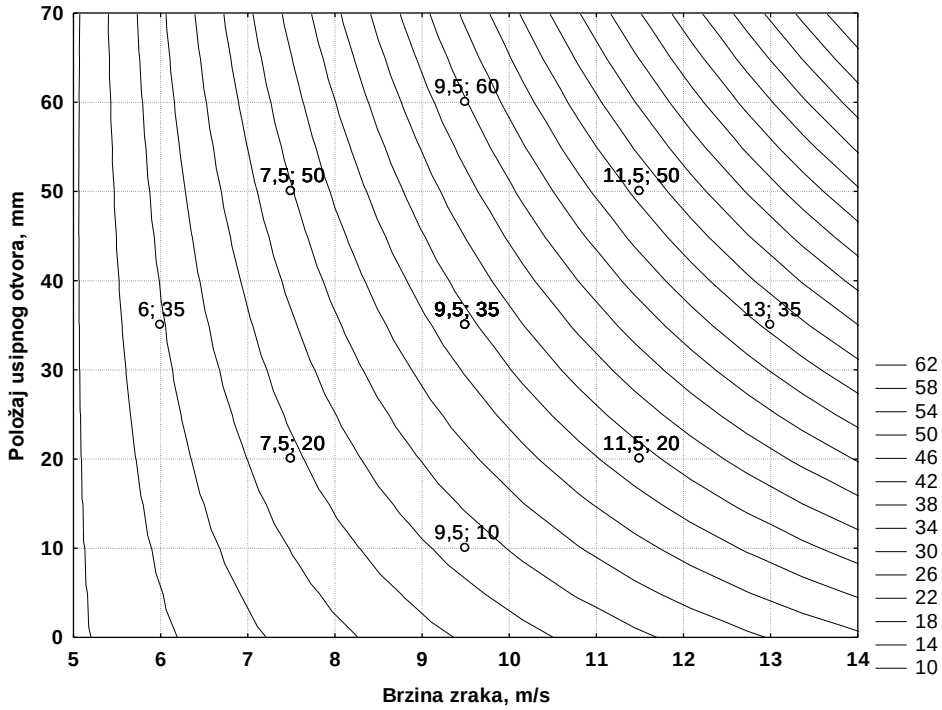
Slika 4 – 74 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klasa -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 75 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klasa -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“



Slika 4 – 76 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“



Slika 4 – 77 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“

4.4.4. Separiranje u magnetskim separatorima

Budući da su prethodno provedenom procedurom iz grupe „Z“ izdvojeni krupniji komadi željeza, magnetska separacija provedena je s ciljem izdvajanja sitnijih komada željeza, pa su u tu svrhu testirane tri klase: 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm. Testiranje je provedeno na dva magnetska separatora, suhom visokointenzivnom i mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru, koji su opisani u poglavlju 4.3.4. Dobiveni rezultati, prikazani su u tablicama 4 – 25 i 4 – 26.

Pojedinačni uzorak svih triju klasa klase propušten je kroz magnetski separator pri čemu je dobiven koncentrat (magnetska komponenta) i jalovina (nemagnetska komponenta). Zatim je nemagnetska komponenta ponovo propuštena kroz magnetski separator, pri čemu je izdvojen dio magnetične komponente (koji je pripojen izdvojenoj magnetičnoj komponenti u prvom prolazu) i jalovina (nemagnetična komponenta). Nakon toga je jalovina ponovo propuštena kroz magnetski separator pri čemu je opet izdvojeno nešto magnetične komponente koja je pripojena magnetičnoj komponenti izdvojenoj u prethodna dva radna stupnja, te je dobivena konačna jalovina (nemagnetična komponenta) i konačna magnetska (komponenta).

Tablica 4 – 25 Uvjeti izvođenja i rezultati testiranja u suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru – grupa „Z“

Pokus br.	Klasa (mm)	Masa ulaznog uzorka (g)	Vrijeme doziranja (min)	Uzorak materijala nakon 1. propuštanja		1. Propuštanje jalovine		2. Propuštanje jalovine		Produkti magnetske separacije		Produkti magnetske separacije	
				Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (%)	Nemag. komp. (%)
1.	2/1	40,00	4	0,16	39,84	0,04	39,80	0,02	39,78	0,22	39,78	**0,55**	**99,45**
2.			2	0,14	39,86	0,05	39,81	0,02	39,79	0,21	39,79	**0,53**	**99,47**
3.			1	0,13	39,87	0,04	39,83	0,03	39,80	0,20	39,80	**0,51**	**99,49**
4.	1/0,5	10,00	4	0,04	9,96	0,02	9,94	0,00	9,94	0,06	9,94	**0,62**	**99,38**
5.			2	0,03	9,97	0,01	9,96	0,01	9,95	0,05	9,95	**0,53**	**99,47**
6.			1	0,03	9,97	0,01	9,96	0,00	9,96	0,04	9,96	**0,44**	**99,56**
7.	-0,5	10,00	4	1,07	8,93	0,16	8,77	0,04	8,73	1,27	8,73	**12,71**	**87,29**
8.			2	0,96	9,04	0,20	8,84	0,10	8,74	1,26	8,74	**12,62**	**87,38**
9.			1	0,91	9,09	0,22	8,87	0,09	8,78	1,22	8,78	**12,24**	**87,76**

Iz tablice 4 – 25 može se vidjeti da su testovi provedeni uz mijenjanje vremena doziranja uzorka koje je praktično jednako vremenu separiranja u separatoru, dok su brzina rotacije bubnja 150 m/min, jakost magnetskog polja 240 kA/m i položaj separacijskog noža biti isti u svim testovima. Pojedinačni uzorak svih triju klasa korišten je za sva tri pokusa na način da je nakon separacije s vremenom doziranja od 4 minute ponovno pomiješana magnetska komponenta sa jalovinom i dobiven prvobitni uzorak koji je ponovno separiran sa kraćim vremenom doziranja od 2 minute. Cijeli postupak je ponovljen sa vremenom doziranja od 1 minute.

Kod klasa 1/0,5 i -0,5 mm se primjećuje da dulje vrijeme doziranja uzorka daje i bolje rezultate separiranja jer je uzorak po strukturi "pahuljast" i moguće je "zarobljavanje" magnetične čestice unutar nakupine nemagnetičnog materijala stoga je poželjno što bolje i ravnomjernije doziranje kroz duži period. Za razliku od navedenih, klasa 2/1 mm sastoji se od krupnijih zrna, a vrijeme doziranja nije bitno utjecalo na separiranje. Kod klase 2/1 mm prosječno je iz ukupne mase separiranog materijala izdvojeno dodatnih 0,22 grama magnetične komponente odnosno 0,55 %, iz klase 1/0,5 mm dodatnih 0,06 grama ili 0,62 %, a najveće odvajanje sa 1,27 grama magnetične komponente ili 12,7 % dobiveno je u klasi -0,5 mm. Suhim postupkom magnetske separacije, uzimajući u obzir maksimalne vrijednosti, iz svih uzoraka svih testiranih klasa izdvojeno je ukupno 1,55 grama odnosno 2,58 % mase ulaznog uzorka koji predstavlja magnetičnu komponentu, odnosno željezo.

Zbog ograničavajuće količine uzorka pokusi mokre magnetske separacije provedeni su s potpuno istim uzorcima klase 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm koji su korišteni u pokusima suhe magnetske separacije tj svaka pojedinačna klasa sa tri različita vremena doziranja. Materijal pojedinačnog uzorka jedne klase, bio bi dodan u Davisovu cijev sa vodom; po završetku separacije magnetične komponente od jalovine potrebno je odvojiti vodu; obje komponente se suše, a nakon vaganja su ponovno spojene u svrhu testiranja sa još kraćim vremenom doziranja uzorka.

Svi testovi su provedeni pri jednakoj (maksimalno mogućoj) jakosti magnetskog polja pri jakosti struje od 12 A, te pri jednakom protoku vode od 2,35 l/min, a mijenjano je vrijeme doziranja uzorka.

Tablica 4 – 26 Uvjeti izvođenja i rezultati testiranja u mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru – grupa „Z“

Pokus br.	Klasa (mm)	Masa ulaznog uzorka (g)	Vrijeme doziranja (min)	Produkti magnetske separacije		Produkti magnetske separacije	
				Magnetska komponenta (g)	Nemagnetska komponenta (g)	Magnetska komponenta (%)	Nemagnetska komponenta (%)
1.	2/1	40,00	6	0,69	39,31	**1,73**	**98,27**
2.			3	0,66	39,34	**1,66**	**98,34**
3.			1	0,63	39,37	**1,58**	**98,42**
4.	1/0,5	10,00	6	0,06	9,94	**0,62**	**99,38**
5.			3	0,05	9,95	**0,53**	**99,40**
6.			1	0,05	9,95	**0,53**	**99,40**
7.	-0,5	10,00	6	1,30	8,70	**13,00**	**87,00**
8.			3	1,28	8,72	**12,77**	**87,23**
9.			1	1,24	8,76	**12,38**	**87,62**

U klasi 2/1 mm kao što je vidljivo u tablici 4 – 26 prosječno je iz ukupne mase separiranog materijala odvojeno dodatnih 0,69 grama magnetične komponente odnosno 1,73%, iz klase 1/0,5 mm 0,06 grama ili 0,62 %, a najveće prosječno odvajanje od 1,30 grama magnetične komponente ili 13,00 % dobiveno je u klasi -0,5 mm. Gledajući sve tri klase zajedno kao i maksimalne vrijednosti mokrim postupkom magnetske separacije odvojeno je 2,05 grama odnosno 3,42 % magnetične komponente. Najveća razlika u izdvajanju, ovisno o vremenu doziranja zabilježena je u klasi 2/1 mm gdje je suhim postupkom separirano 0,22 grama, a mokrim postupkom 0,69 grama. Kod ostalih klasa ta razlika vrlo mala odnosno kod klase 1/0,5 mm nema razlike, a kod klase -0,5 mokrim postupkom je separirano 1,30 grama u odnosu na 1,27 grama u suhoj.

Ukoliko bismo usporedili ukupne rezultate obiju magnetskih separacija (1,55 : 2,05), visokointenzivnom magnetskom separacijom odvojeno je ukupno 0,50 grama ili 0,83 % više magnetične komponente stoga je taj postupak poželjniji za grupu „Z“.

4.4.5. Gravitacijska koncentracija

Nakon izdvajanja preostalog željeza magnetskom separacijom, nemagnetična komponenta je prerađena gravitacijskom separacijom na koncentracijskom stolu opisanom u poglavlju 4.3.6. Testovi su izvedeni uz mijenjanje vrijednosti jedne radne varijable, nagiba ploče koncentracijskog stola od 3°, 6° i 9° Ručnim probiranjem i vaganjem je određen maseni udio korisne komponente (bakar i aluminij) u ulaznom uzorku. Nakon svakog testa koncentrat je osušen, nakon čega se ručnim probiranjem prema izrazu (1) odredila kvaliteta koncentrata, a prema izrazu (2) maseno iskorištenje.

$$K_k = 100 \cdot \frac{m_k}{K} \ (\%) \qquad (1)$$

$$I_m = 100 \cdot \frac{K}{U} \ (\%) \qquad (2)$$

Tablica 4 – 27 Prikaz masenog udjela pojedinih klasa i njihovog sastava u ulaznom uzorku za koncentracijski stol – grupa „Z“

Klasa	**Masa**	**Maseni udio**	**Masa korisne komponente**	**Masa nekorisne komponente**	**Maseni udio korisne komponente**
	$\mathbf{m_{ul}}$	$\mathbf{U_{ul}}$	m_k	m_j	U_k
[mm]	**[g]**	**[%]**	[g]	[g]	[%]
2/1	45,31	*68,84*	21,73	23,58	*47,96*
1/0,5	11,31	*17,18*	2,83	8,48	*25,02*
-0,5	9,20	*13,98*	1,93	7,27	*20,98*
Ukupno:	**65,82**	***100,00***	**26,49**	**39,33**	

Tablica 4 – 28 Rezultati separacije na koncentracijskom stolu – grupa „Z“

Test broj	Klasa	Nagib ploče konc. stola	ULAZ	KONCENTRAT				MASENO ISKORIŠTENJE
			Ukupna masa	Ukupna masa	Masa korisne komp.	Masa nekorisne komp.	Kvaliteta konc.	
			U	K	mk_k	mk_j	K_k	I_m
	[mm]	[°]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
1	**2/1**	**9**	45,31	17,80	17,40	0,40	***97,75***	**39,28**
	1/0,5		11,31	2,83	2,47	0,36	***87,28***	**25,02**
	-0,5		9,20	1,07	0,94	0,13	***87,85***	**11,63**
2	**2/1**	**6**	45,31	16,64	16,59	0,05	***99,70***	**36,72**
	1/0,5		11,31	2,05	2,03	0,02	***99,02***	**18,13**
	-0,5		9,20	1,82	1,80	0,02	***98,90***	**19,78**
3	**2/1**	**3**	45,31	15,47	15,45	0,02	***99,87***	**34,14**
	1/0,5		11,31	2,60	2,58	0,02	***99,23***	**22,99**
	-0,5		9,20	1,14	1,13	0,01	***99,12***	**12,39**

Ručnim odvajanjem i vaganjem iz ulaznog uzorka klase -2 mm, iz sve tri podklase odvojeno je ukupno 26,49 grama korisne komponente odnosno bakra s primjesom aluminija i mesinga koji predstavljaju 40,58 % masenog udjela ulaza uzorka od 65,82 grama što je vidljivo u tablici 4 – 27. U tablici 4 – 28 prikazana je kvaliteta koncentrata i maseno iskorištenje izračunato prema izrazima (1) i (2) za sve tri podklase pri tri različita nagiba ploče stola. Iz rezultata se vidi da je koncentracijskim stolom moguće kvalitetno izdvojiti preostali metal (bakar s primjesom aluminija) od plastike i gume, a prema kvaliteti koncentrata iz tablice 4 – 28 vidljivo je da se radi o dosta čistom proizvodu. Ukoliko se u obzir uzmu prosječne vrijednosti kvalitete koncentrata za sve tri podklase i stave u odnos sa prosječnom vrijednosti masenog iskorištenja (99,21 % : 24,88 %) na nagibu stola od 6° postignut je najbolji omjer kvalitete koncentrata i masenog iskorištenja. Sa blažim nagibom od 3° postiže se veća kvaliteta koncentrata (99,41 %) ali i slabije maseno iskorištenje (23,17 %) dok se sa većim nagibom od 9° postiže manja kvaliteta koncentrata (90,96 %) uz najbolje maseno iskorištenje (25,31 %).

4.5. TESTIRANJE GRUPE „OTKLONSKI SVITCI, KABELI, KONEKTORI I ŽICE“

Grupa „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“ (u daljnjem tekstu grupa „OSKKŽ“) obrađena je kao zasebna grupa zbog većine žica tj. veće zastupljenosti bakra kojeg se nastojalo izdvojiti od ostalih materijala skupine. U ovu grupu svrstani su otklonski svitci demontirani s katodne cijevi, te kabeli i žice sa držačima i konektorima koji povezuju razne komponente unutar televizijskih aparata prikazani na slici 4 – 78.

Slika 4 – 78 Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice

Tijekom demontaže otklonskih svitaka s katodne cijevi kao i odvajanjem pojedinih komponenti od drugih skupina materijala izdvojeno je 670,70 grama vijaka, podnoški, obujmica i drugih spojnih elemenata prikazanih na slici 4 – 79 koji ne ulaze u daljnje postupke sitnjenja jer je već samim odvajanjem komponenti nakon odvrtanja ili rezanja bilo moguće primjenom magneta odvojiti željezo od ostalih metala, a potom vizualno odvojiti nemetale od metala gdje je izdvojen bakar, aluminj i mesing.

Temeljni zadatak je postići oslobađanje bakrene žice od izolacijskog materijala odnosno kod svitaka bakrene žice od metalnog odljevka koji se montira na katodnu cijev, kao i oslobađanje aluminija iz konektora koji služe za spajanje elektroničkih komponenti. Ukupna masa svih dijelova iznosila je 9 164,83 kg. Materijali koje bi trebalo izdvojiti kao proizvode u ovom dijelu istraživanja su bakar, željezo, aluminij, mesing, plastika i guma.

Slika 4 – 79 Materijali izvojeni ručnim probiranjem nakon ručne demontaže komponenti

4.5.1. Priprema uzorka

Otklonski svitci koji čine najveći dio materijala u ovoj skupini različitih su veličina, stoga ih je trebalo usitniti odnosno postići oslobađanje (raščin) metalnog odljevka na koji je namotana bakrena žica isto kao i od plastičnog dijela koji služi kao izolator između svitka i staklenih stijenki na katodnoj cijevi, a u tu svrhu je korištena udarna drobilica IZ-0 (poglavlje 4.3.1.) kao što je vidljivo na slici 4 – 80. Višežilni kabeli i pojedinačne žice su, zbog jednostavnije manipulacije, pomoću kliješta presječeni na kraće komade. Na slici 4 – 81 vidljivo je odvajanje željeznih 96,00 g i bakrenih limova 1,50 g iz primarno usitnjenog materijala koji su pridruženi krupnijim komadima materijala koji su kod prve skupine izdvojeni od daljnih postupaka obrade.

Slika 4 – 80 Sitnjenje u udarnoj drobilici IZ-0

Slika 4 – 81 Razdvajanje materijala nakon sitnjenja u udarnoj drobilici IZ-0

Grubo usitnjeni materijal je nakon izdvajanja bakrenih i željeznih limova dodatno (sekundarno) usitnjen u udarnoj drobilici s neovisno rotirajućim pločicama, (prikazana u poglavlju 4.3.1) koje su zbog okretanja diskova na glavnoj osovini i vlastite rotacije "uvlačile" duže komade žice. Stoga je pri doziranju materijala bilo potrebno biti iznimno oprezan i koristiti sve mjere zaštite, a materijal potiskivati pomoću štapa sve dok ne prođe povratnu ploču koja ulazni otvor štiti od izbacivanja komada iz bubnja u kojem se materijal sitni. Upravo zbog kombinacije kidanja, rezanja, sudaranja s kućištem i sudaranja zrna o zrno na rešetci s okruglim otvorima promjera 5 mm postignuto je oslobađanje (odnosno raščin) bakrene žice od izolacije. Nedostatak ovog uređaja je što se nakon prestanka ulaza novog materijala unutar bubnja zajedno sa pločama u međuprostoru vrtjela i određena količina laganog izolacijskog materijala koju je trebalo na kraju odstraniti i usitniti u reznom mlinu zajedno s materijalom klase + 4 mm dobivene odsjevom na vibracijskom situ Denver Dillon.

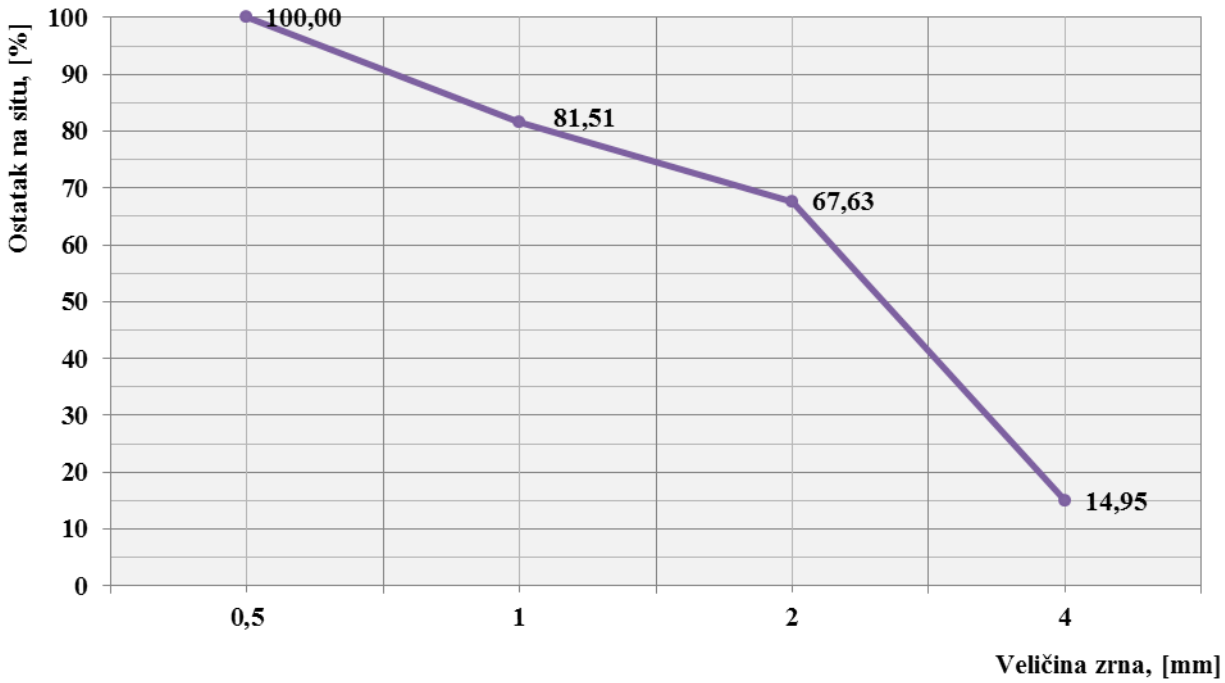
4.5.2. Određivanje granulometrijskog sastava

Nakon što je materijal prošao sekundarno sitnjenje, prosijan je na sitima s veličinama otvora od 4, 2, 1 i 0,5 mm, te je pri tome određen granulometrijski sastav prikazan u tablici 4 – 29.

Tablica 4 – 29 Granulometrijski sastav materijala koji sadrži otklonske svitke, kabele, konektore i žice

KLASA [mm]	MASA		MASA [cum.%]
	[g]	[%]	
4/2	1.370,01	14,95	14,95
2/1	4.827,95	52,68	67,63
1/0,5	1.271,97	13,88	81,51
-0,5	1.694,82	18,49	**100,00**
UKUPNO:	**9.164,75**	**100,00**	

Sijanje je izvedeno na ručnom situ s kvadratičnim otvorima veličine 4 mm, a potm na laboratorijskom elektromagnetskom (situ *FRITSCH "Analysette 3"* na sitima promjera 200 mm, s pletenim prosjevnim površinama s kvadratičnim otvorima veličine 2, 1 i 0,5 mm (poglavlje 4.3.2.).



Slika 4 – 82 Granulometrijska krivulja za otklonske svitke, kabele, konektore i žice

Iz slike 4 – 82 gdje su prikazani dobiveni rezultati vidi se da najveći maseni udio (više od 50 %) ima klasa 2/1 mm, a najmanji klasa 1/0,5 mm.

4.5.3. Separiranje u zračnom separatoru

U ovoj fazi ispitivanja određen je utjecaj visine pregrade, brzine strujanja zraka i udaljenosti ulaznog otvora od izvora zračne struje tj. „položaj uspinog otvora“ (nezavisne varijable) na efikasnost separiranja, pri čemu je pokazatelj uspješnosti separacije bila kvaliteta koncentrata i maseno iskorištenje (zavisne varijable). Ispitivanje je provedeno potpuno jednakom metodologijom kao i ispitivanje grupe „Zvučnici“ opisane u poglavlju 4.4.3.

Planom, kao i u poglavlju 4.4.3. su definirane kombinacije vrijednosti radnih parametara pri kojima se provode pokusi. Za razliku od dosta velikog raspona (40 – 160 mm) između maksimalne i minimalne vrijednosti visine pregrade korištene u grupi „Zvučnici“ stečenim spoznajama, raspon i koraci između vrijednosti su smanjeni kao što je prikazano u tablici 4 – 30 u svrhu utvrđivanja utjecaja nezavisnih varijabli kada je raspon (120 – 160 mm) mnogo manji.

Na temelju zadanih središnjih vrijednosti nezavisnih varijabli (h_o, v_o, d_o) i koraka između vrijednosti pojedine varijable (c_h, c_v, c_d) dobivene su vrijednosti:

h_o = 140 mm c_h = 12 mm

v_o = 9,5 m/s c_v = 2,0 m/s

d_o = 35 mm c_d = 15 mm

Tablica 4 – 30 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli – grupa „OSKKŽ“

x' Kodirana vrijednost	**x** Stvarna vrijednost		
	$\boldsymbol{h = x_1}$ Visina pregrade (mm)	$\boldsymbol{v = x_2}$ Brzina strujanja zraka (m/s)	$\boldsymbol{d = x_3}$ Udaljenost ulaznog otvora (mm)
-1.68179	120	6,0	10
-1.00000	128	7,5	20
0.00000	140	9,5	35
1.00000	152	11,5	50
1.68179	160	13,0	60

4.5.3.1. Ispitivanje klase 4/2 mm

Skraćivanjem uzorka pripremljen je uzorak za ispitivanje klase 4/2 mm, mase od 85 g koji je ručnim probiranjem analiziran na sadržaj korisne (željezo, bakar, aluminij, mesing) i nekorisne (guma, plastika, papir) komponente. Nakon ručnog izdvajanja korisne od nekorisne komponente utvrđeno je da maseni udio korisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 69,27 %, a maseni udio nekorisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 30,73 %.

Rezultati ispitivanja klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 31.

Tablica 4 – 31 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm	KVALITETA KONCENTRATA %	MASENO ISKORIŠTENJE %
1	128	7,5	20	100,00	99,13
2	128	11,5	50	99,81	94,84
3	152	7,5	50	99,75	97,38
4	152	11,5	20	99,87	97,99
5(c)	140	9,5	35	99,94	97,73
6	128	7,5	50	99,43	95,24
7	128	11,5	20	99,31	93,05
8	152	7,5	20	99,94	99,26
9	152	11,5	50	99,94	97,12
10(c)	140	9,5	35	99,94	98,16
11	120	9,5	35	99,50	95,45
12	160	9,5	35	100,00	99,61
13	140	6	35	100,00	99,74
14	140	13	35	99,81	93,36
15	140	9,5	10	99,94	95,98
16	140	9,5	60	99,31	93,40
17(c)	140	9,5	35	99,94	98,03

Tablica 4 – 32 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa "OSKKŽ"

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	99,1254	12,42043	7,98084	0,000093	99,1254	12,42043
(1) Visina pregrade, mm (L)	22,3943	11,69976	1,91408	0,097173	11,1971	5,84988
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-0,0740	11,46150	-0,00645	0,995030	-0,0370	5,73075
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-0,1830	11,69976	-0,01564	0,987960	-0,0915	5,84988
Visina pregrade, mm (Q)	-25,1437	13,06198	-1,92495	0,095631	-12,5718	6,53099
Brzina zraka, m/s (Q)	6,1090	12,01586	0,50841	0,626794	3,0545	6,00793
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	7,1663	13,06198	0,54864	0,600305	3,5832	6,53099
1L by 2L	0,1075	15,22967	0,00706	0,994565	0,0537	7,61484
1L by 3L	-0,0125	15,22967	-0,00082	0,999368	-0,0063	7,61484
2L by 3L	0,3325	15,22967	0,02183	0,983191	0,1662	7,61484

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 32 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

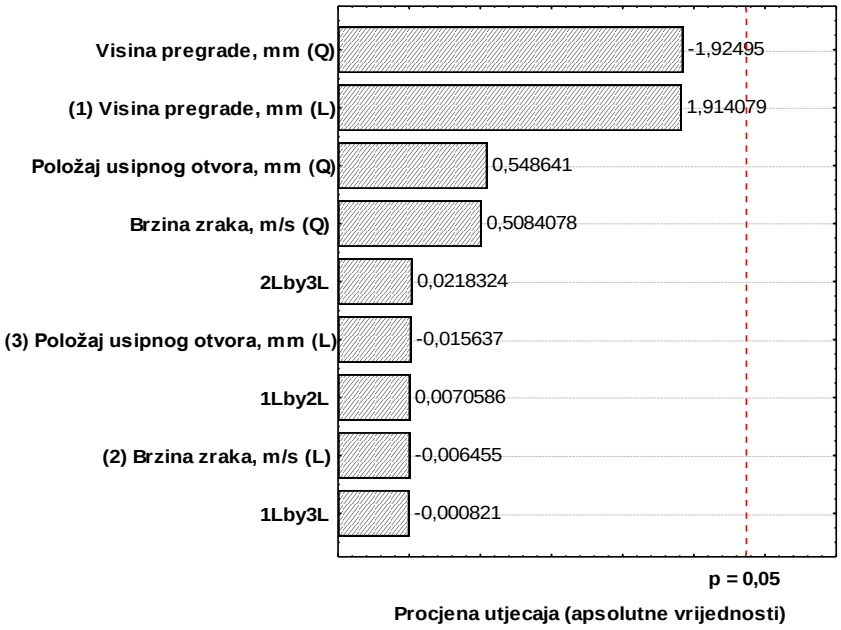
$$\boldsymbol{Y = 12{,}42 + 5{,}85h + 5{,}73v + 5{,}85d + 6{,}53h^2 + 6{,}01v^2 + 6{,}53d^2 + 7{,}61h \cdot v + 7{,}61h \cdot d + 7{,}61v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 32 i 4 – 33 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 9).

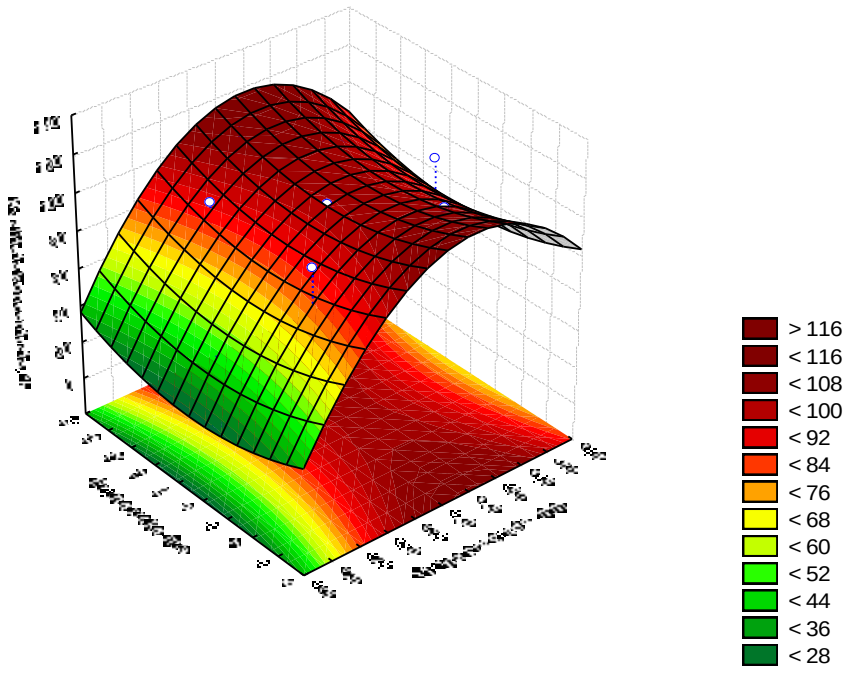
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 3,15/2 mm – grupa „OSKKŽ", korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 83, 4 – 85 i 4 – 87) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 84, 4 – 86 i 4 – 88) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ".

Tablica 4 – 33 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa "OSKKŽ"

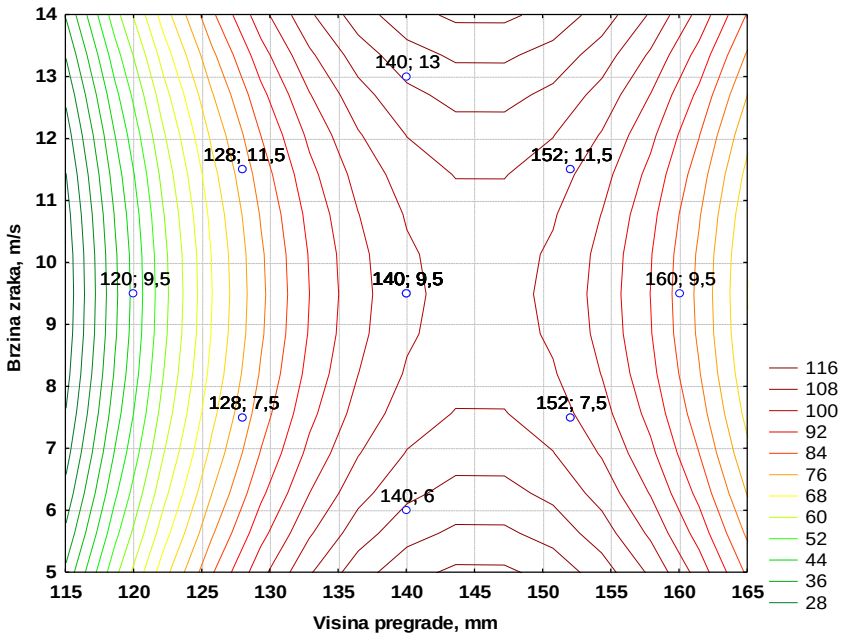
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	P
(1) Visina pregrade, mm (L)	1699,538	1	1699,538	3,663699	0,097173
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,019	1	0,019	0,000042	0,995030
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	0,113	1	0,113	0,000245	0,987960
Visina pregrade, mm (Q)	1718,897	1	1718,897	3,705432	0,095631
Brzina zraka, m/s (Q)	119,905	1	119,905	0,258479	0,626794
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	139,633	1	139,633	0,301007	0,600305
1L by 2L	0,023	1	0,023	0,000050	0,994565
1L by 3L	0,000	1	0,000	0,000001	0,999368
2L by 3L	0,221	1	0,221	0,000477	0,983191
Pogreška *(Eror)*	3247,201	7	463,886		
Total SS	7676,680	16			



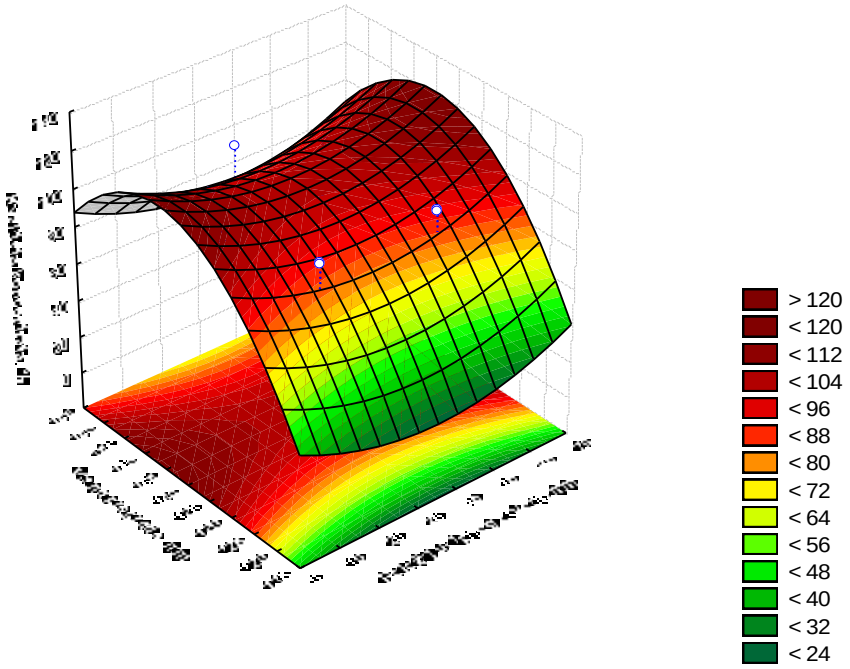
Grafikon 4 – 9 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa "OSKKŽ"



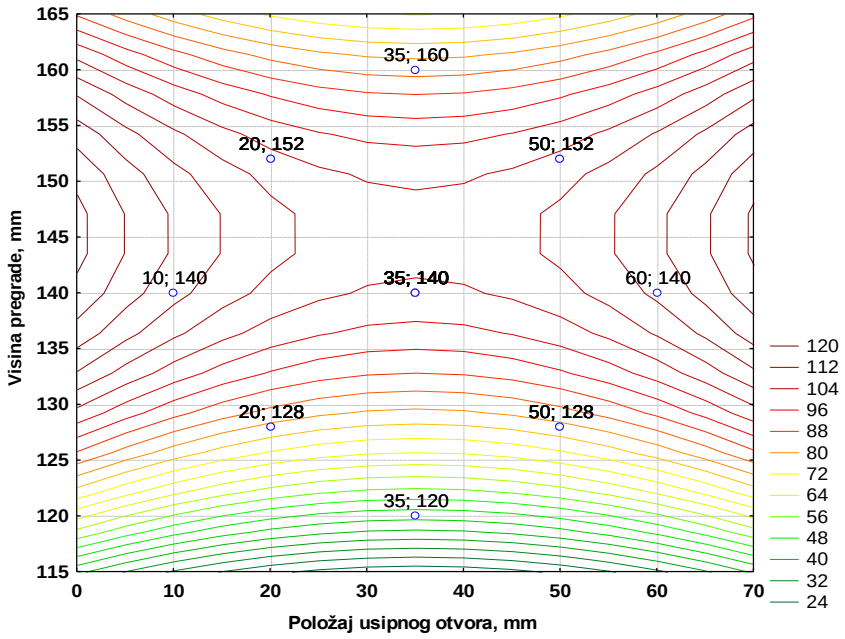
Slika 4 – 83 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa "OSKKŽ"



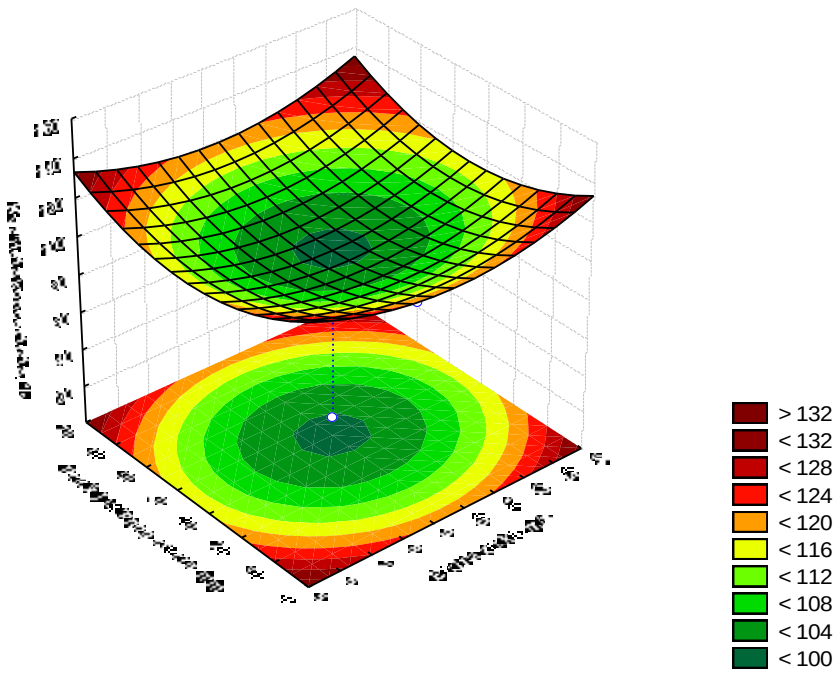
Slika 4 – 84 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade za otklonske svitke i kabele – grupa „OSKKŽ"



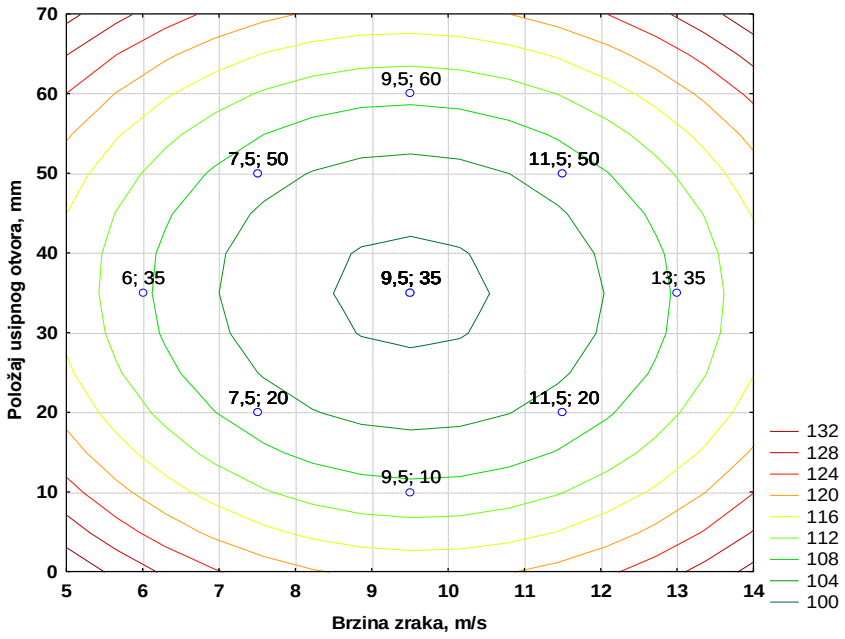
Slika 4 – 85 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 86 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 87 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – gupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 88 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 34 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	97,94397	0,550371	177,9600	0,000000	97,94397	0,550371
(1) Visina pregrade, mm (L)	2,42311	0,518437	4,6739	0,002277	1,21156	0,259218
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-2,71504	0,507879	-5,3458	0,001069	-1,35752	0,253939
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-1,35000	0,518437	-2,6040	0,035220	-0,67500	0,259218
Visina pregrade, mm (Q)	-0,05271	0,578799	-0,0911	0,929989	-0,02636	0,289400
Brzina zraka, m/s (Q)	-0,70850	0,532444	-1,3307	0,225010	-0,35425	0,266222
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-2,09751	0,578799	-3,6239	0,008466	-1,04876	0,289400
1L by 2L	1,23750	0,674853	1,8337	0,109345	0,61875	0,337427
1L by 3L	-0,16250	0,674853	-0,2408	0,816616	-0,08125	0,337427
2L by 3L	1,67250	0,674853	2,4783	0,042314	0,83625	0,337427

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 34 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

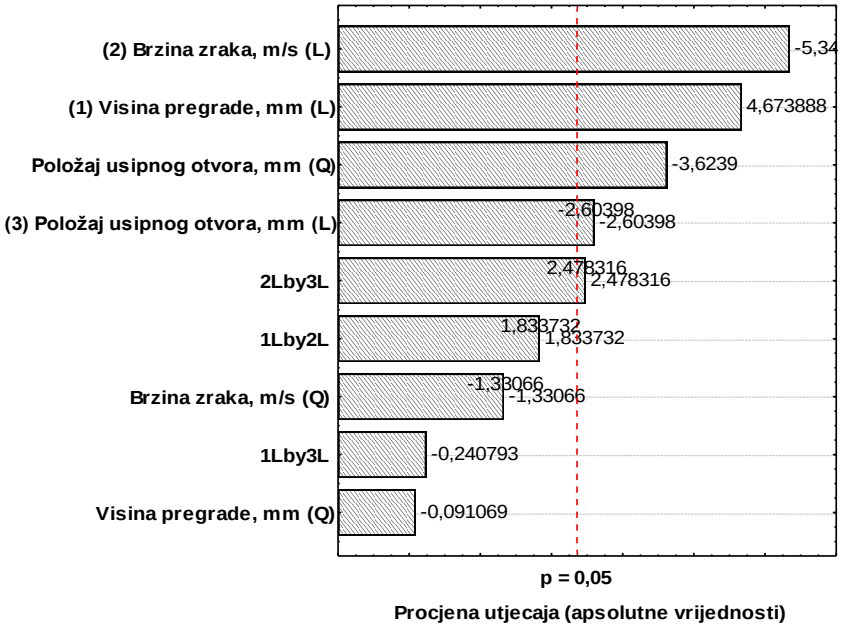
$$\boldsymbol{Y = 0{,}55 + 0{,}26h + 0{,}25v + 0{,}26d + 0{,}29h^2 + 0{,}27v^2 + 0{,}29d^2 + 0{,}34h \cdot v + 0{,}34h \cdot d + 0{,}34v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 34 i 4 – 35, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 10.

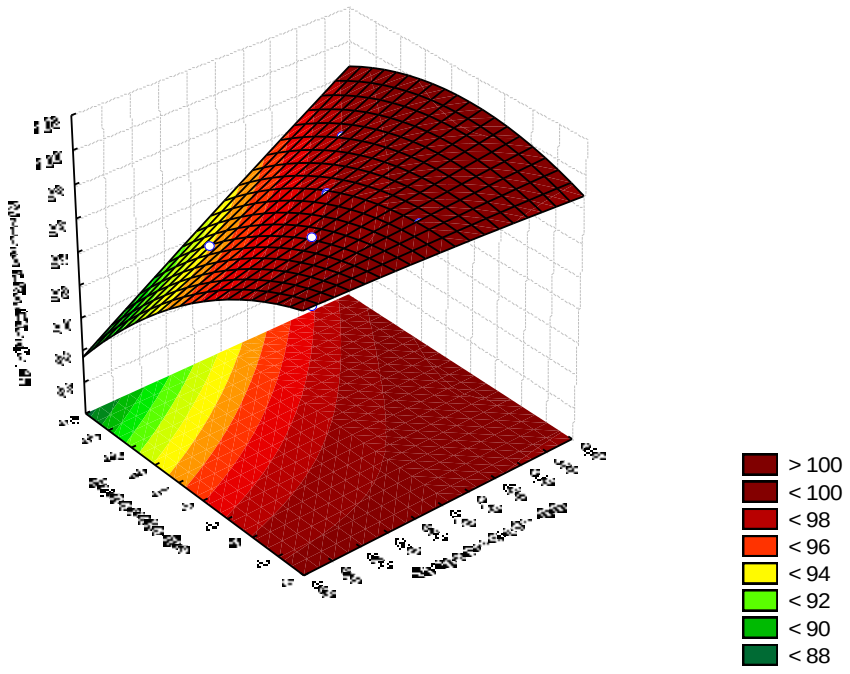
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 89, 4 – 91 i 4 – 93) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 90, 4 – 92 i 4 – 94) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 35 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

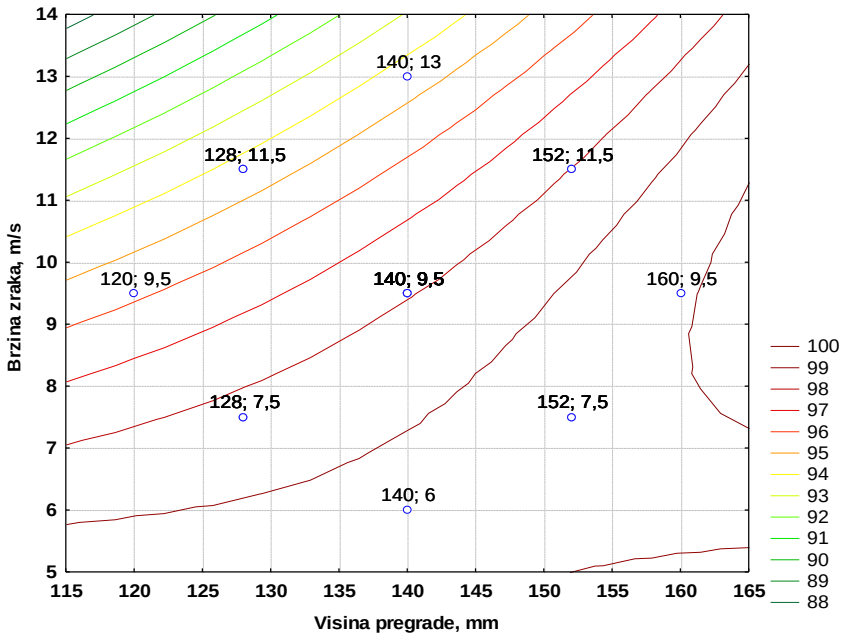
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	19,89781	1	19,89781	21,84523	0,002277
(2) Brzina zraka, m/s (L)	26,03049	1	26,03049	28,57811	0,001069
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	6,17625	1	6,17625	6,78072	0,035220
Visina pregrade, mm (Q)	0,00755	1	0,00755	0,00829	0,929989
Brzina zraka, m/s (Q)	1,61280	1	1,61280	1,77065	0,225010
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	11,96193	1	11,96193	13,13266	0,008466
1L by 2L	3,06281	1	3,06281	3,36257	0,109345
1L by 3L	0,05281	1	0,05281	0,05798	0,816616
2L by 3L	5,59451	1	5,59451	6,14205	0,042314
Pogreška *(Eror)*	6,37598	7	0,91085		
Total SS	80,32771	16			



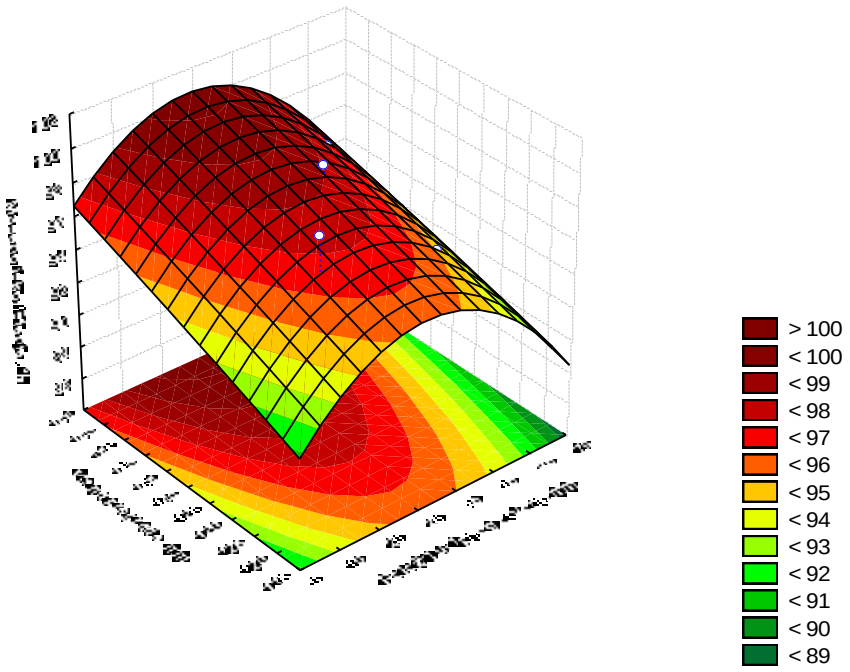
Grafikon 4 – 10 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“



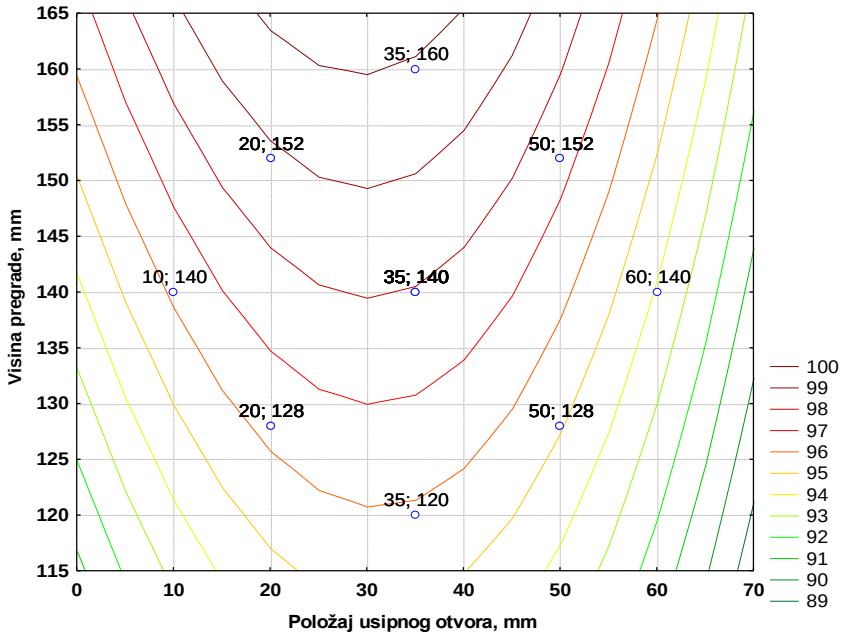
Slika 4 – 89 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ



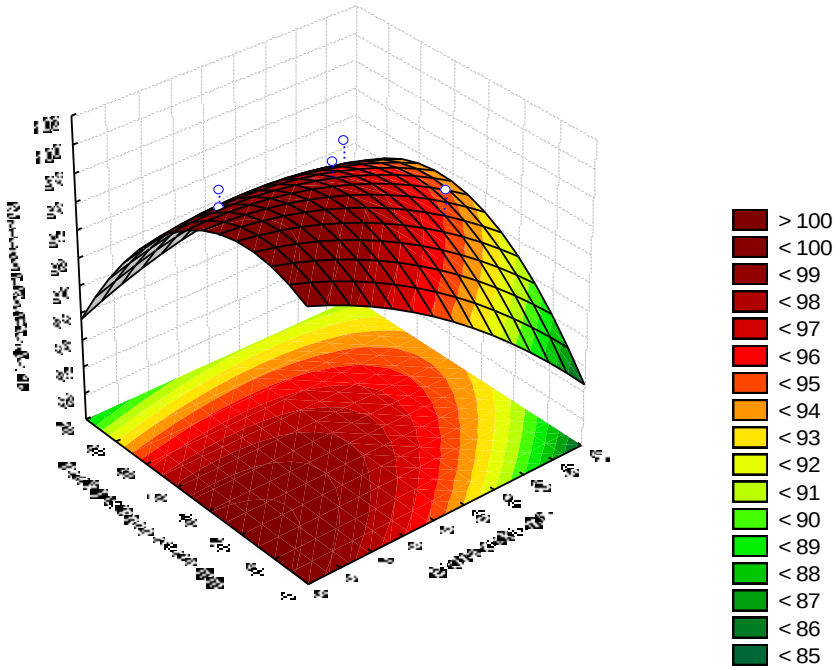
Slika 4 – 90 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ



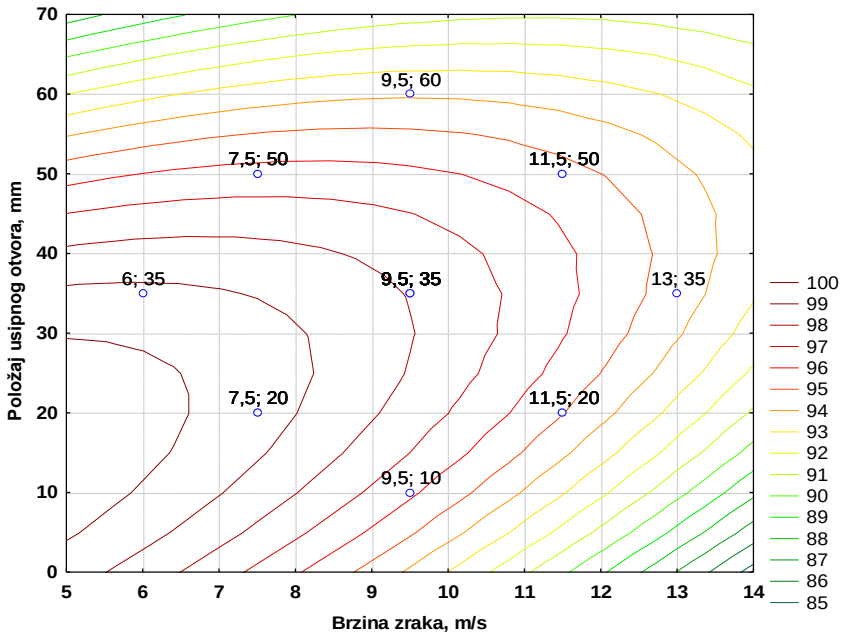
Slika 4 – 91 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 92 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 93 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 94 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

4.5.3.2. Ispitivanje klase 2/1 mm

Skračivanjem uzorka pripremljen je uzorak za ispitivnje klase 2/1 mm, mase 75 g koji je ručnim probiranjem analiziran korisne (željezo, bakar, aluminij, mesing) i nekorisne (guma, papir, plastika) komponente. Nakon ručnog izdvajanja korisne od nekorisne komponente utvrđeno je da maseni udio korisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 55,47 %, a maseni udio nekorisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 44,53 %.

Rezultati ispitivanja klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 36.

Tablica 4 – 36 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	**Visina pregrade mm**	**Brzina zraka m/s**	**Položaj usipnog otvora mm**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	128	7,5	20	99,68	95,23
2	128	11,5	50	99,47	98,48
3	152	7,5	50	99,88	98,45
4	152	11,5	20	99,92	97,07
5(c)	140	9,5	35	99,80	95,81
6	128	7,5	50	99,23	96,73
7	128	11,5	20	98,87	88,42
8	152	7,5	20	100,00	99,01
9	152	11,5	50	99,92	96,33
10(c)	140	9,5	35	99,88	91,29
11	120	9,5	35	98,42	88,80
12	160	9,5	35	99,92	98,59
13	140	6	35	99,96	98,72
14	140	13	35	98,67	89,49
15	140	9,5	10	99,76	98,05
16	140	9,5	60	99,92	93,28
17(c)	140	9,5	35	99,88	95,47

Tablica 4 – 37 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	99,84356	0,169286	589,7933	0,000000	99,84356	0,169286
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,73328	0,159463	4,5984	0,002489	0,36664	0,079732
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-0,40602	0,156216	-2,5991	0,035473	-0,20301	0,078108
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	0,04377	0,159463	0,2745	0,791635	0,02189	0,079732
Visina pregrade, mm (Q)	-0,40329	0,178030	-2,2653	0,057878	-0,20164	0,089015
Brzina zraka, m/s (Q)	-0,27799	0,163772	-1,6974	0,133429	-0,13899	0,081886
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,07911	0,178030	0,4444	0,670189	0,03956	0,089015
1L by 2L	0,13250	0,207575	0,6383	0,543573	0,06625	0,103787
1L by 3L	-0,06750	0,207575	-0,3252	0,754545	-0,03375	0,103787
2L by 3L	0,29250	0,207575	1,4091	0,201636	0,14625	0,103787

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 37 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

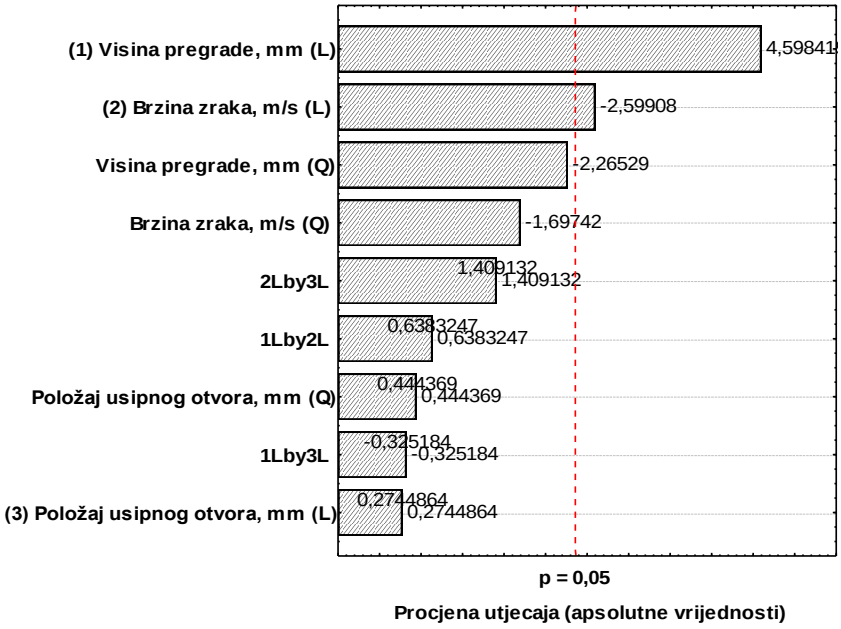
$$\boldsymbol{Y = 0{,}17 + 0{,}08h + 0{,}08v + 0{,}08d + 0{,}09h^2 + 0{,}08v^2 + 0{,}09d^2 + 0{,}10h \cdot v + 0{,}10h \cdot d + 0{,}10v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 37 i 4 – 38 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 11).

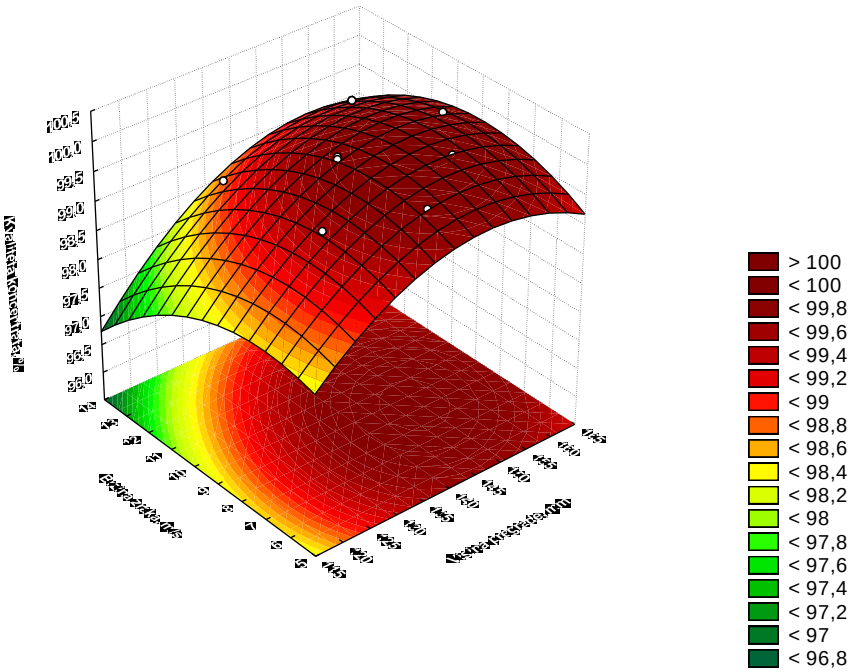
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 95, 4 – 97 i 4 – 99) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 96, 4 – 98 i 4 – 100) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 38 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

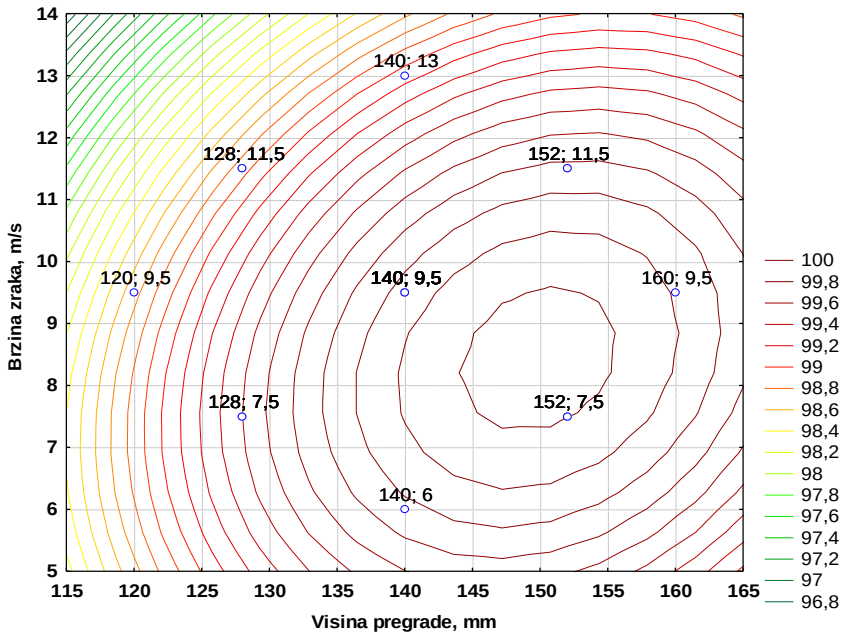
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta Koncentrata % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	1,822198	1	1,822198	21,14546	0,002489
(2) Brzina zraka, m/s (L)	1,822198	1	1,822198	21,14546	0,002489
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	0,006493	1	0,006493	0,07534	0,791635
Visina pregrade, mm (Q)	0,442207	1	0,442207	5,13154	0,057878
Brzina zraka, m/s (Q)	0,248288	1	0,248288	2,88122	0,133429
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,017016	1	0,017016	0,19746	0,670189
1L by 2L	0,035113	1	0,035113	0,40746	0,543573
1L by 3L	0,009112	1	0,009112	0,10574	0,754545
2L by 3L	0,171112	1	0,171112	1,98565	0,201636
Pogreška *(Eror)*	0,603221	7	0,086174		
Total SS	3,950376	16			



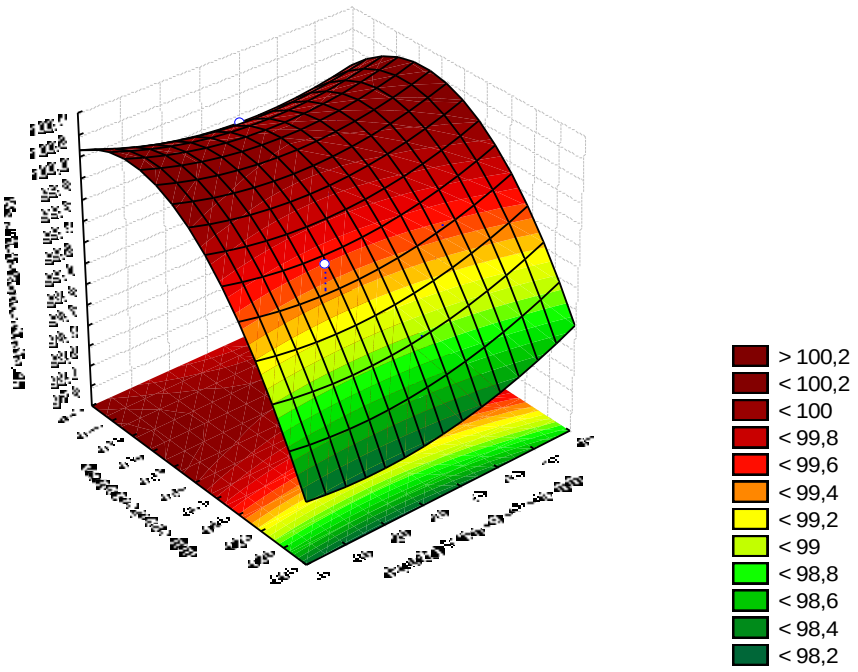
Grafikon 4 – 11 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“



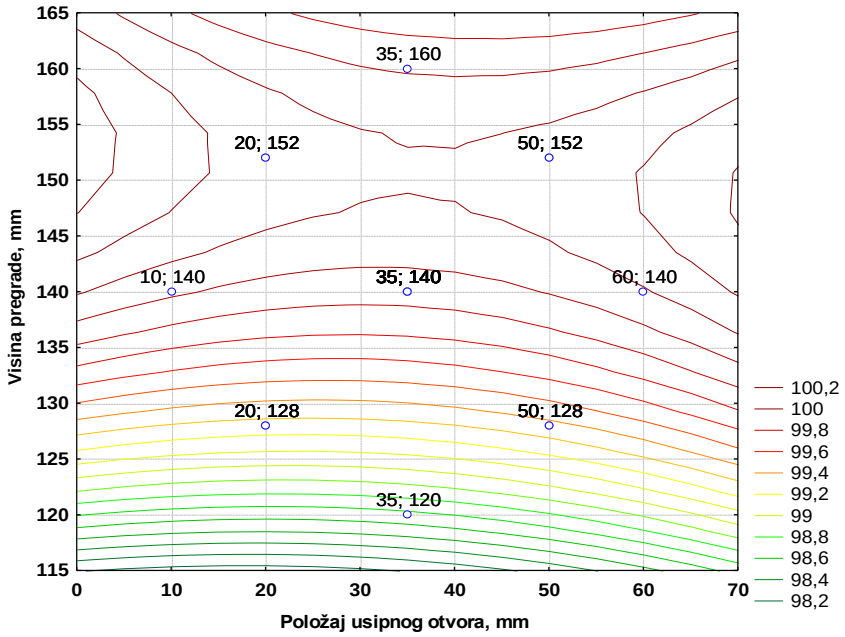
Slika 4 – 95 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



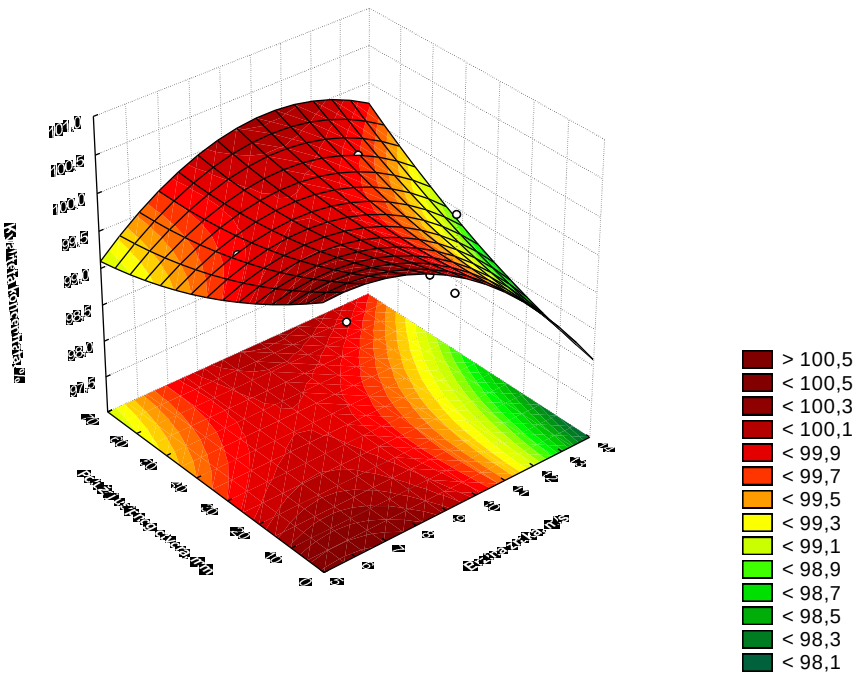
Slika 4 – 96 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



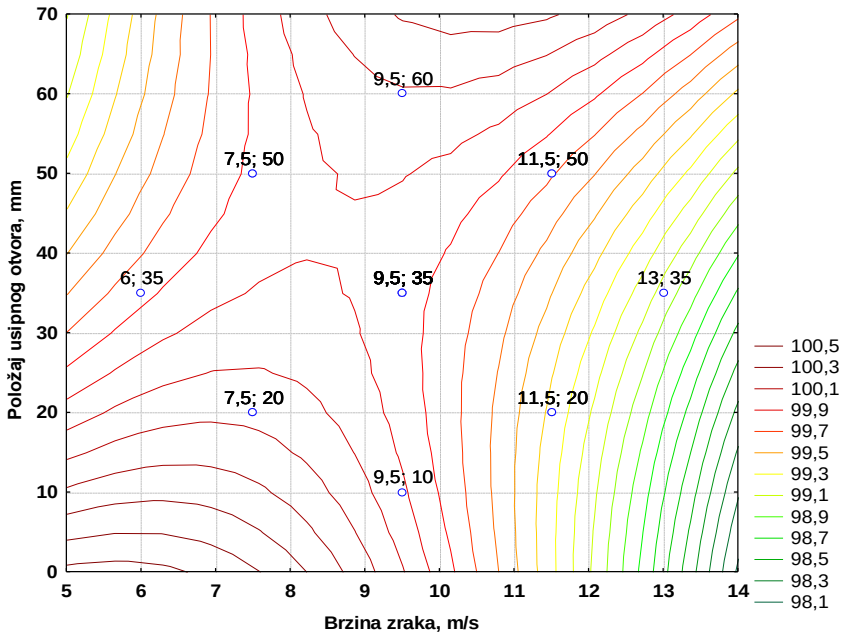
Slika 4 – 97 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 98 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 99 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 100 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 39 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	94,10457	1,827144	51,50364	0,000000	94,10457	1,827144
(1) Visina pregrade, mm (L)	4,17787	1,721128	2,42740	0,045594	2,08893	0,860564
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-3,57841	1,686078	-2,12233	0,071476	-1,78920	0,843039
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	0,34082	1,721128	0,19802	0,848656	0,17041	0,860564
Visina pregrade, mm (Q)	0,41895	1,921522	0,21803	0,833626	0,20947	0,960761
Brzina zraka, m/s (Q)	0,58756	1,767628	0,33240	0,749320	0,29378	0,883814
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	1,83735	1,921522	0,95619	0,370823	0,91867	0,960761
1L by 2L	0,25000	2,240406	0,11159	0,914283	0,12500	1,120203
1L by 3L	-3,21500	2,240406	-1,43501	0,194417	-1,60750	1,120203
2L by 3L	2,09500	2,240406	0,93510	0,380865	1,04750	1,120203

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 39 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

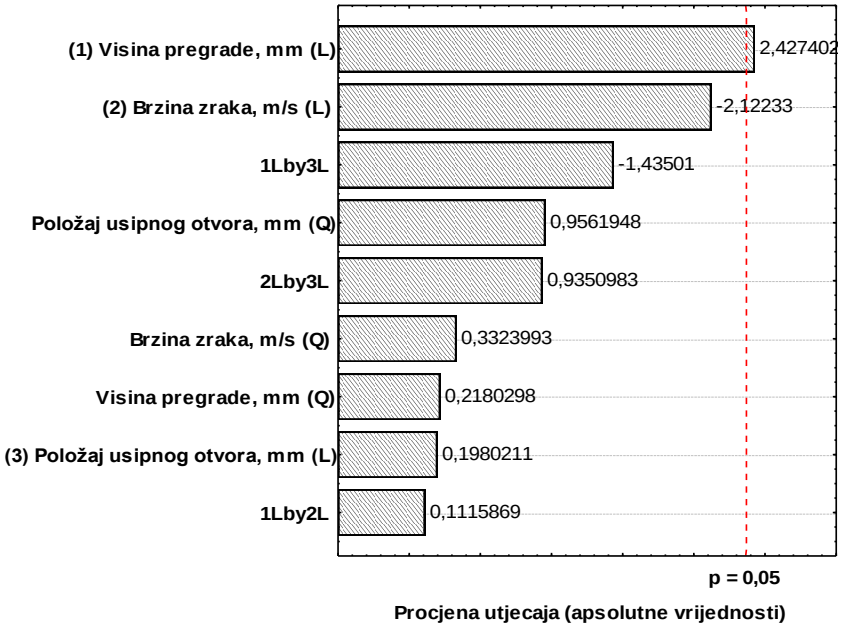
$$\boldsymbol{Y = 1{,}83 + 0{,}86h + 0{,}84v + 0{,}84d + 0{,}86h^2 + 0{,}96v^2 + 0{,}88d^2 + 0{,}96h \cdot v + 1{,}12h \cdot d + 1{,}12v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 39 i 4 – 40, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 12.

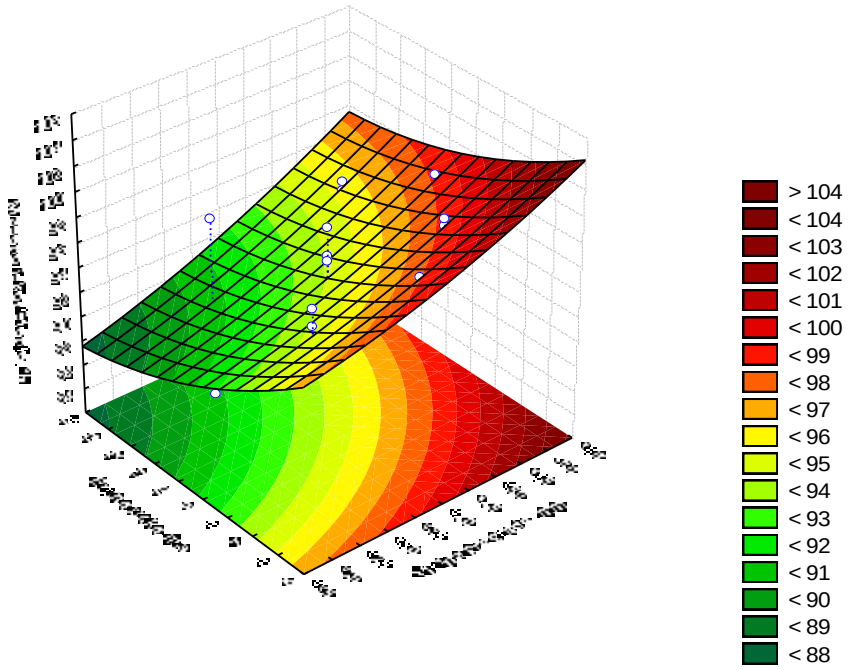
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 101, 4 – 103 i 4 – 105) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 102, 4 – 104 i 4 – 106) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 40 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

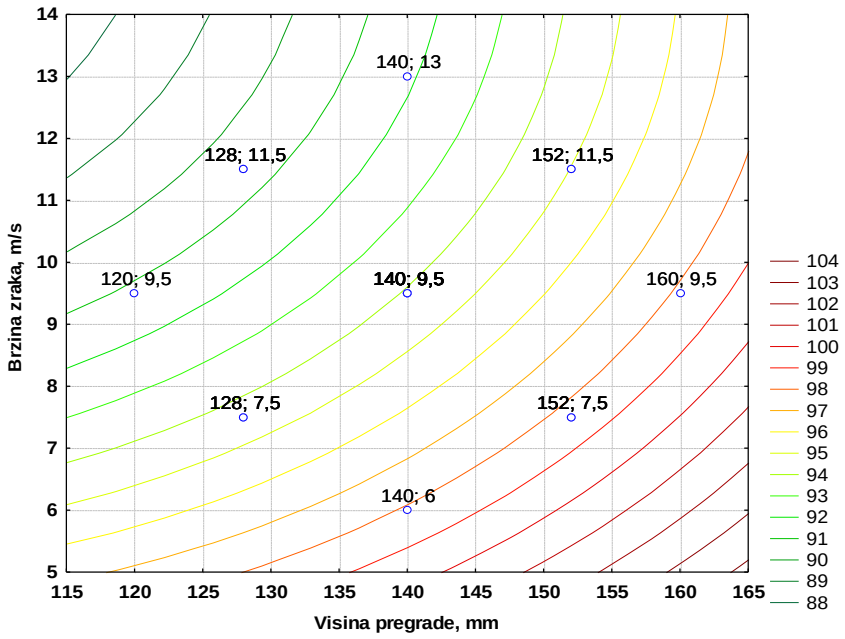
Nezavisna varijabla ***(Factor)***	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	59,1517	1	59,15166	5,892280	0,045594
(2) Brzina zraka, m/s (L)	45,2176	1	45,21765	4,504270	0,071476
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	0,3936	1	0,39365	0,039212	0,848656
Visina pregrade, mm (Q)	0,4772	1	0,47722	0,047537	0,833626
Brzina zraka, m/s (Q)	1,1092	1	1,10918	0,110489	0,749320
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	9,1786	1	9,17860	0,914308	0,370823
1L by 2L	0,1250	1	0,12500	0,012452	0,914283
1L by 3L	20,6725	1	20,67245	2,059247	0,194417
2L by 3L	8,7781	1	8,77805	0,874409	0,380865
Pogreška *(Eror)*	70,2719	7	10,03884		
Total SS	213,8700	16			



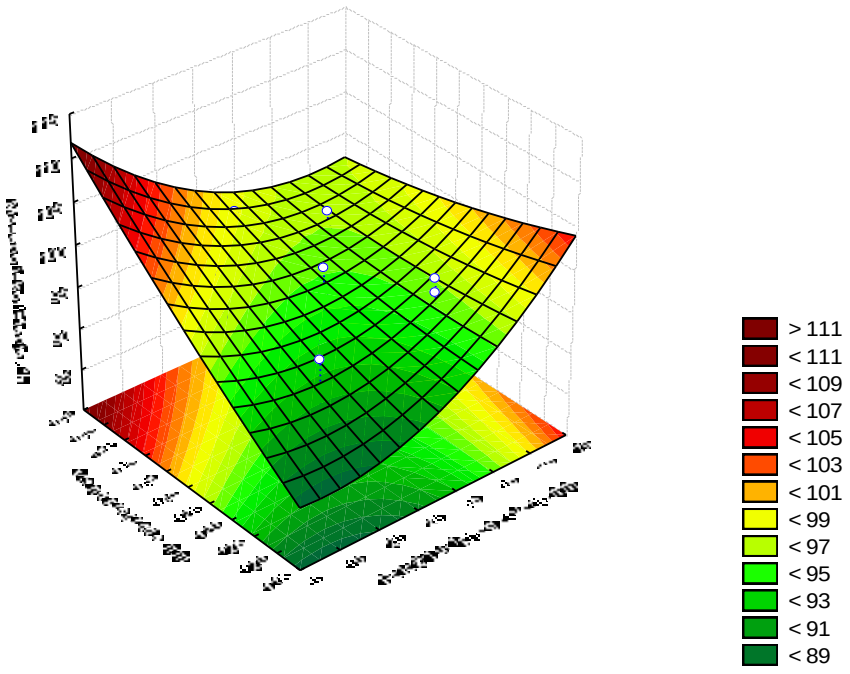
Grafikon 4 – 12 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“



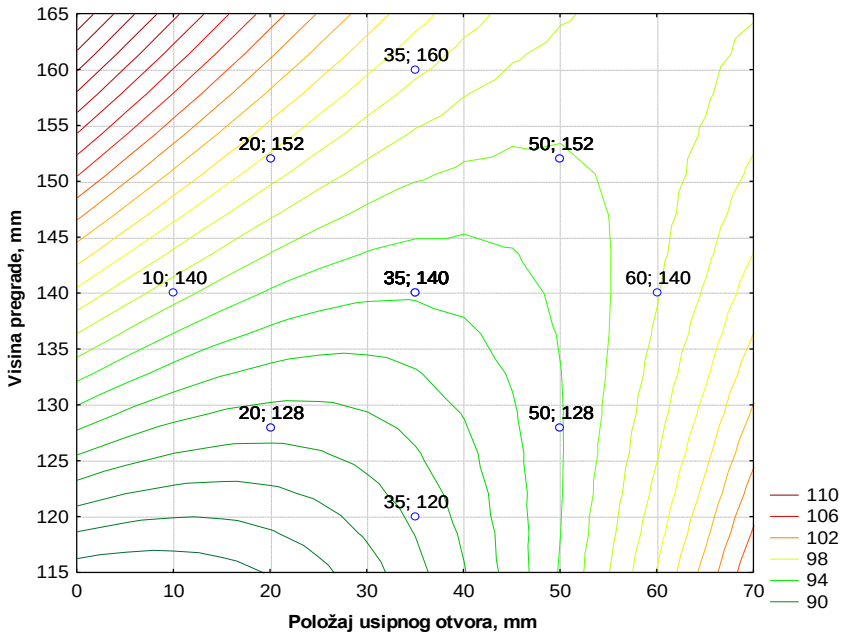
Slika 4 – 101 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



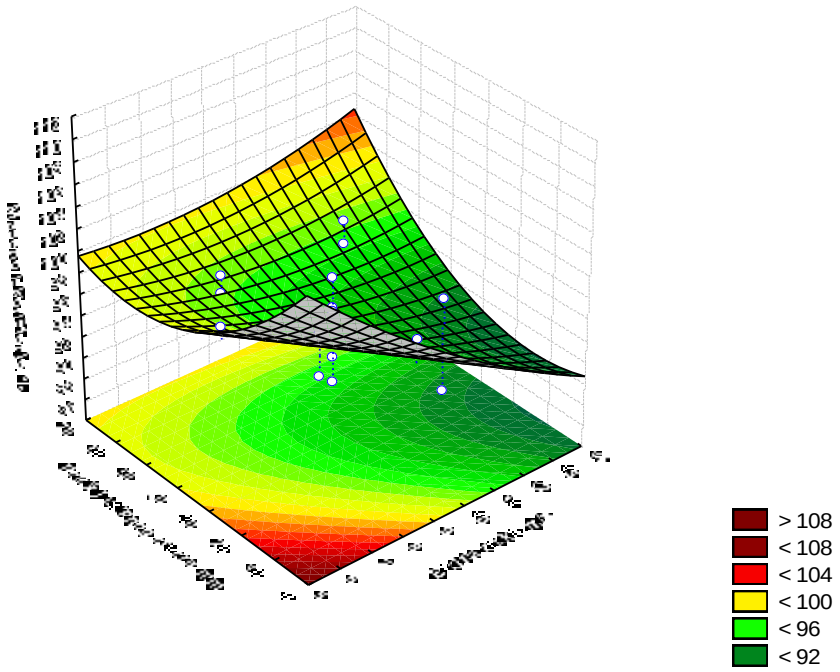
Slika 4 – 102 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



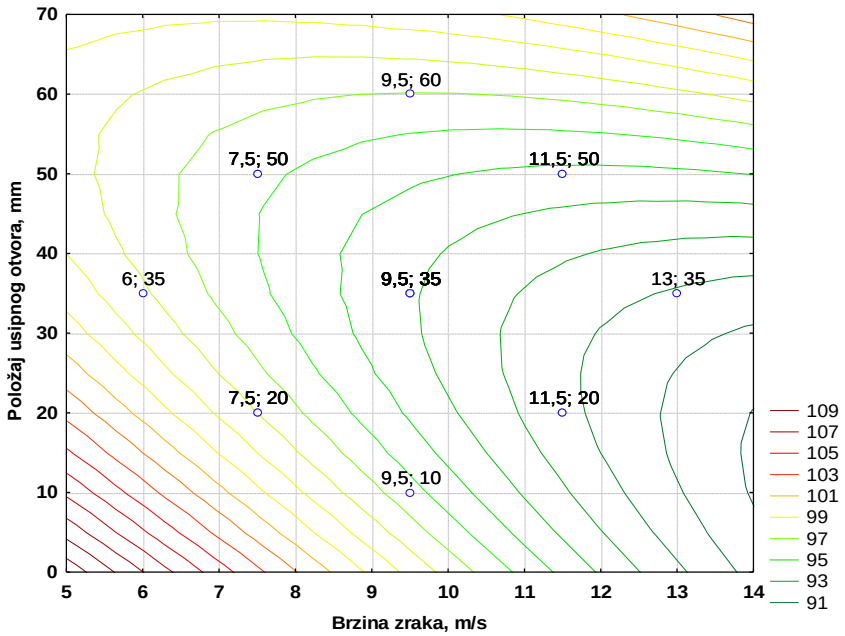
Slika 4 – 103 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 104 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 105 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 106 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

4.5.3.3. Ispitivanje klase 1/0,5 mm

Skraćivanjem uzorka pripremljen je uzorak za ispitivanje klase 1/0,5 mm, mase od 80 g koji je ručnim probiranjem analiziran na sadržaj korisne (željezo, bakar, aluminij i mesing) i nekorisne (guma, plastika i papir) komponente. Nakon ručnog izdvajanja korisne od nekorisne komponente utvrđeno je da maseni udio korisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 79,33 %, a maseni udio nekorisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 20,67 %.

Rezultati ispitivanja klase 1/05 mm – grupa „OSKKŽ“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 41.

Tablica 4 – 41 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm	KVALITETA KONCENTRATA %	MASENO ISKORIŠTENJE %
1	128	7,5	20	100,00	97,77
2	128	11,5	50	99,73	90,17
3	152	7,5	50	99,91	95,55
4	152	11,5	20	100,00	97,49
5(c)	140	9,5	35	99,91	93,90
6	128	7,5	50	100,00	93,40
7	128	11,5	20	99,91	91,82
8	152	7,5	20	100,00	99,21
9	152	11,5	50	99,82	93,61
10(c)	140	9,5	35	99,91	93,97
11	120	9,5	35	99,55	89,95
12	160	9,5	35	100,00	96,84
13	140	6	35	100,00	98,28
14	140	13	35	99,46	88,23
15	140	9,5	10	99,55	96,84
16	140	9,5	60	76,11	69,63
17(c)	140	9,5	35	99,82	93,83

Tablica 4 – 42 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta Koncentrata % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	99,65556	3,264055	30,53121	0,000000	99,65556	3,264055
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,12393	3,074665	0,04031	0,968973	0,06197	1,537333
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-0,19752	3,012051	-0,06558	0,949548	-0,09876	1,506025
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-5,83033	3,074665	-1,89625	0,099755	-2,91516	1,537333
Visina pregrade, mm (Q)	1,96135	3,432654	0,57138	0,585611	0,98068	1,716327
Brzina zraka, m/s (Q)	1,59148	3,157735	0,50399	0,629738	0,79574	1,578867
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-6,63905	3,432654	-1,93409	0,094353	-3,31952	1,716327
1L by 2L	0,06750	4,002317	0,01687	0,987015	0,03375	2,001159
1L by 3L	-0,02250	4,002317	-0,00562	0,995671	-0,01125	2,001159
2L by 3L	-0,06750	4,002317	-0,01687	0,987015	-0,03375	2,001159

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 42 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

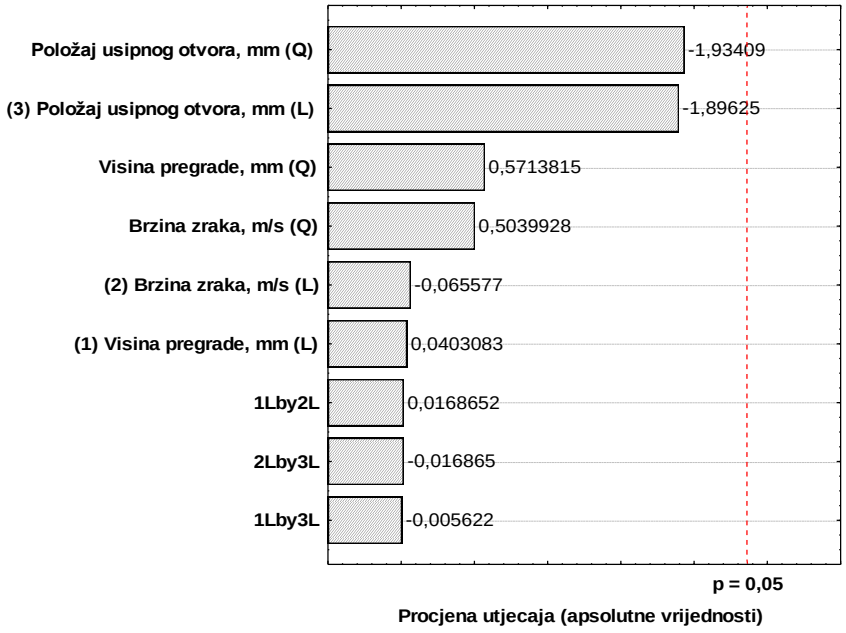
$$\boldsymbol{Y = 3{,}26 + 1{,}54h + 1{,}51v + 1{,}54d - 1{,}72h^2 + 1{,}58\,v^2 + 1{,}72d^2 + 2{,}00h \cdot v + 2{,}00h \cdot d + 2{,}00v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 42 i 4 – 43 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 13).

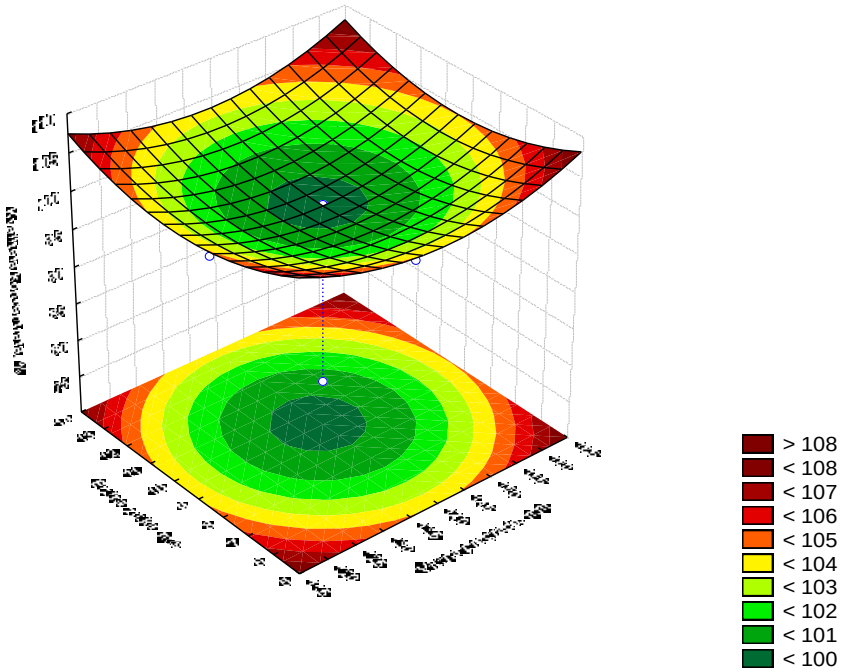
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 107, 4 – 109 i 4 – 111) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 108, 4 – 110 i 4 – 112) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 43 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

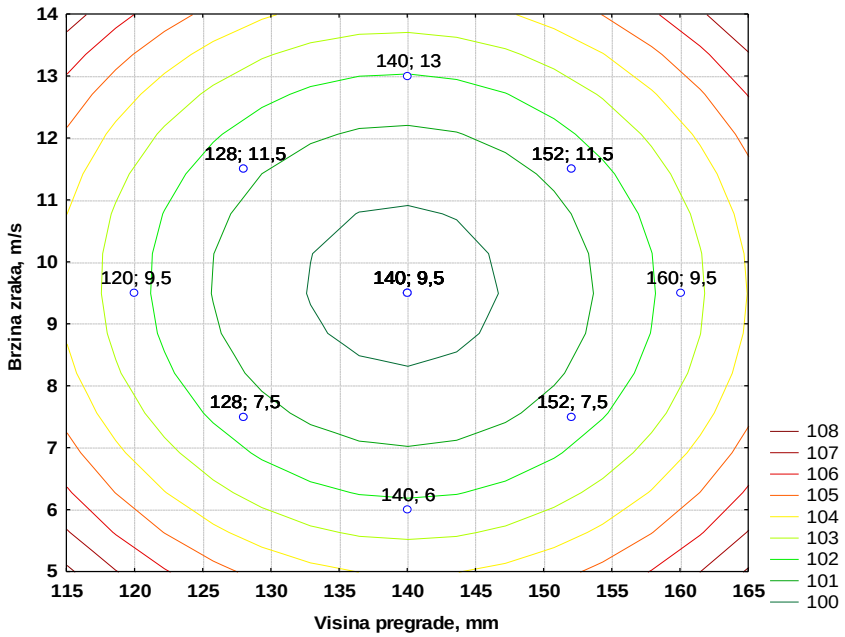
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta Koncentrata % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,0521	1	0,0521	0,001625	0,968973
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,1378	1	0,1378	0,004300	0,949548
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	115,1976	1	115,1976	3,595757	0,099755
Visina pregrade, mm (Q)	10,4594	1	10,4594	0,326477	0,585611
Brzina zraka, m/s (Q)	8,1377	1	8,1377	0,254009	0,629738
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	119,8407	1	119,8407	3,740685	0,094353
1L by 2L	0,0091	1	0,0091	0,000284	0,987015
1L by 3L	0,0010	1	0,0010	0,000032	0,995671
2L by 3L	0,0091	1	0,0091	0,000284	0,987015
Pogreška *(Eror)*	224,2596	7	32,0371		
Total SS	530,8492	16			



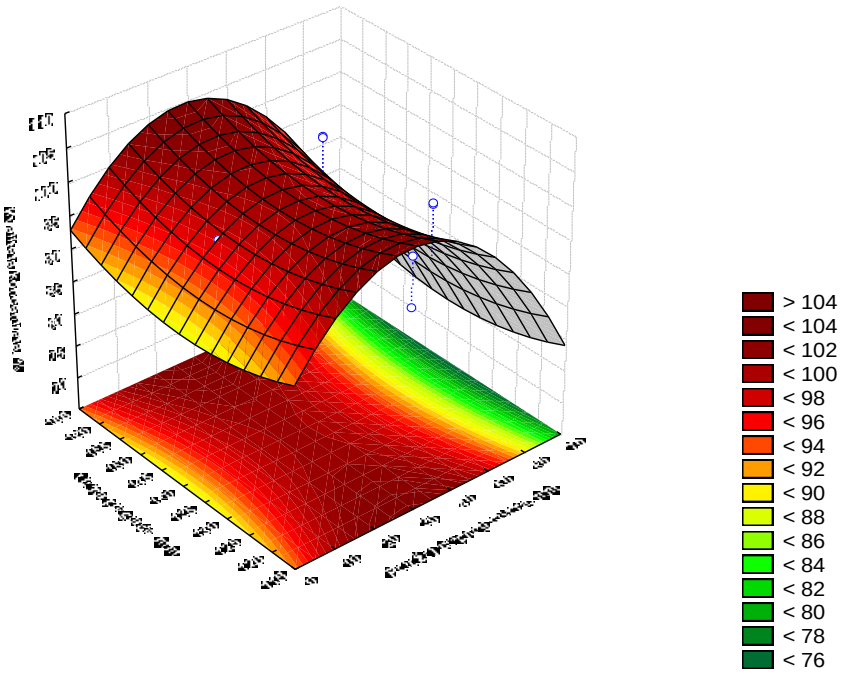
Grafikon 4 – 13 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



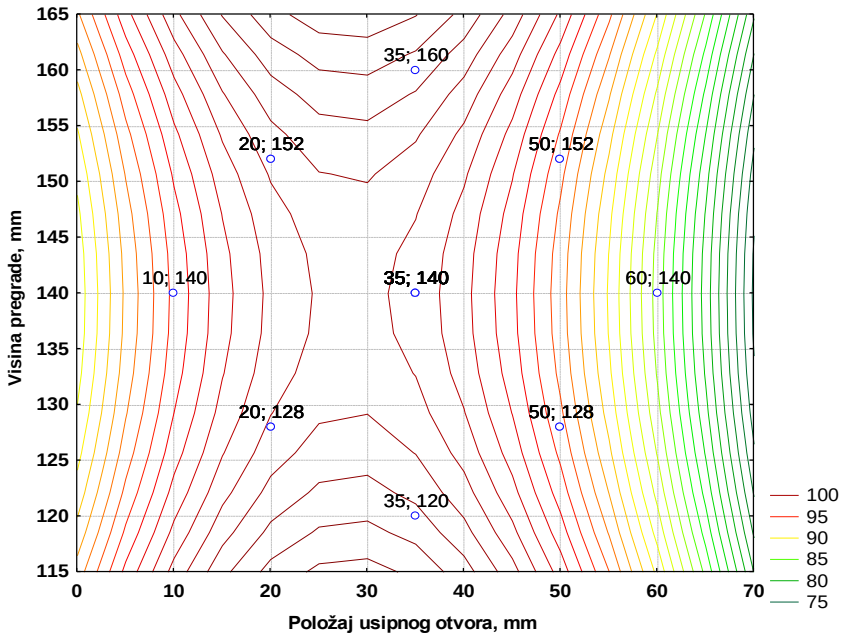
Slika 4 – 107 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



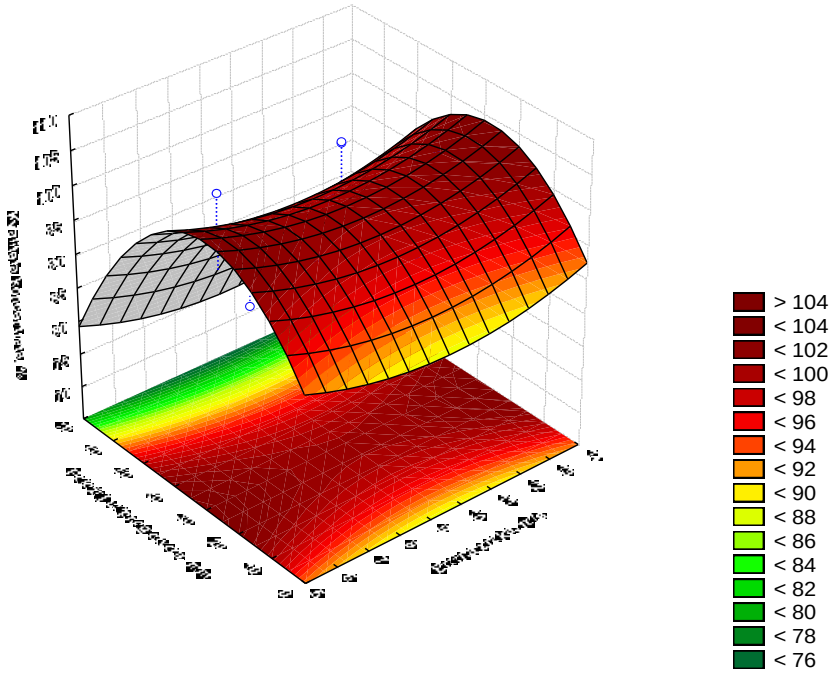
Slika 4 – 108 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



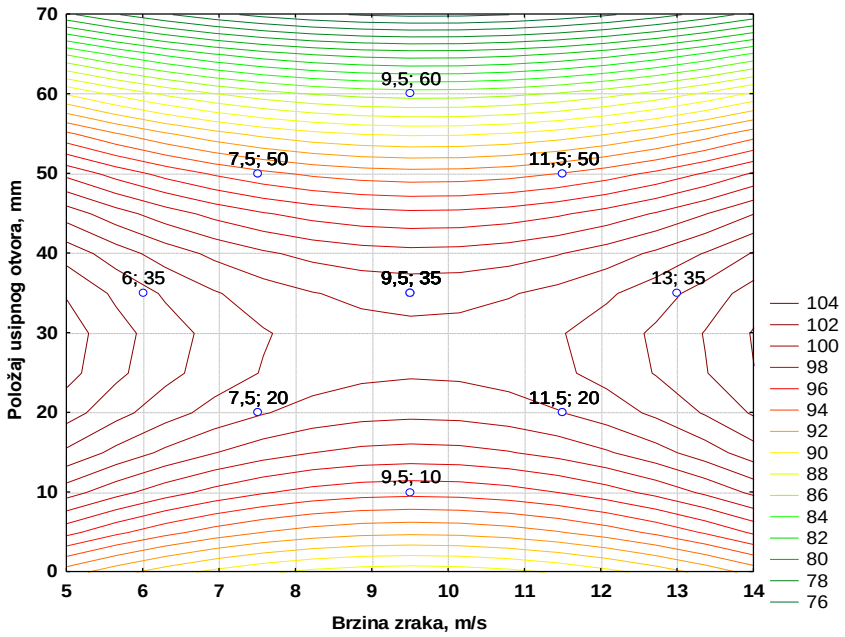
Slika 4 – 109 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 110 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 111 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 112 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 44 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	93,63821	3,323470	28,17483	0,000000	93,63821	3,323470
(1) Visina pregrade, mm (L)	3,56803	3,130632	1,13972	0,291897	1,78402	1,565316
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-4,30832	3,066878	-1,40479	0,202871	-2,15416	1,533439
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-8,69164	3,130632	-2,77632	0,027443	-4,34582	1,565316
Visina pregrade, mm (Q)	2,01237	3,495137	0,57576	0,582804	1,00618	1,747569
Brzina zraka, m/s (Q)	1,54938	3,215214	0,48189	0,644585	0,77469	1,607607
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-5,30283	3,495137	-1,51720	0,173002	-2,65142	1,747569
1L by 2L	1,38000	4,075170	0,33864	0,744815	0,69000	2,037585
1L by 3L	-0,38000	4,075170	-0,09325	0,928320	-0,19000	2,037585
2L by 3L	0,62500	4,075170	0,15337	0,882436	0,31250	2,037585

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 44 dobivamo model masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

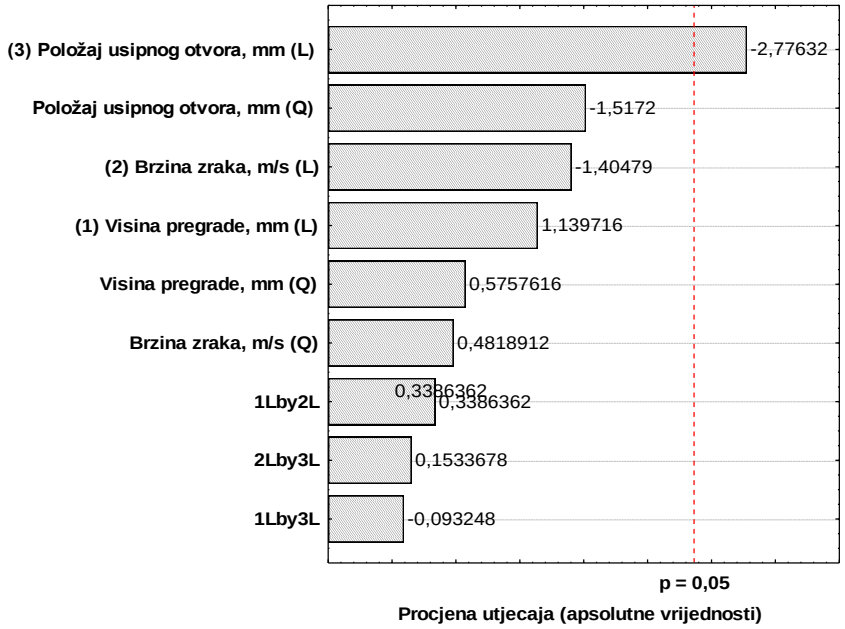
$$\boldsymbol{Y = 3{,}32 + 1{,}57h + 1{,}53v + 1{,}57d + 1{,}75h^2 + 1{,}61v^2 + 1{,}75d^2 + 2{,}04h \cdot v + 2{,}04h \cdot d + 2{,}04v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 44 i 4 – 45, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 14.

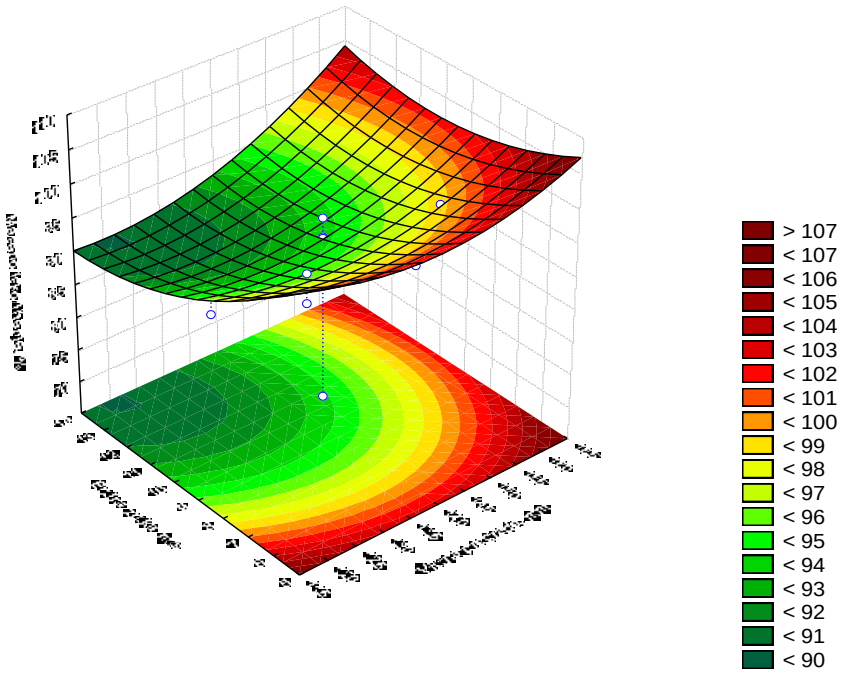
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 113, 4 – 115 i 4 – 117) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 114, 4 – 116 i 4 – 118) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 45 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

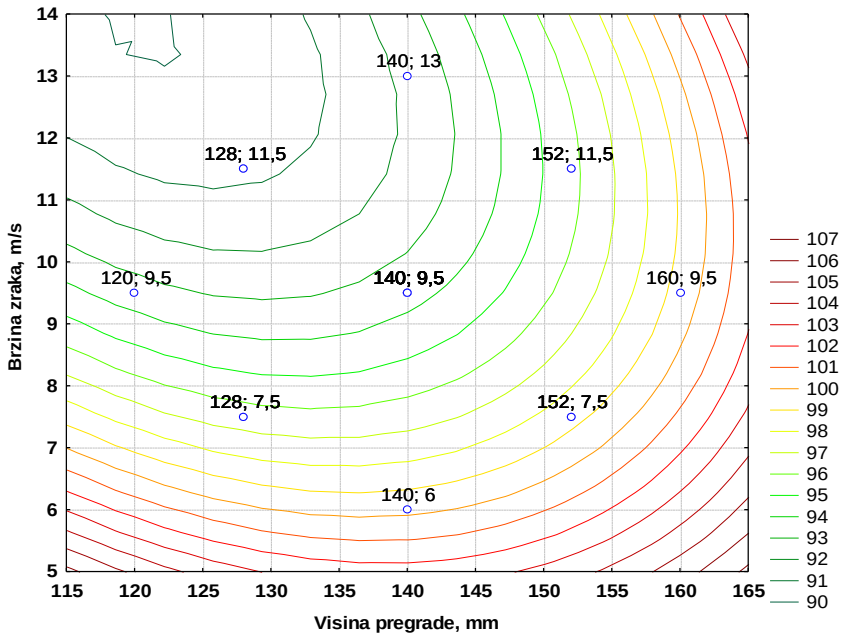
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	43,1435	1	43,1435	1,298953	0,291897
(2) Brzina zraka, m/s (L)	65,5457	1	65,5457	1,973434	0,202871
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	256,0122	1	256,0122	7,707957	0,027443
Visina pregrade, mm (Q)	11,0105	1	11,0105	0,331501	0,582804
Brzina zraka, m/s (Q)	7,7129	1	7,7129	0,232219	0,644585
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	76,4555	1	76,4555	2,301906	0,173002
1L by 2L	3,8088	1	3,8088	0,114674	0,744815
1L by 3L	0,2888	1	0,2888	0,008695	0,928320
2L by 3L	0,7813	1	0,7813	0,023522	0,882436
Pogreška *(Eror)*	232,4981	7	33,2140		
Total SS	735,9194	16			



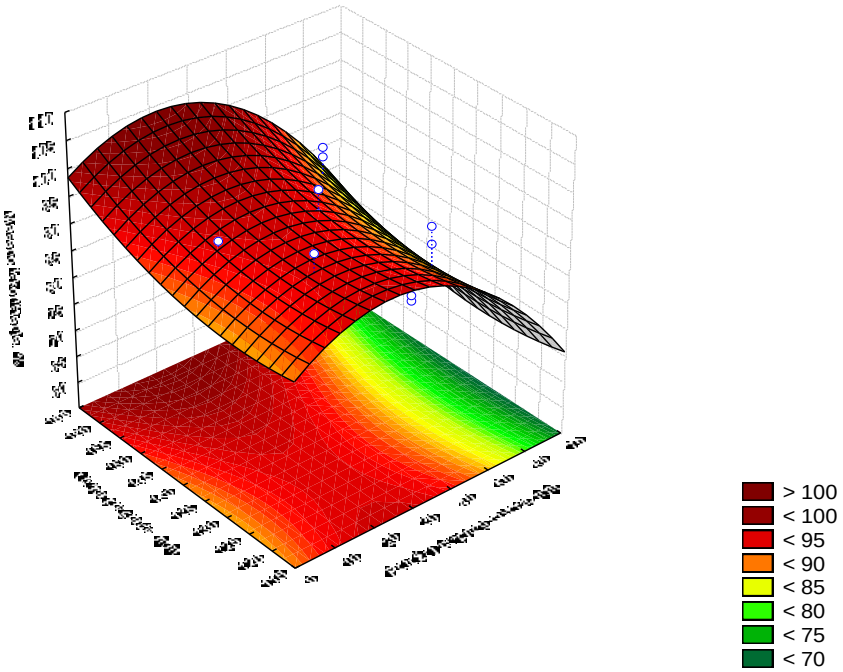
Grafikon 4 – 14 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



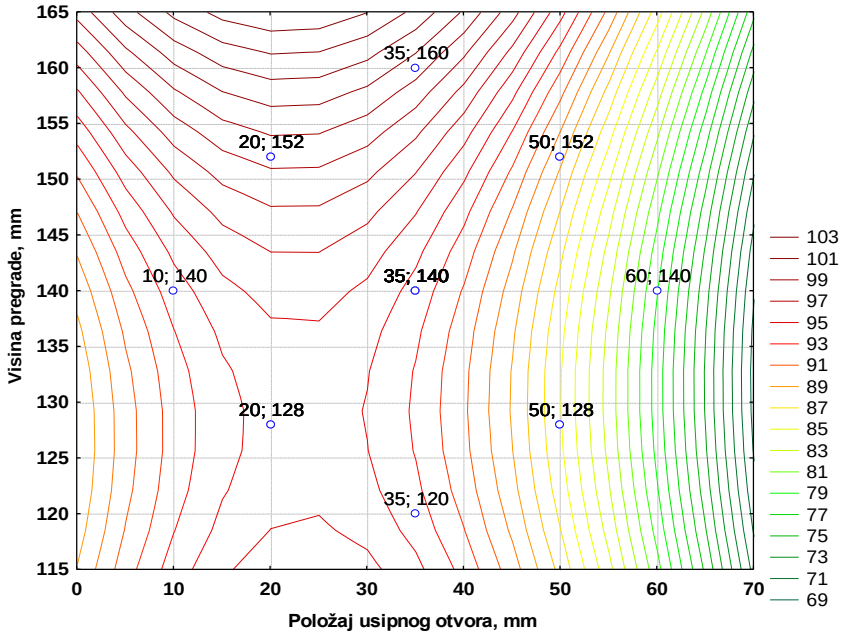
Slika 4 – 113 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



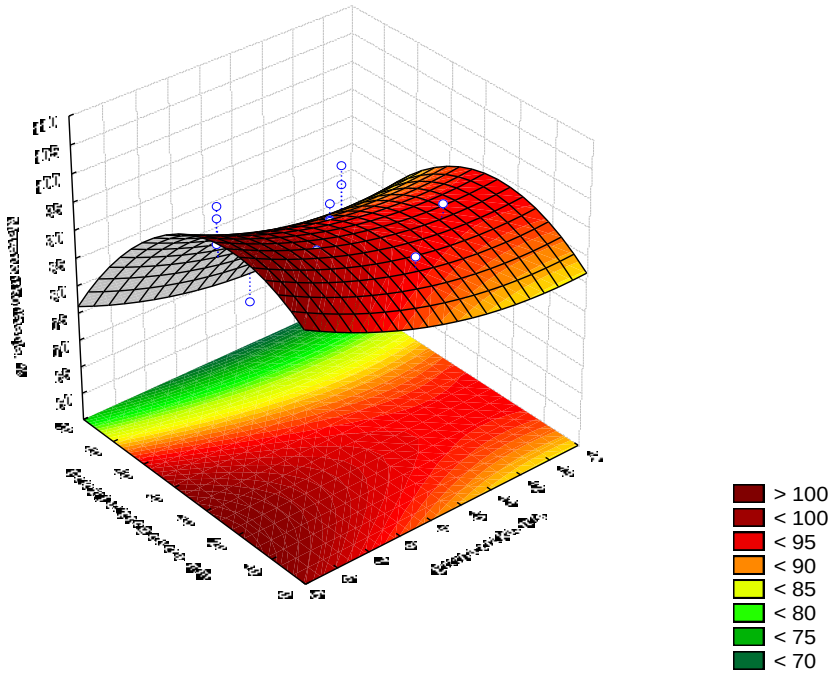
Slika 4 – 114 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



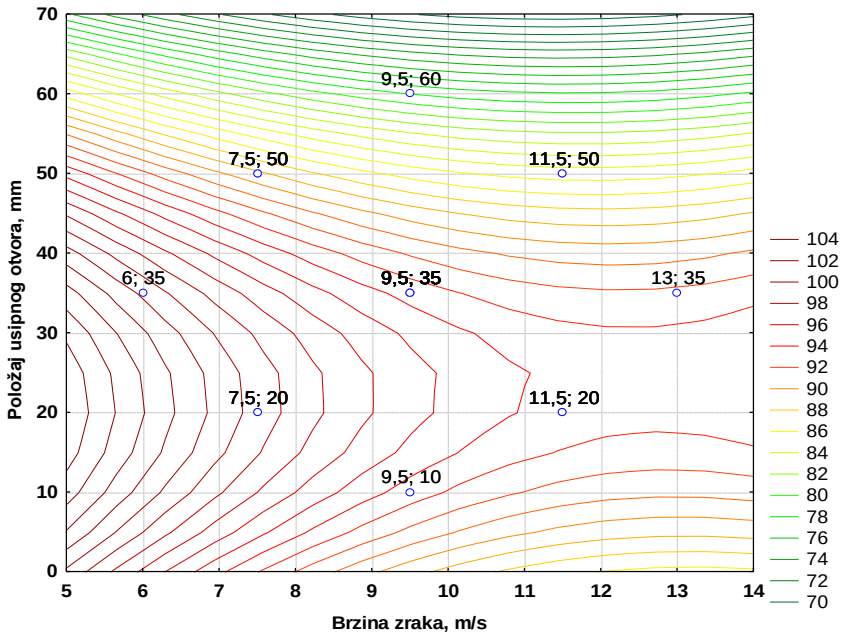
Slika 4 – 115 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 116 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 117 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 118 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

4.5.3.4. Ispitivanje klase -0,5 mm

Skraćivanjem uzorka pripremljen je uzorak za ispitivanje klase -0,5 mm, mase od 50 g koji je ručnim probiranjem analiziran na sadržaj korisne (željezo, bakar, aluminij i mesing) i nekorisne (guma, plastika i papir) komponente. Nakon ručnog izdvajanja korisne od nekorisne komponente utvrđeno je da maseni udio korisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 41,66%, a maseni udio nekorisne komponente u ulaznom uzorku iznosi 58,34 %.

Rezultati ispitivanja klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 46.

Tablica 4 – 46 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm	KVALITETA KONCENTRATA %	MASENO ISKORIŠTENJE %
1	128	7,5	20	100,00	73,21
2	128	11,5	50	100,00	68,95
3	152	7,5	50	100,00	80,65
4	152	11,5	20	100,00	81,40
5(c)	140	9,5	35	100,00	66,85
6	128	7,5	50	100,00	69,60
7	128	11,5	20	100,00	72,35
8	152	7,5	20	100,00	82,91
9	152	11,5	50	100,00	78,92
10(c)	140	9,5	35	100,00	74,23
11	120	9,5	35	100,00	66,58
12	160	9,5	35	100,00	90,73
13	140	6	35	100,00	84,37
14	140	13	35	100,00	70,89
15	140	9,5	10	100,00	82,64
16	140	9,5	60	100,00	66,42
17(c)	140	9,5	35	100,00	72,99

Tablica 4 – 47 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta Koncentrata % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	99,99991	0,001379	72536,14	0,000000	99,99991	0,001379
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,00000	0,001299	0,00	1,000000	0,00000	0,000649
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,00000	0,001272	0,00	1,000000	0,00000	0,000636
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-0,00246	0,001299	-1,89	0,100152	-0,00123	0,000649
Visina pregrade, mm (Q)	0,00082	0,001450	0,57	0,588903	0,00041	0,000725
Brzina zraka, m/s (Q)	0,00068	0,001334	0,51	0,625376	0,00034	0,000667
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-0,00278	0,001450	-1,92	0,096786	-0,00139	0,000725
1L by 2L	0,00000	0,001690	0,00	1,000000	0,00000	0,000845
1L by 3L	0,00000	0,001690	0,00	1,000000	0,00000	0,000845
2L by 3L	0,00000	0,001690	0,00	1,000000	0,00000	0,000845

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 47 dobivamo model ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

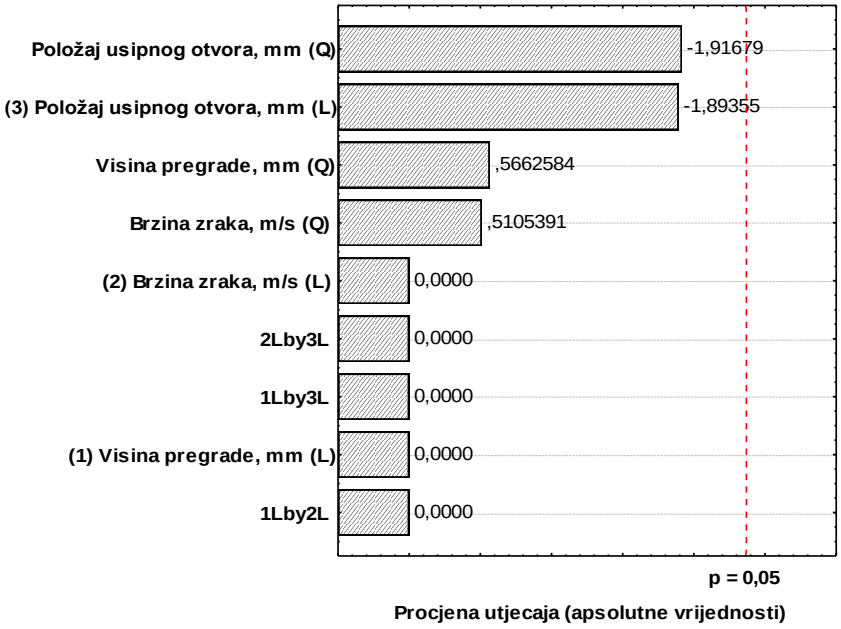
$$\boldsymbol{Y = 0{,}0013 + 0{,}0006h + 0{,}0006v + 0{,}0006d - 0{,}0007h^2 + 0{,}0007\,v^2 + 0{,}0007d^2 + 0{,}0008h \cdot v + 0{,}0008h \cdot d + 0{,}0008v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 47 i 4 – 48 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 15).

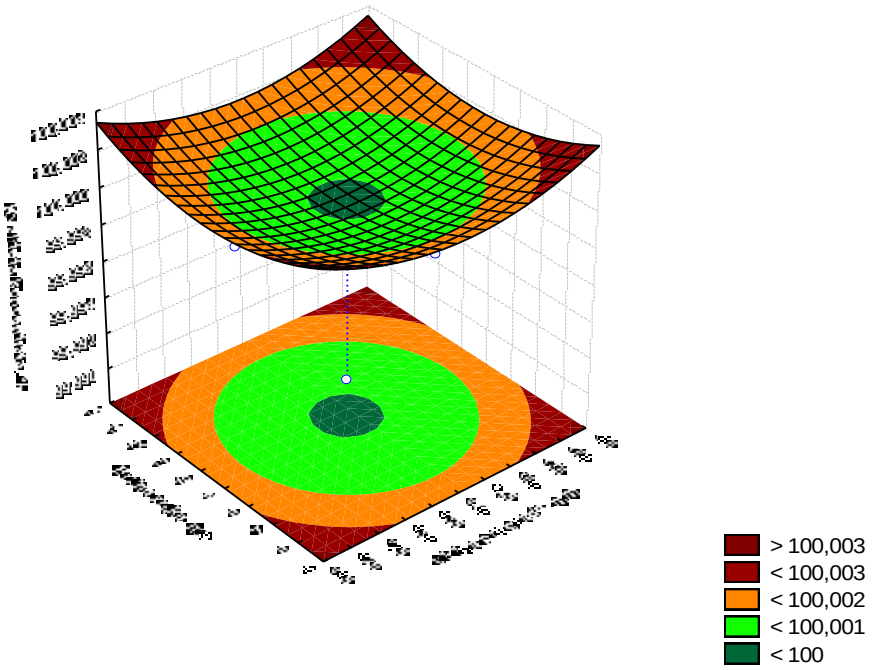
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 3,15/2 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 119, 4 – 121 i 4 – 123) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 120, 4 – 122 i 4 – 124) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 48 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

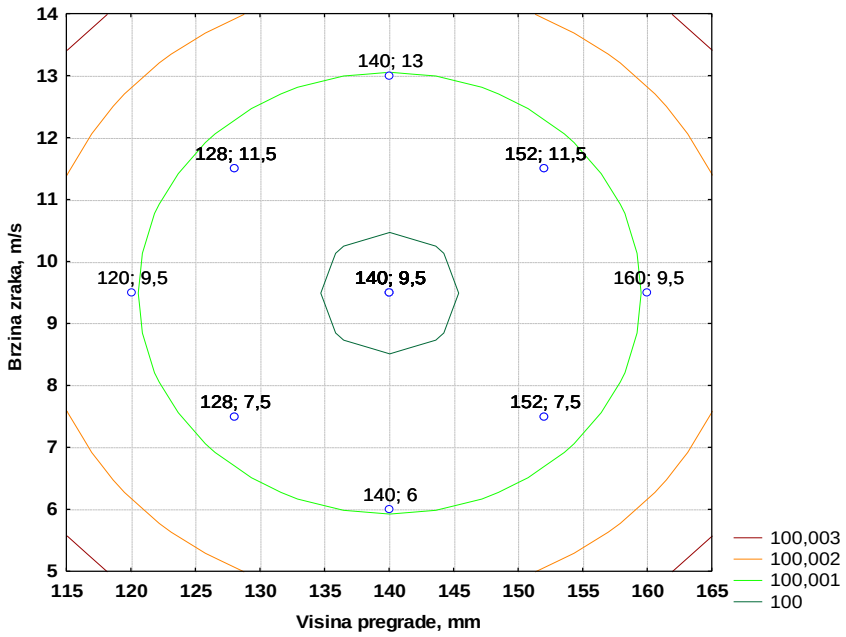
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta Koncentrata % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,000000	1	0,000000	0,000000	1,000000
(2) Brzina zraka, m/s (L)	0,000000	1	0,000000	0,000000	1,000000
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	0,000020	1	0,000020	3,585518	0,100152
Visina pregrade, mm (Q)	0,000002	1	0,000002	0,320649	0,588903
Brzina zraka, m/s (Q)	0,000001	1	0,000001	0,260650	0,625376
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	0,000021	1	0,000021	3,674076	0,096786
1L by 2L	0,000000	1	0,000000	0,000000	1,000000
1L by 3L	0,000000	1	0,000000	0,000000	1,000000
2L by 3L	0,000000	1	0,000000	0,000000	1,000000
Pogreška *(Eror)*	0,000040	7	0,000006		
Total SS	0,000094	16			



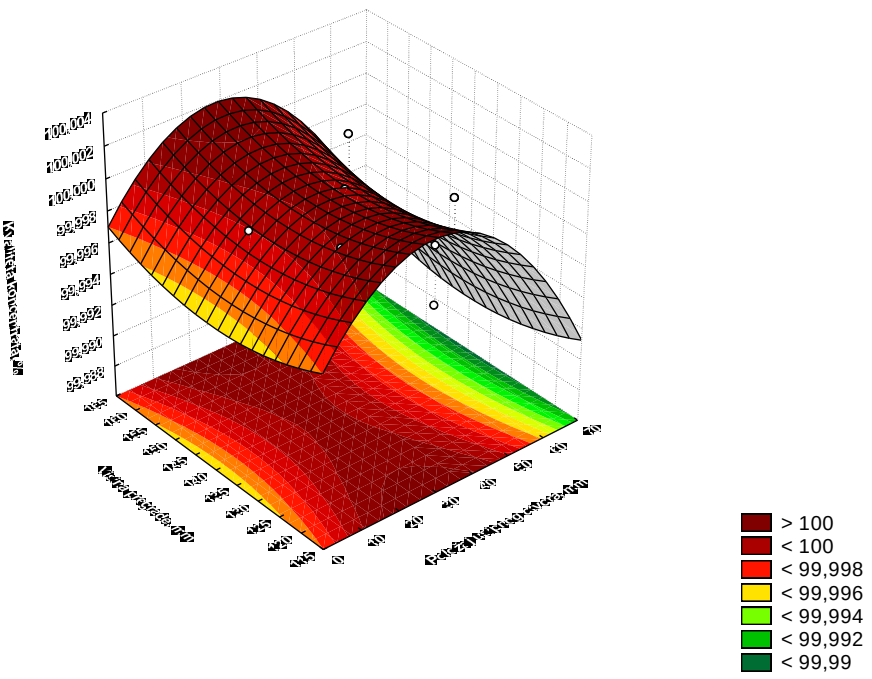
Grafikon 4 – 15 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



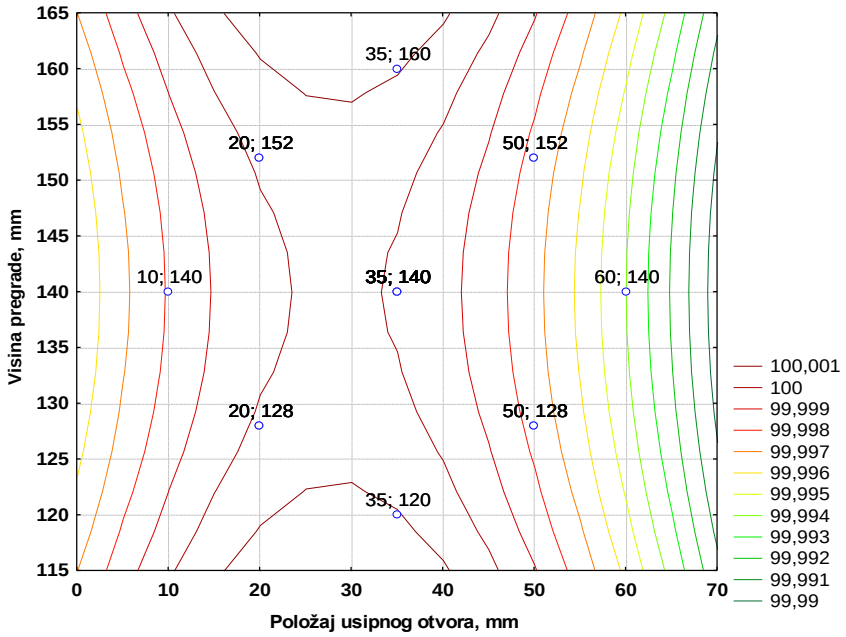
Slika 4 – 119 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



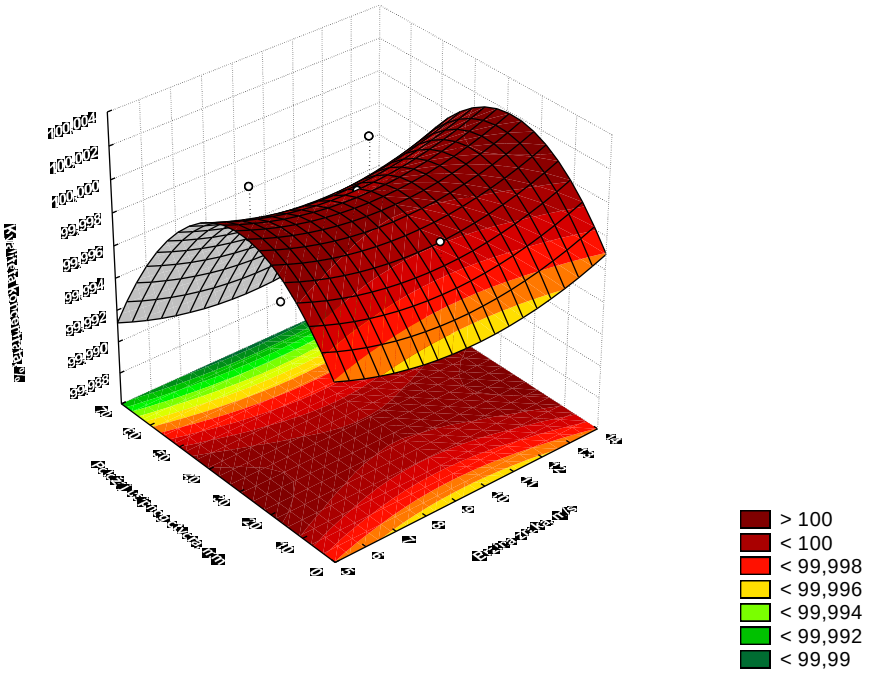
Slika 4 – 120 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



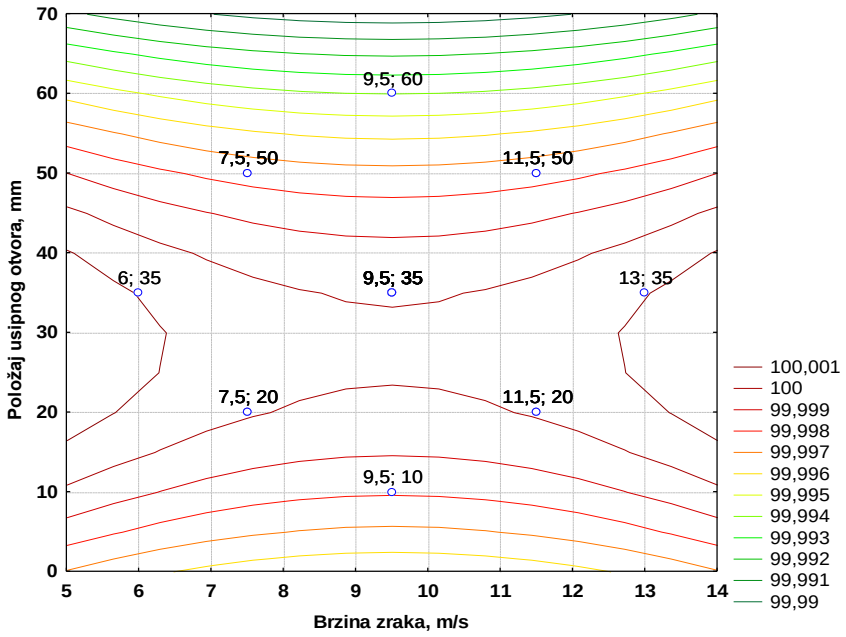
Slika 4 – 121 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora– grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 122 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 123 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 124 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 49 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	71,41577	2,459648	29,03496	0,000000	71,41577	2,459648
(1) Visina pregrade, mm (L)	11,80623	2,316932	5,09563	0,001406	5,90311	1,158466
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-4,01274	2,269749	-1,76792	0,120401	-2,00637	1,134874
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-5,72213	2,316932	-2,46970	0,042852	-2,86107	1,158466
Visina pregrade, mm (Q)	4,71836	2,586697	1,82409	0,110903	2,35918	1,293348
Brzina zraka, m/s (Q)	3,65195	2,379530	1,53474	0,168722	1,82597	1,189765
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	1,74836	2,586697	0,67590	0,520799	0,87418	1,293348
1L by 2L	-0,43250	3,015970	-0,14340	0,890013	-0,21625	1,507985
1L by 3L	0,56750	3,015970	0,18817	0,856086	0,28375	1,507985
2L by 3L	-0,00250	3,015970	-0,00083	0,999362	-0,00125	1,507985

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti iz tablice 4 – 49 dobivamo model ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

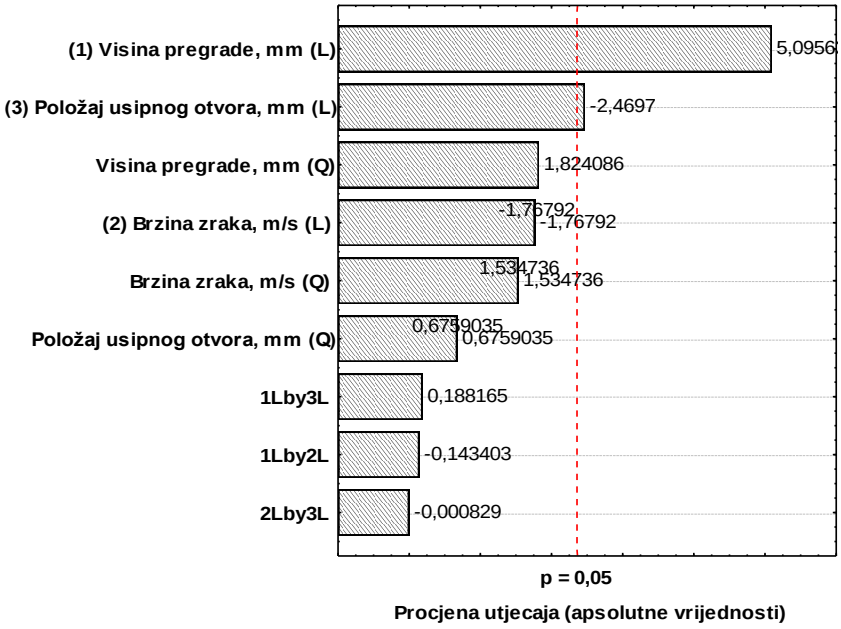
$$\boldsymbol{Y = 2{,}46 + 1{,}16h + 1{,}13v + 1{,}16d - 1{,}29h^2 + 1{,}19\,v^2 + 1{,}29d^2 + 1{,}51h \cdot v + 1{,}51h \cdot d + 1{,}51v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 49 i 4 – 50, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 16.

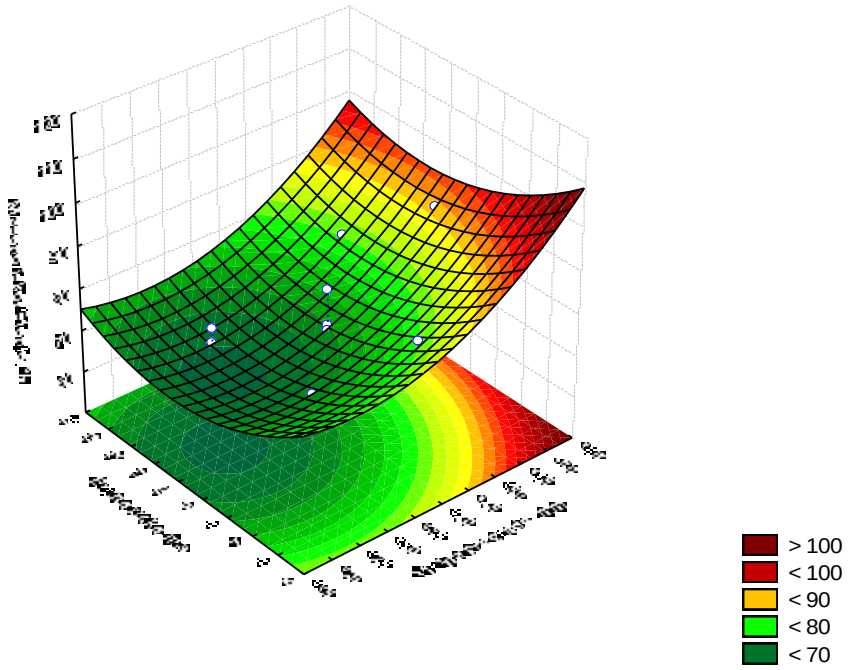
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 125, 4 – 127 i 4 – 129) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 126, 4 – 128 i 4 – 130) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 50 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

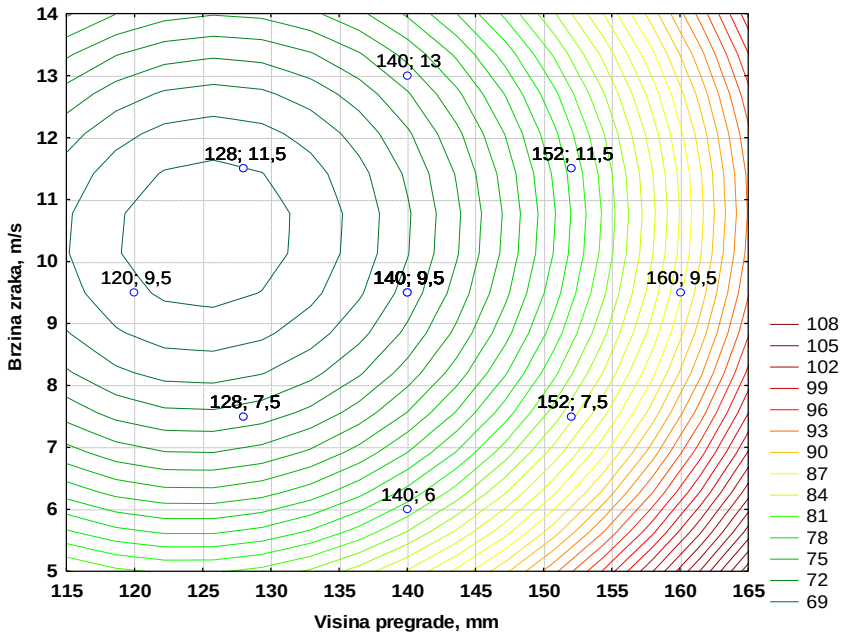
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	P
(1) Visina pregrade, mm (L)	472,3672	1	472,3672	25,96545	0,001406
(2) Brzina zraka, m/s (L)	56,8606	1	56,8606	3,12556	0,120401
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	110,9617	1	110,9617	6,09943	0,042852
Visina pregrade, mm (Q)	60,5305	1	60,5305	3,32729	0,110903
Brzina zraka, m/s (Q)	42,8500	1	42,8500	2,35541	0,168722
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	8,3110	1	8,3110	0,45685	0,520799
1L by 2L	0,3741	1	0,3741	0,02056	0,890013
1L by 3L	0,6441	1	0,6441	0,03541	0,856086
2L by 3L	0,0000	1	0,0000	0,00000	0,999362
Pogreška *(Eror)*	127,3450	7	18,1921		
Total SS	848,4238	16			



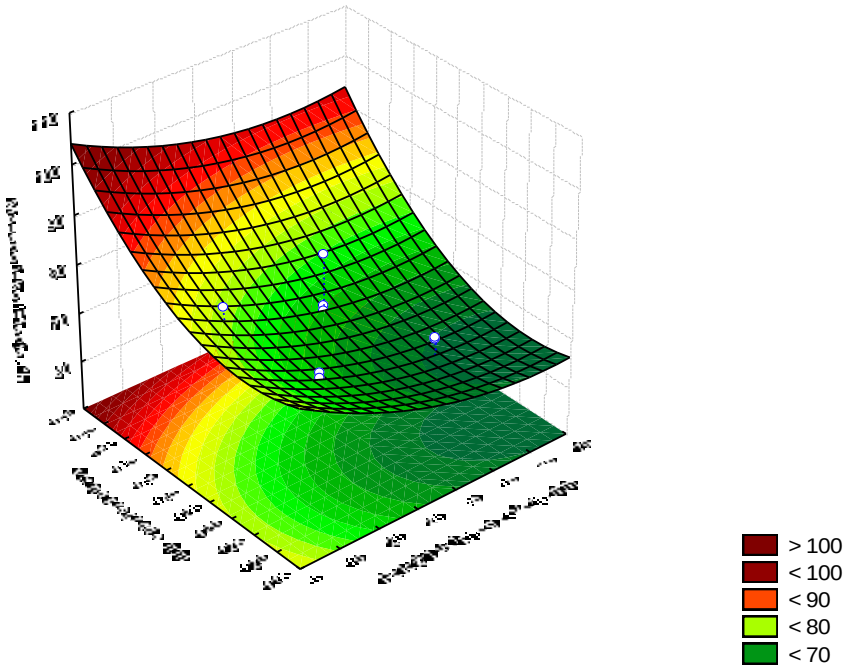
Grafikon 4 – 16 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



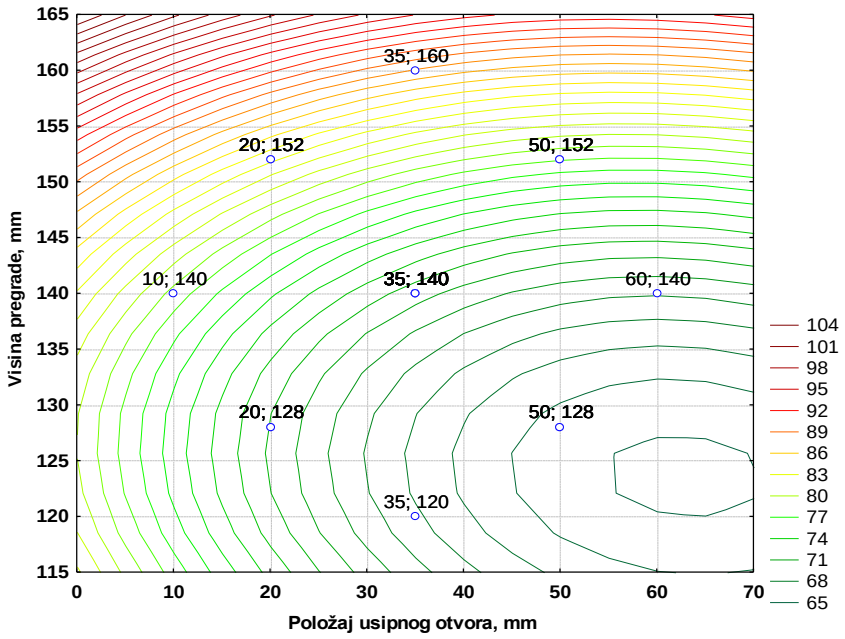
Slika 4 – 125 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



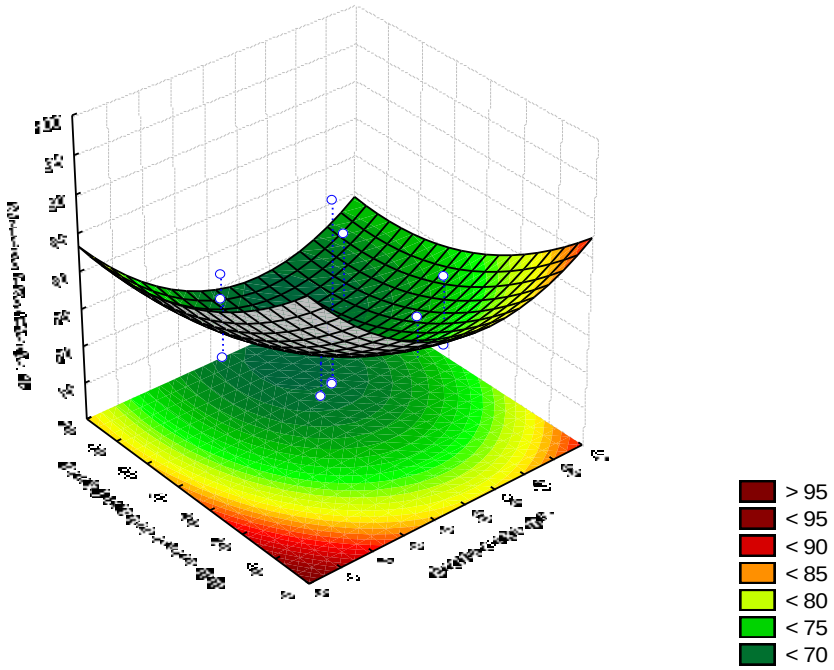
Slika 4 – 126 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“



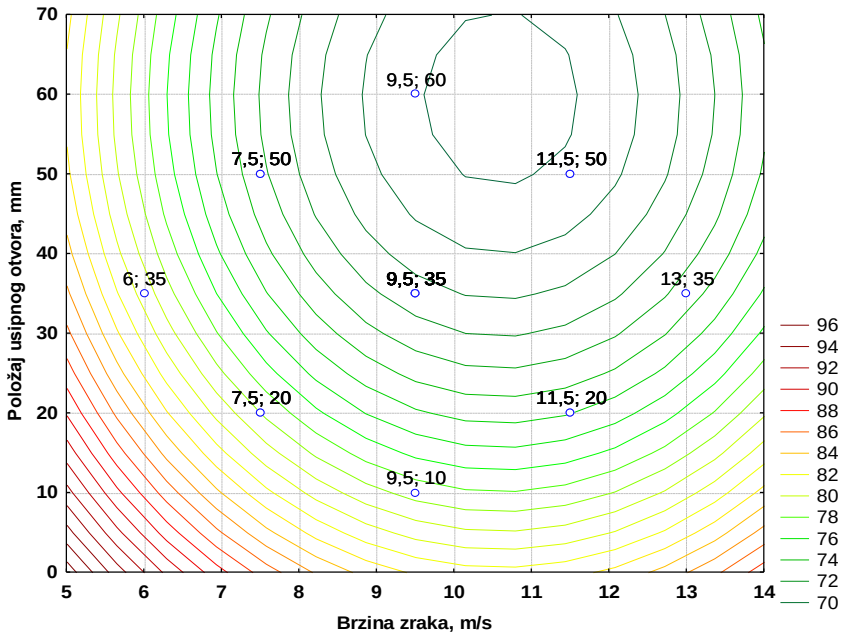
Slika 4 – 127 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 128 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 129 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 130 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“

4.5.4. Separiranje u elektrostatičkom separatoru

Separiracijom u zračnoj struji izdvojeni su aluminijska folija, te sitna zrna papira i plastike, a separiranjem u elektrostatičkom separatoru u sljedećoj fazi testiranja nastojat će se iz preostalog materijala separirati metali (željezo, bakar, aluminij i mesing) kao produkt koji se naziva „vodiči“ od nemetala (guma, plastika) koji bi se trebali nalaziti u produktu koji se naziva „nevodiči“.

Planom testiranja kao i u poglavlju 4.3.5. su definirane kombinacije vrijednosti radnih parametara pri kojima se provode testovi slika 4 – 51. Središnje vrijednosti nezavisnih varijabli (α_o, ω_o, U_o) i koraci između njih (c_α, c_ω, c_U) iznose:

α_o = 120 ° c_α = 9°

ω_o = 63 m/min c_ω = 8 m/min

U_o = 20 kV c_U = 3 kV

Tablica 4 – 51 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli za elektrostatički separator – grupa „OSKKŽ“

x' Kodirana vrijednost	**x** Stvarna vrijednost		
	$\alpha = x_1$ Nagib separacijskog noža (°)	**$\omega = x_2$** Brzina okretanja bubnja (m/min)	**$U = x_3$** Jakost napona na elektrodi (kV)
-1.68179	105	50	15
-1.00000	111	55	17
0.00000	120	63	20
1.00000	129	71	23
1.68179	135	76	25

4.5.4.1. Ispitivanje klase 4/2 mm

Testiranje je provedeno na uzorcima mase 85 grama koji su ručnim probiranjem analizirani na sadržaj korisne i nekorisne komponente u ulazu. Analiza je pokazala da maseni udio korisne komponente (željezo, bakar, aluminij i mesing) u ulaznom uzorku iznosi 64,50 % , a maseni udio nekorisne komponente (guma i plastika) u ulaznom uzorku iznosi 35,50 %.

Rezultati ispitivanja klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ u elektrostatičkom separatoru prikazani su u tablici 4 – 52.

Tablica 4 – 52 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	**Položaj separac. noža °**	**Brzina bubnja m/min**	**Napon ionizacijske elektrode kV**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	111	55	17	17,16	11,50
2	111	71	23	3,58	2,60
3	129	55	23	97,16	67,60
4	129	71	17	97,01	74,30
5(c)	120	63	20	53,58	37,00
6	111	55	23	11,34	7,60
7	111	71	17	3,73	2,50
8	129	55	17	61,19	41,40
9	129	71	23	95,97	72,60
10(c)	120	63	20	62,84	42,10
11	105	63	20	4,93	3,30
12	135	63	20	98,21	82,50
13	120	50	20	52,39	35,10
14	120	76	20	64,63	45,00
15	120	63	15	33,13	26,70
16	120	63	25	56,57	38,70
17(c)	120	63	20	59,25	40,00

Tablica 4 – 53 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja kvalitete koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	58,8259	6,047546	9,72723	0,000026	58,82590	6,047546
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	69,4898	5,718226	12,15234	0,000006	34,74492	2,859113
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	5,0191	5,776975	0,86881	0,413744	2,50955	2,888488
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	10,0367	5,718226	1,75522	0,122656	5,01836	2,859113
Položaj separac. noža, ° (Q)	-6,2848	6,322126	-0,99410	0,353287	-3,14241	3,161063
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	-1,4129	6,591234	-0,21436	0,836380	-0,70644	3,295617
Napon na elektrodi, kV (Q)	-11,1232	6,322126	-1,75941	0,121907	-5,56161	3,161063
1L by 2L	13,9550	7,443462	1,87480	0,102949	6,97750	3,721731
1L by 3L	10,2250	7,443462	1,37369	0,211913	5,11250	3,721731
2L by 3L	-7,8350	7,443462	-1,05260	0,327496	-3,91750	3,721731

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 53 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

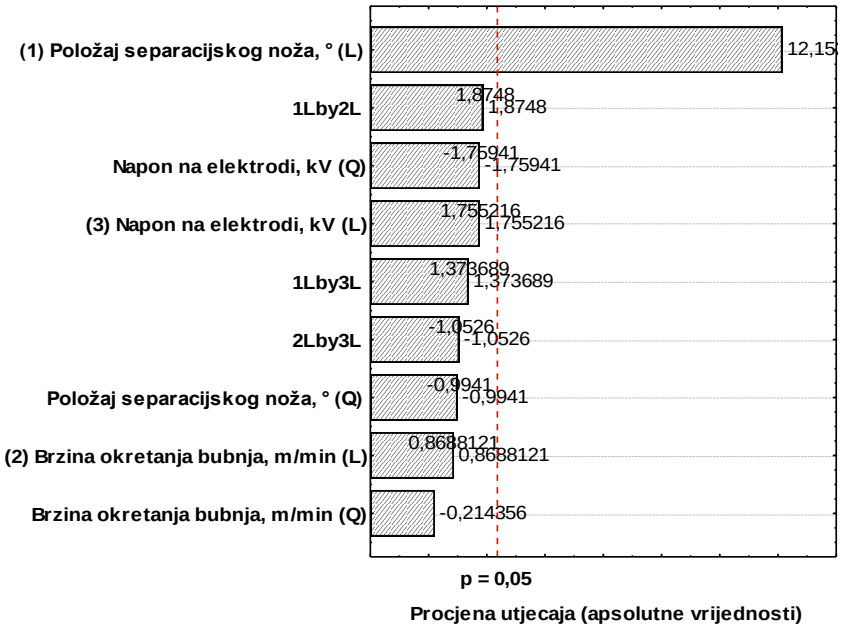
$$\boldsymbol{Y = 6{,}05 + 2{,}86\alpha + 2{,}89\omega + 2{,}86U + 3{,}16\alpha^2 + 3{,}30\omega^2 + 3{,}16U^2 + 3{,}72\alpha\cdot\omega + 3{,}72\alpha\cdot U + 3{,}72\omega\cdot U}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 53 i 4 – 54 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 17).

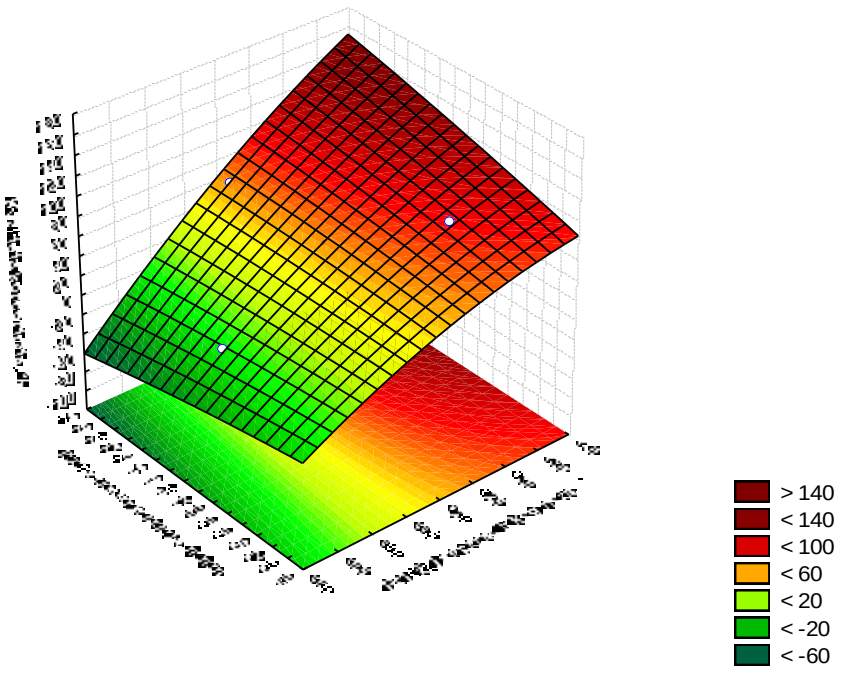
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 131, 4 – 133 i 4 – 135) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 132, 4 – 134 i 4 – 136) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 54 Analiza varijance centralno složenog plana kvalitete koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

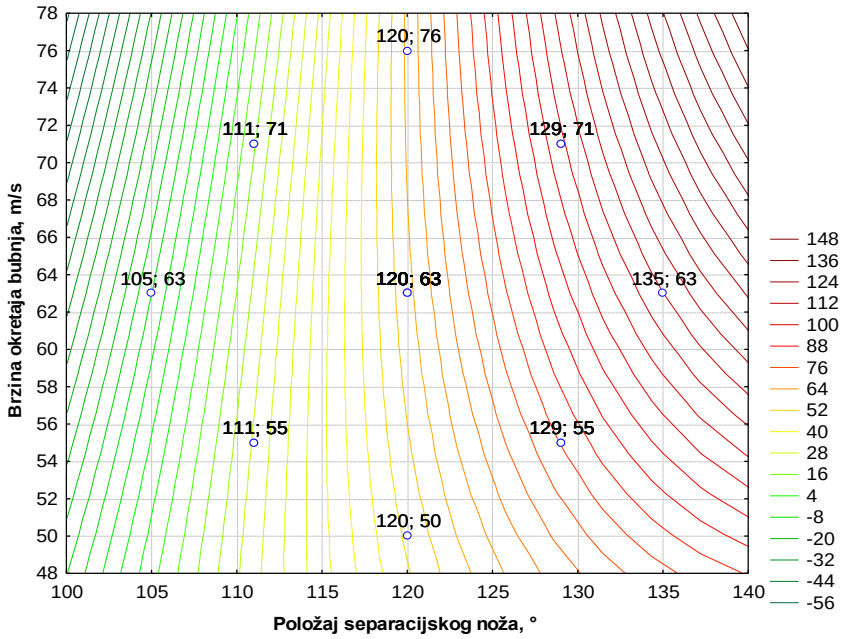
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	16364,39	1	16364,39	147,6794	0,000006
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	83,64	1	83,64	0,7548	0,413744
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	341,38	1	341,38	3,0808	0,122656
Položaj separac. noža, ° (Q)	109,51	1	109,51	0,9882	0,353287
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	5,09	1	5,09	0,0459	0,836380
Napon na elektrodi, kV (Q)	343,02	1	343,02	3,0955	0,121907
1L by 2L	389,48	1	389,48	3,5149	0,102949
1L by 3L	209,10	1	209,10	1,8870	0,211913
2L by 3L	122,77	1	122,77	1,1080	0,327496
Pogreška *(Eror)*	775,67	7	110,81		
Total SS	18677,29	16			



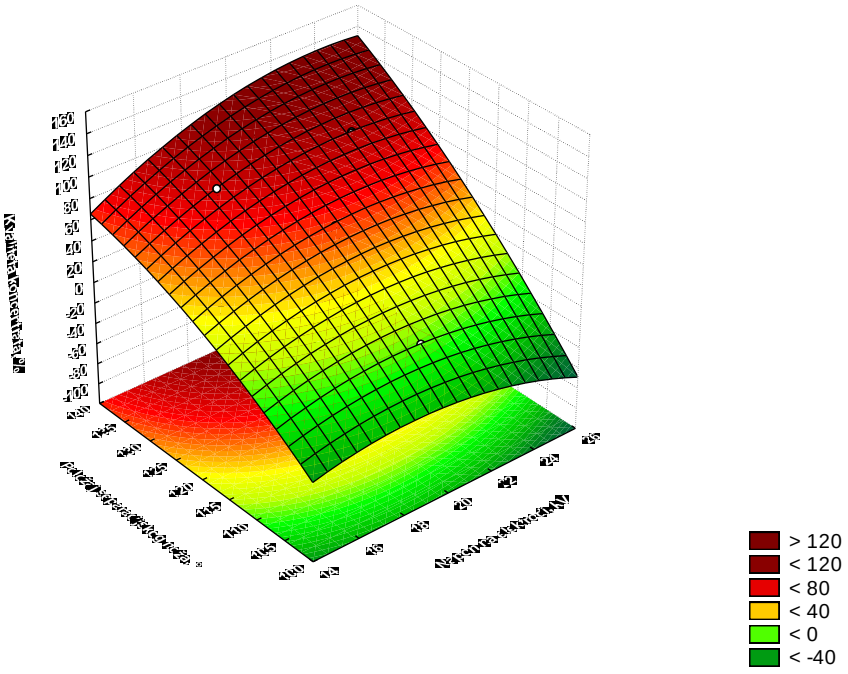
Grafikon 4 – 17 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“



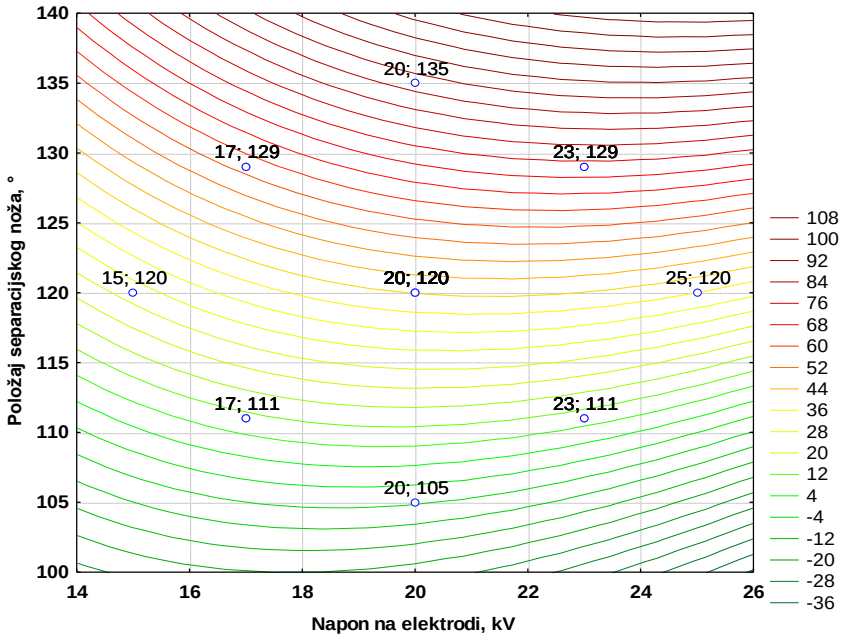
Slika 4 – 131 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



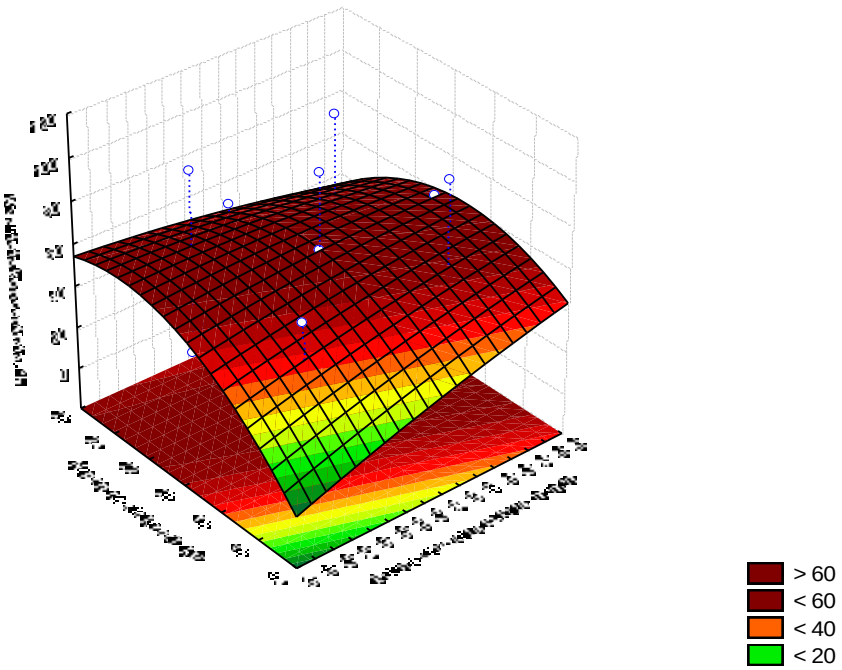
Slika 4 – 132 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



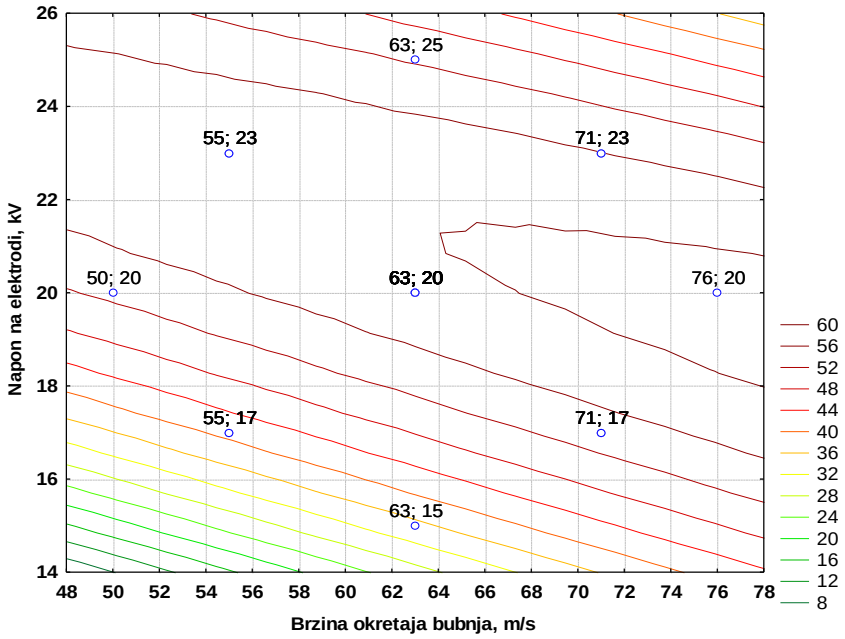
Slika 4 – 133 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 134 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi– grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 135 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 136 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 55 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	40,04462	3,558809	11,25225	0,000010	40,04462	3,558809
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	53,66066	3,365014	15,94664	0,000001	26,83033	1,682507
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	6,02165	3,399586	1,77129	0,119811	3,01082	1,699793
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	6,00492	3,365014	1,78452	0,117517	3,00246	1,682507
Položaj separac. noža, ° (Q)	0,69832	3,720392	0,18770	0,856435	0,34916	1,860196
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-1,49816	3,878754	-0,38625	0,710785	-0,74908	1,939377
Napon na elektrodi, kV (Q)	-6,64568	3,720392	-1,78628	0,117213	-3,32284	1,860196
1L by 2L	12,97500	4,380266	2,96215	0,021041	6,48750	2,190133
1L by 3L	7,07500	4,380266	1,61520	0,150302	3,53750	2,190133
2L by 3L	-5,97500	4,380266	-1,36407	0,214780	-2,98750	2,190133

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 55 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

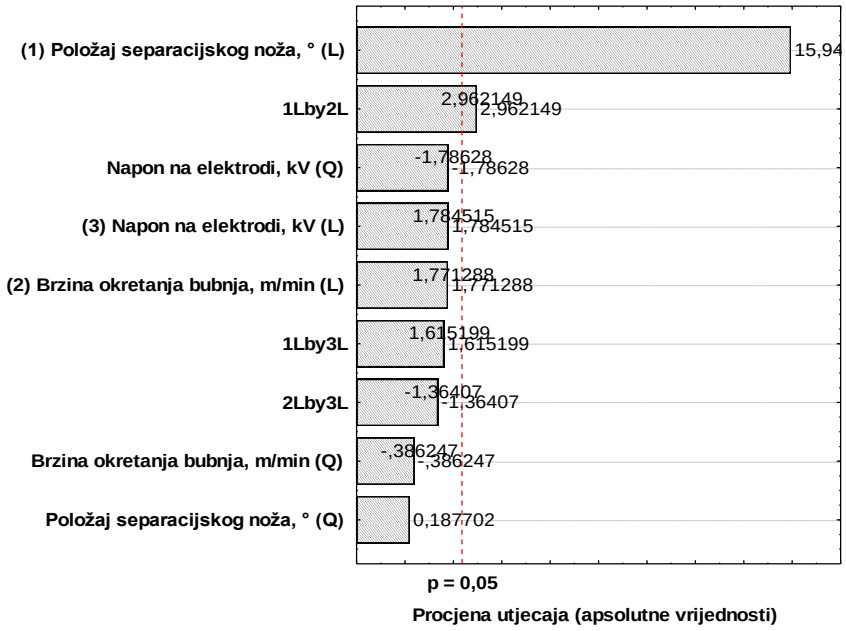
$$\boldsymbol{Y = 3{,}56 + 1{,}68\alpha + 1{,}70\omega + 1{,}68U + 1{,}86\alpha^2 + 1{,}94\omega^2 + 1{,}86U^2 + 2{,}19\alpha\cdot\omega + 2{,}19\alpha\cdot U + 2{,}19\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 55 i 4 – 56, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 18.

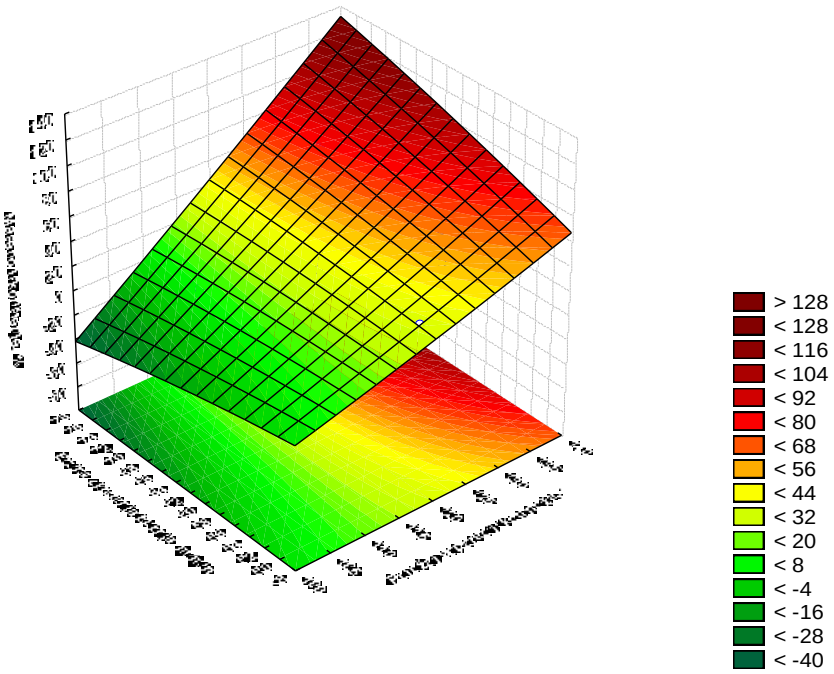
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 137, 4 – 139 i 4 – 141) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 138, 4 – 140 i 4 – 142) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 56 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“

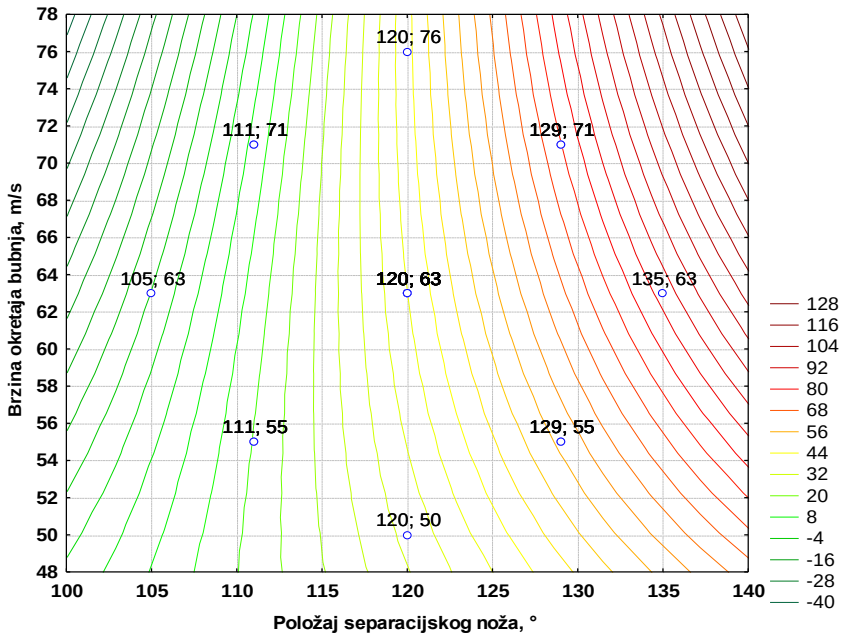
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	9758,19	1	9758,190	254,2953	0,000001
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	120,40	1	120,395	3,1375	0,119811
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	122,20	1	122,200	3,1845	0,117517
Položaj separac. noža, ° (Q)	1,35	1	1,352	0,0352	0,856435
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	5,72	1	5,725	0,1492	0,710785
Napon na elektrodi, kV (Q)	122,44	1	122,442	3,1908	0,117213
1L by 2L	336,70	1	336,701	8,7743	0,021041
1L by 3L	100,11	1	100,111	2,6089	0,150302
2L by 3L	71,40	1	71,401	1,8607	0,214780
Pogreška *(Eror)*	268,61	7	38,373		
Total SS	10920,00	16			



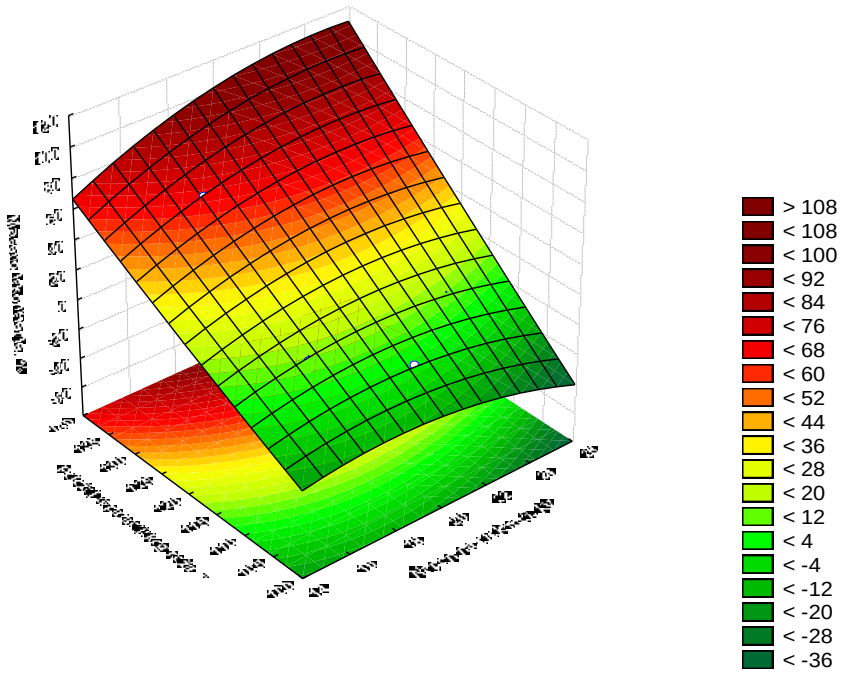
Grafikon 4 - 18 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“



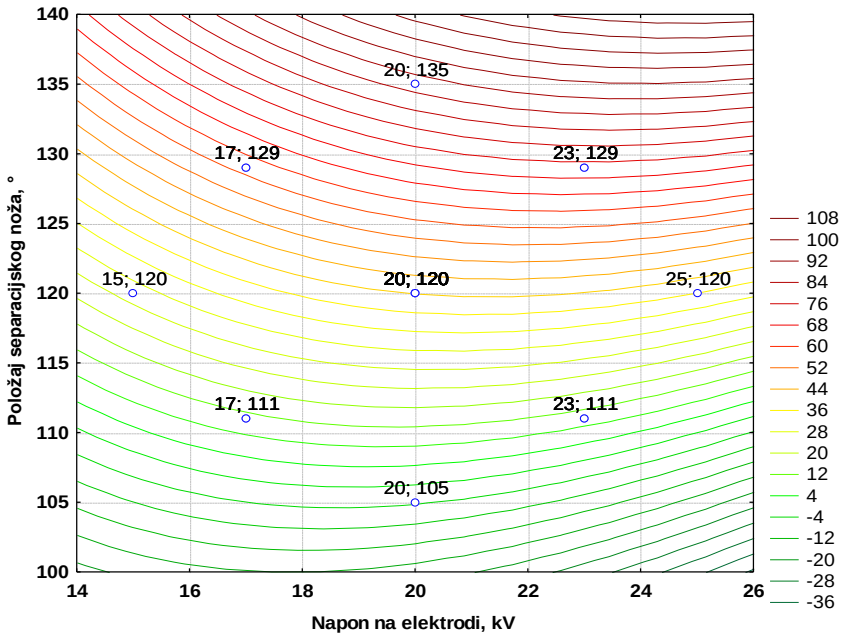
Slika 4 – 137 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



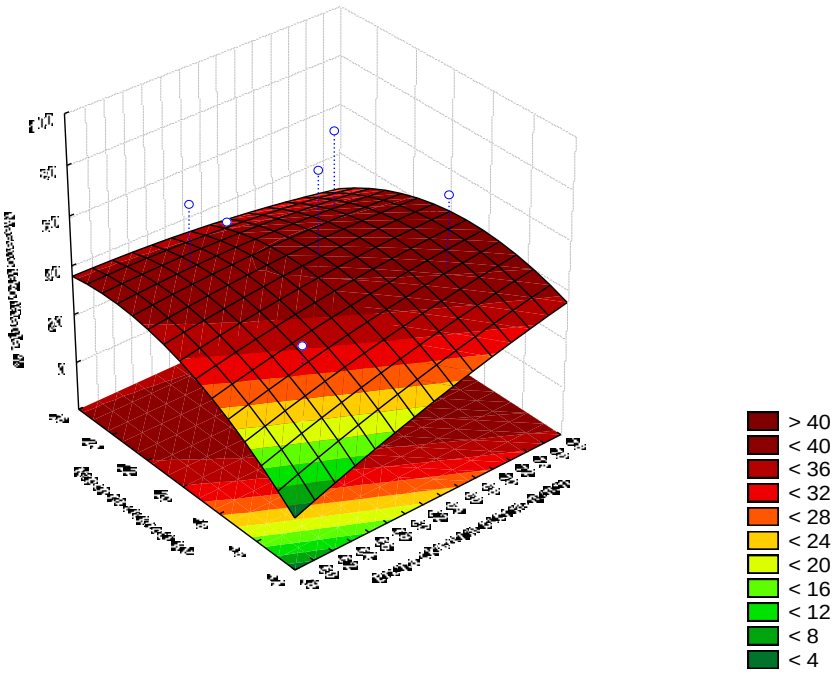
Slika 4 – 138 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



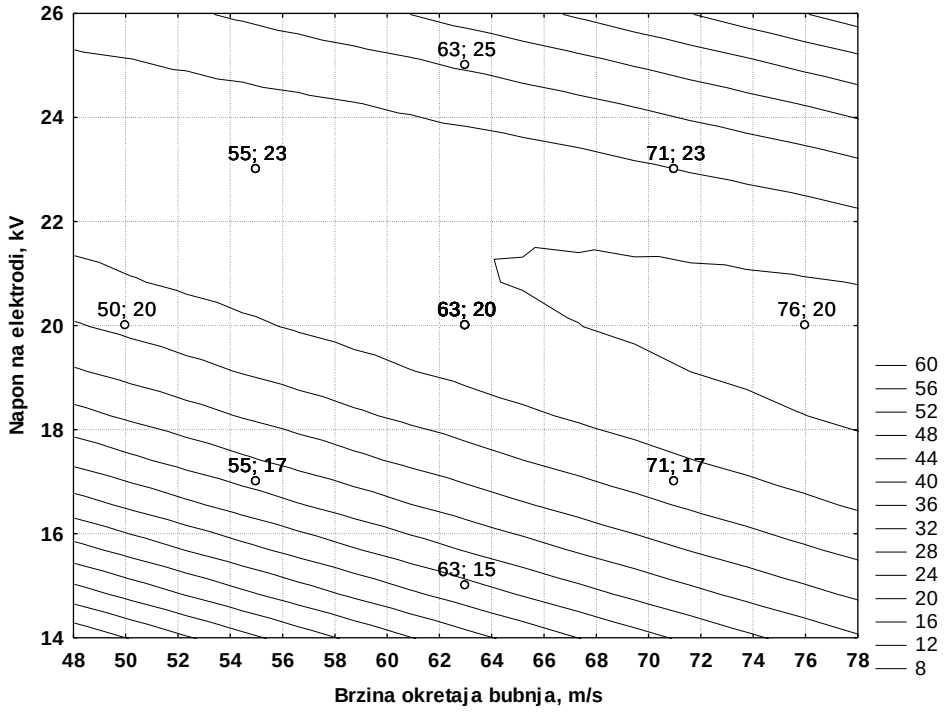
Slika 4 – 139 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 140 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 141 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 142 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“

4.5.4.2. Ispitivanje klase 2/1 mm

Testiranje je provedeno na uzorcima mase 75 g koji su ručnim probiranjem analizirani na sadržaj korisne i nekorisne komponente u ulazu. Analiza je pokazala da maseni udio korisne komponente (željezo, bakar, aluminij i mesing) u ulaznom uzorku iznosi 55,48 %, a maseni udio nekorisne komponente (guma i plastika) u ulaznom uzorku iznosi 44,52 %.

Rezultati ispitivanja klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ u elektrostatičkom separatoru prikazani su u tablici 4 – 57.

Tablica 4 – 57 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	**Položaj separac. noža °**	**Brzina bubnja m/min**	**Napon ionizacijske elektrode kV**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	111	55	17	21,48	11,95
2	111	71	23	19,31	10,70
3	129	55	23	94,04	53,70
4	129	71	17	97,29	56,60
5(c)	120	63	20	66,97	37,15
6	111	55	23	18,77	10,40
7	111	71	17	21,84	12,15
8	129	55	17	48,56	26,95
9	129	71	23	99,64	62,50
10(c)	120	63	20	70,94	39,70
11	105	63	20	10,29	5,70
12	135	63	20	97,83	70,20
13	120	50	20	60,11	33,40
14	120	76	20	66,25	37,30
15	120	63	15	58,48	32,80
16	120	63	25	58,84	33,30
17(c)	120	63	20	42,78	24,20

Tablica 4 – 58 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	60,8234	7,181127	8,46990	0,000063	60,82344	7,181127
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	59,6110	6,790078	8,77913	0,000050	29,80549	3,395039
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	9,8195	6,859840	1,43144	0,195397	4,90974	3,429920
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	6,3723	6,790078	0,93847	0,379246	3,18615	3,395039
Položaj separac. noža, ° (Q)	-7,2074	7,507177	-0,96007	0,369000	-3,60371	3,753588
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-0,8020	7,826728	-0,10247	0,921254	-0,40102	3,913364
Napon na elektrodi, kV (Q)	-3,8954	7,507177	-0,51889	0,619832	-1,94771	3,753588
1L by 2L	13,3575	8,838701	1,51125	0,174478	6,67875	4,419351
1L by 3L	13,2675	8,838701	1,50107	0,177029	6,63375	4,419351
2L by 3L	-10,7375	8,838701	-1,21483	0,263815	-5,36875	4,419351

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 58 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

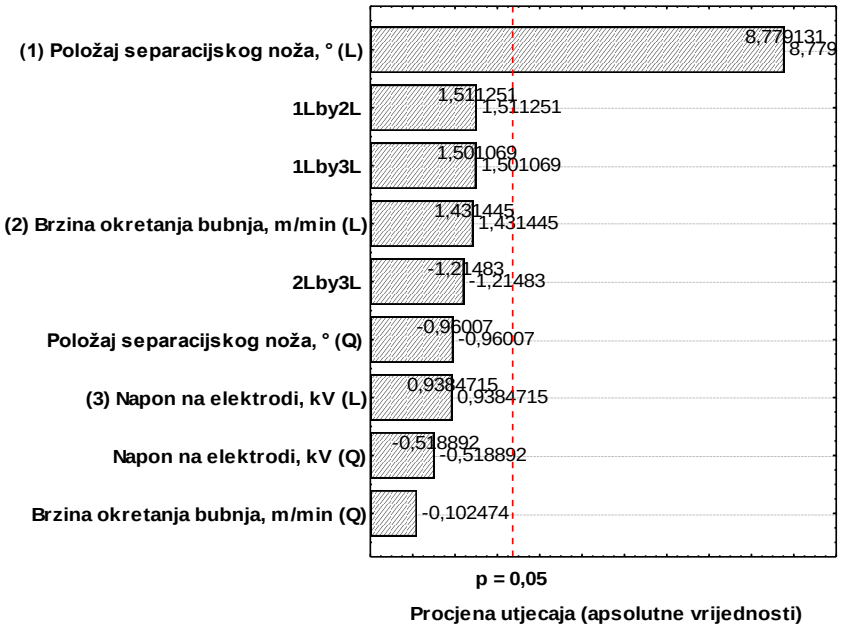
$$\boldsymbol{Y = 7{,}18 + 3{,}40\alpha + 3{,}43\omega + 3{,}40U + 3{,}75\alpha^2 + 3{,}91\omega^2 + 3{,}75\,U^2 + 4{,}42\alpha\cdot\omega + 4{,}42\alpha\cdot U + 4{,}42\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 58 i 4 – 59, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 19.

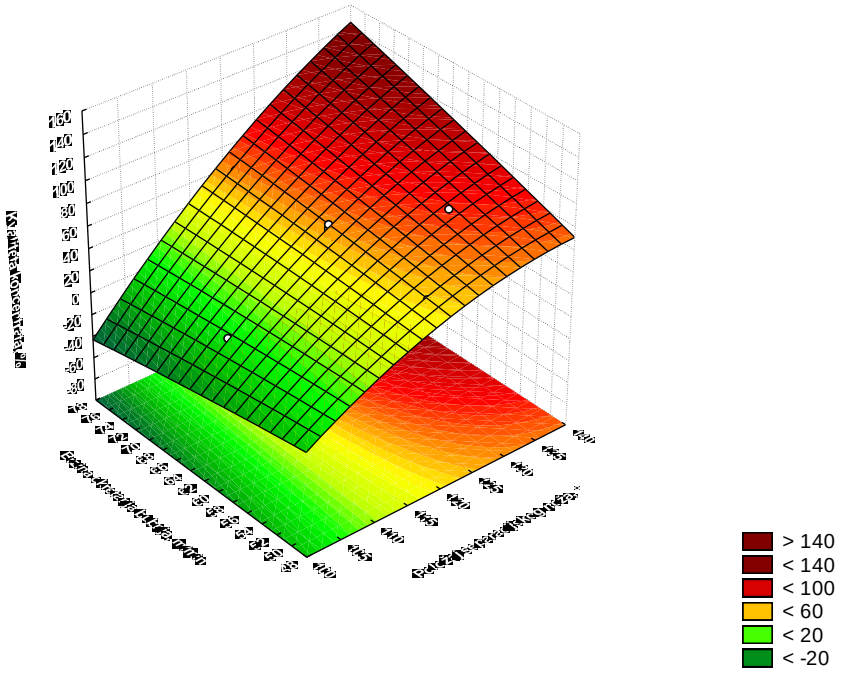
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 143, 4 – 145 i 4 – 147) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 144, 4 – 146 i 4 – 148) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 59 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

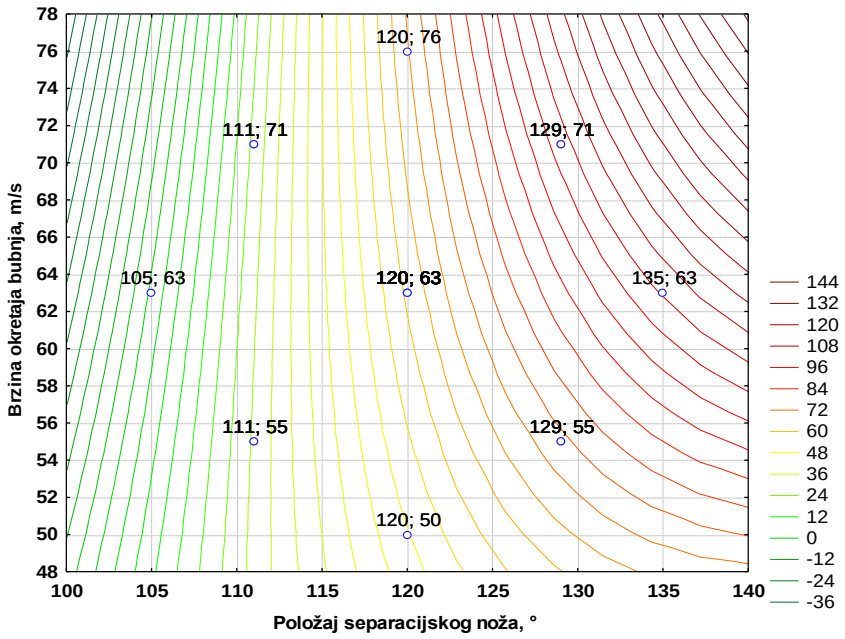
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	12042,31	1	12042,31	77,07313	0,000050
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	320,15	1	320,15	2,04903	0,195397
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	137,61	1	137,61	0,88073	0,379246
Položaj separac. noža, ° (Q)	144,02	1	144,02	0,92173	0,369000
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	1,64	1	1,64	0,01050	0,921254
Napon na elektrodi, kV (Q)	42,07	1	42,07	0,26925	0,619832
1L by 2L	356,85	1	356,85	2,28388	0,174478
1L by 3L	352,05	1	352,05	2,25321	0,177029
2L by 3L	230,59	1	230,59	1,47581	0,263815
Pogreška *(Eror)*	1093,72	7	156,25		
Total SS	14695,99	16			



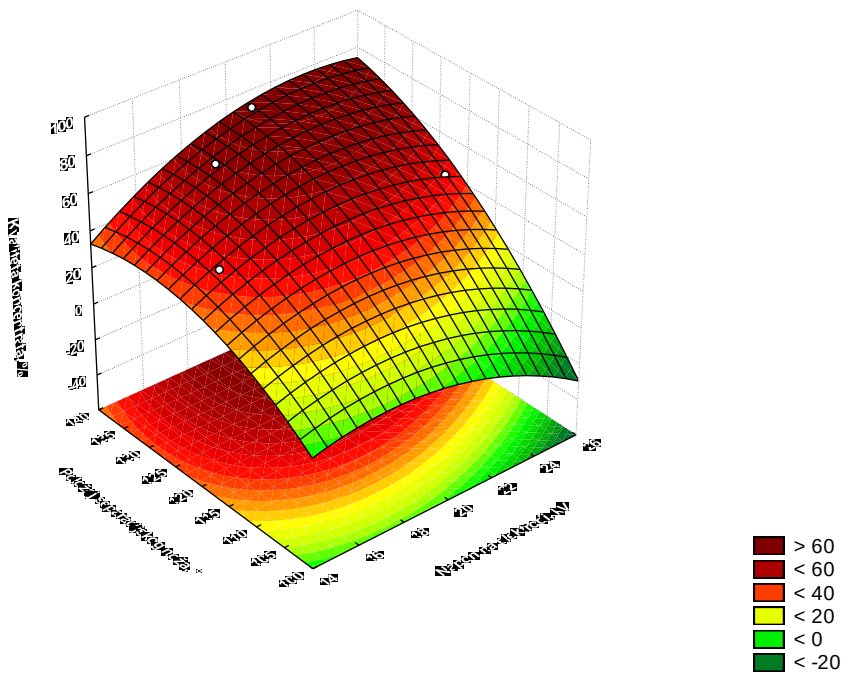
Grafikon 4 – 19 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“



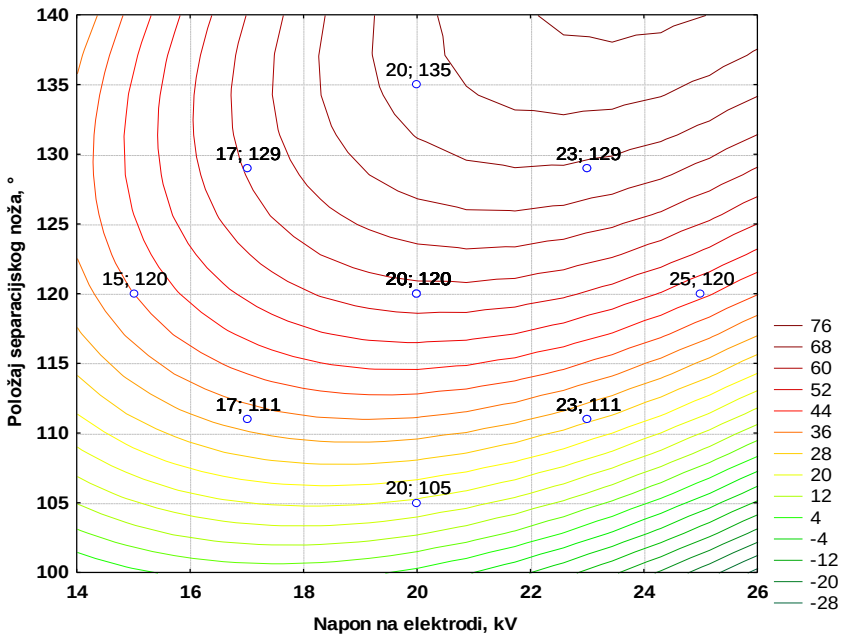
Slika 4 – 143 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



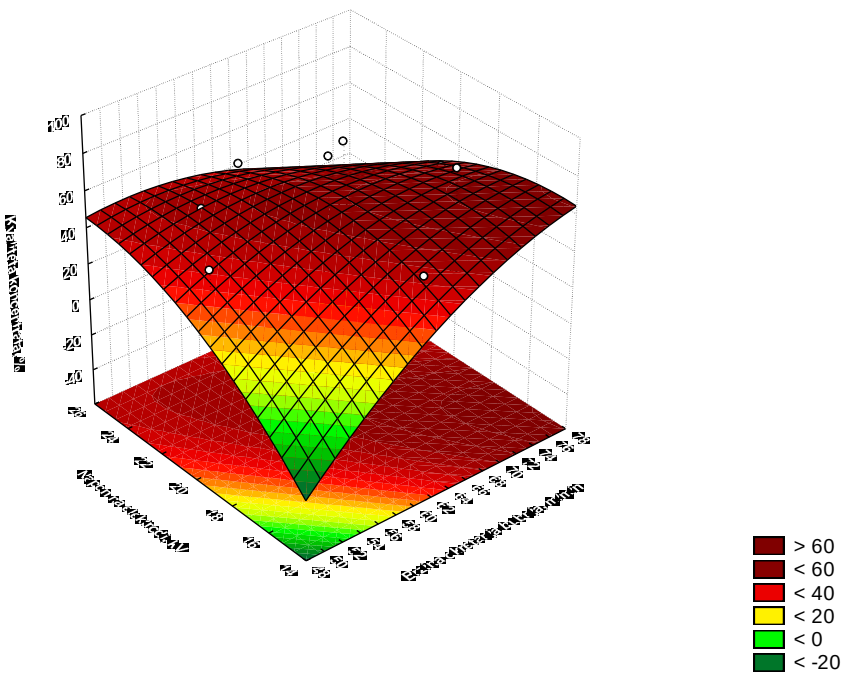
Slika 4 – 144 Nivo-linije regresijske plohe kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



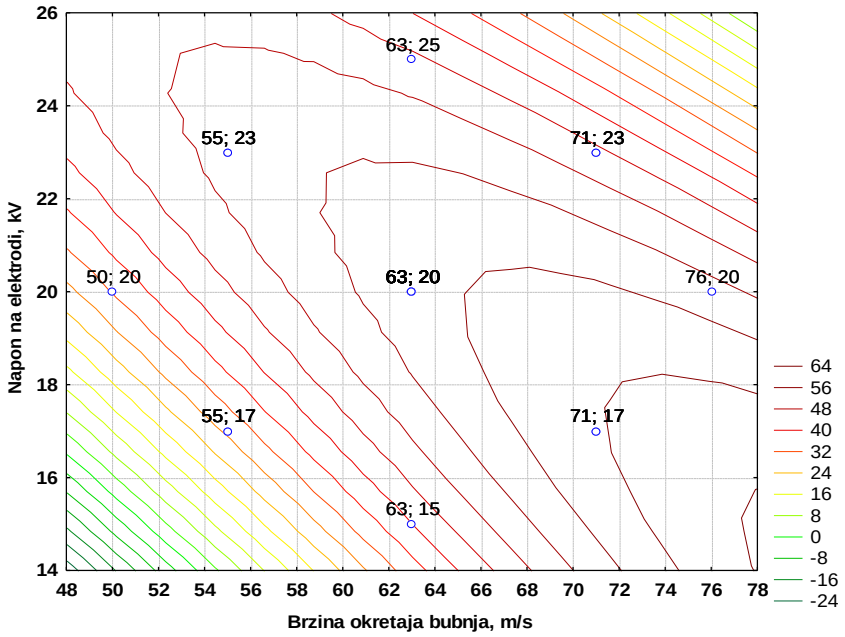
Slika 4 – 145 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 146 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 147 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 148 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 60 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	34,18286	4,081281	8,37552	0,000068	34,18286	4,081281
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	38,66311	3,859034	10,01886	0,000021	19,33156	1,929517
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	6,81976	3,898682	1,74925	0,123729	3,40988	1,949341
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	4,49754	3,859034	1,16546	0,282006	2,24877	1,929517
Položaj separac. noža, ° (Q)	0,74457	4,266586	0,17451	0,866403	0,37228	2,133293
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-1,29350	4,448197	-0,29079	0,779637	-0,64675	2,224099
Napon na elektrodi, kV (Q)	-2,78343	4,266586	-0,65238	0,534985	-1,39172	2,133293
1L by 2L	9,48750	5,023337	1,88868	0,100870	4,74375	2,511668
1L by 3L	8,91250	5,023337	1,77422	0,119299	4,45625	2,511668
2L by 3L	-5,18750	5,023337	-1,03268	0,336107	-2,59375	2,511668

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 60 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

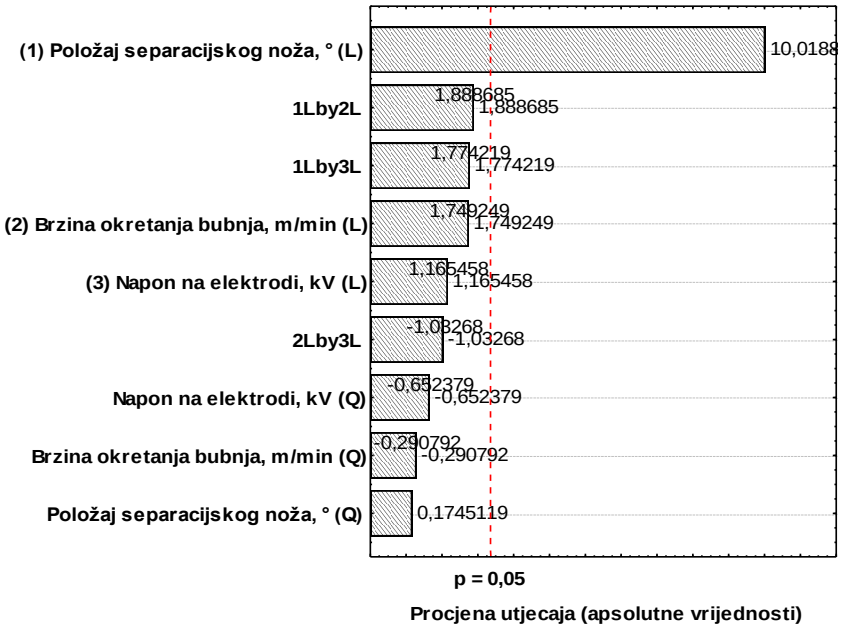
$$\boldsymbol{Y = 4{,}08 + 1{,}93\alpha + 1{,}95\omega + 1{,}93U + 2{,}13\alpha^2 + 2{,}22\omega^2 + 2{,}13U^2 + 2{,}51\alpha\cdot\omega + 2{,}51\alpha\cdot U + 2{,}51\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 60 i 4 – 61, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 20.

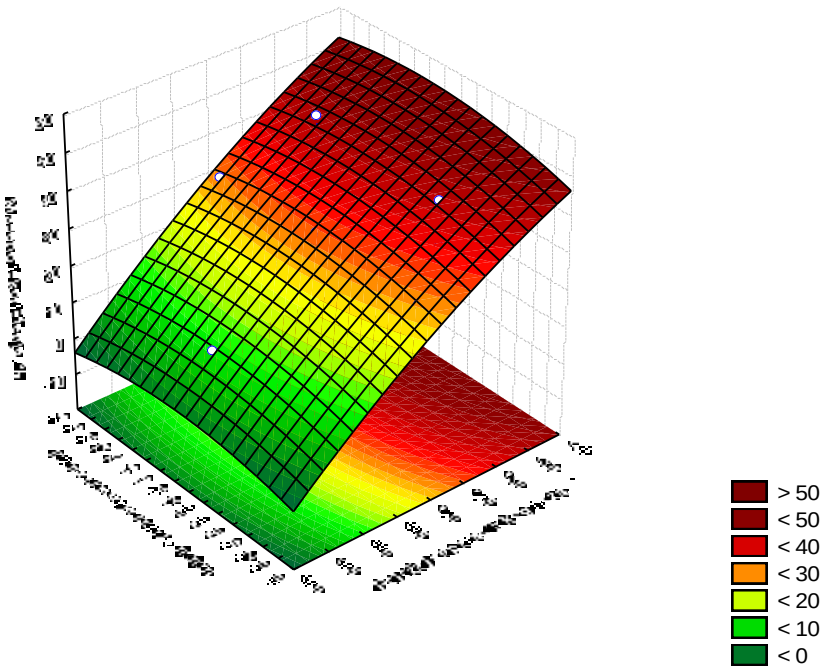
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 149, 4 – 151 i 4 – 153) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 150, 4 – 152 i 4 – 154) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 61 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“

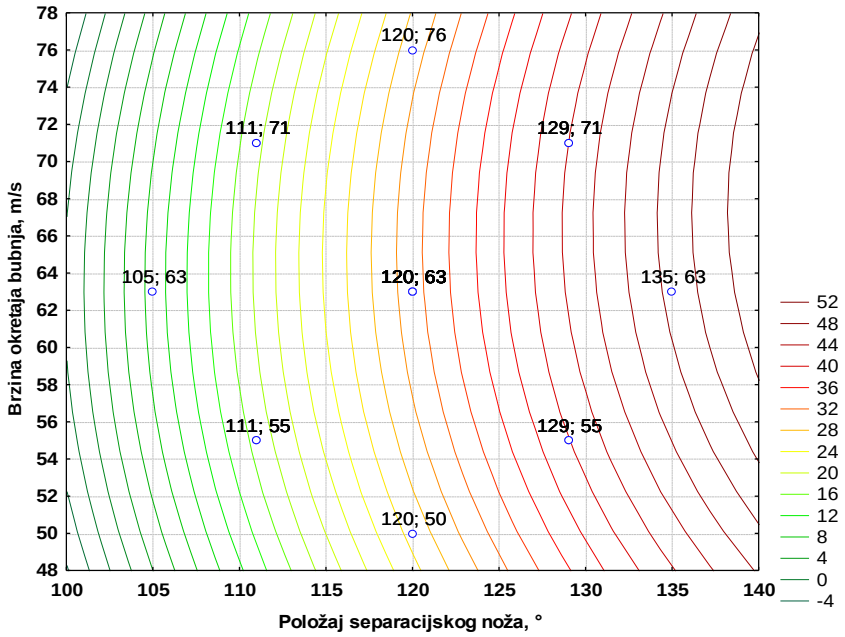
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	5065,835	1	5065,835	100,3775	0,000021
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	154,425	1	154,425	3,0599	0,123729
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	68,550	1	68,550	1,3583	0,282006
Položaj separac. noža, ° (Q)	1,537	1	1,537	0,0305	0,866403
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	4,268	1	4,268	0,0846	0,779637
Napon na elektrodi, kV (Q)	21,479	1	21,479	0,4256	0,534985
1L by 2L	180,025	1	180,025	3,5671	0,100870
1L by 3L	158,865	1	158,865	3,1479	0,119299
2L by 3L	53,820	1	53,820	1,0664	0,336107
Pogreška *(Eror)*	353,275	7	50,468		
Total SS	6065,329	16			



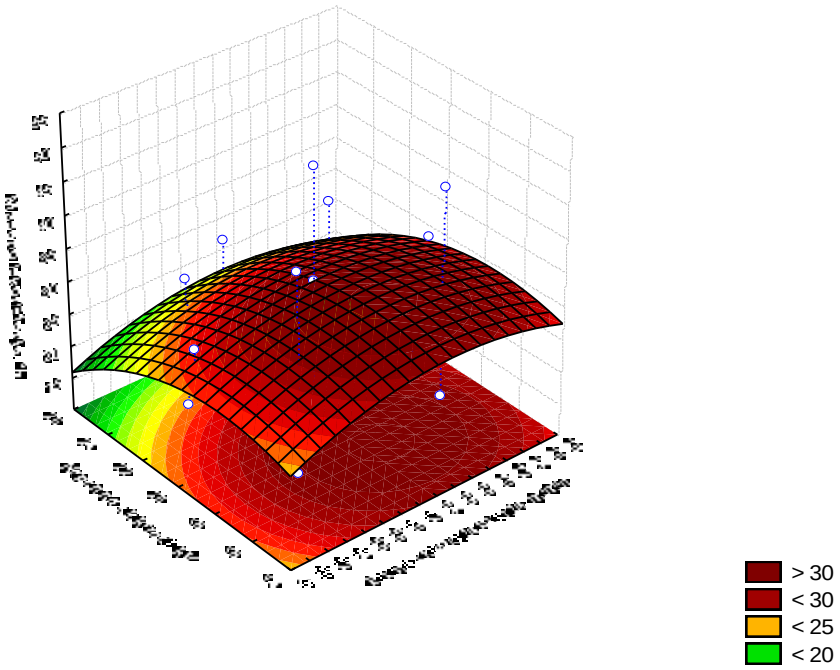
Grafikon 4 – 20 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“



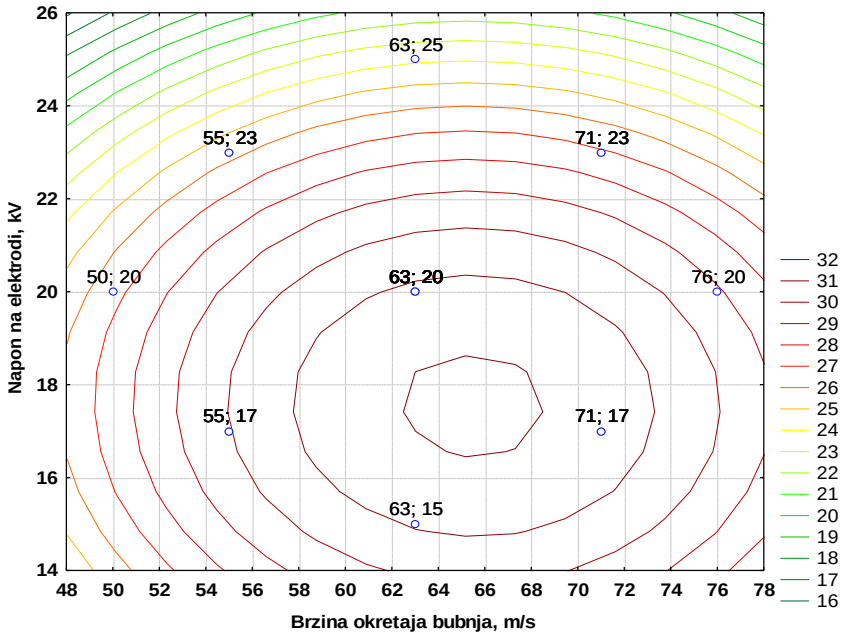
Slika 4 – 149 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



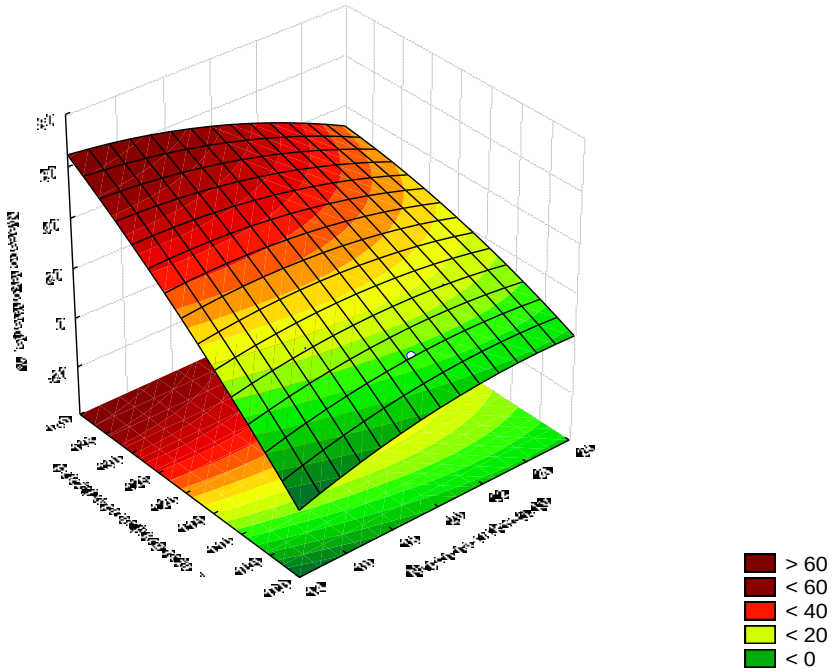
Slika 4 -150 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



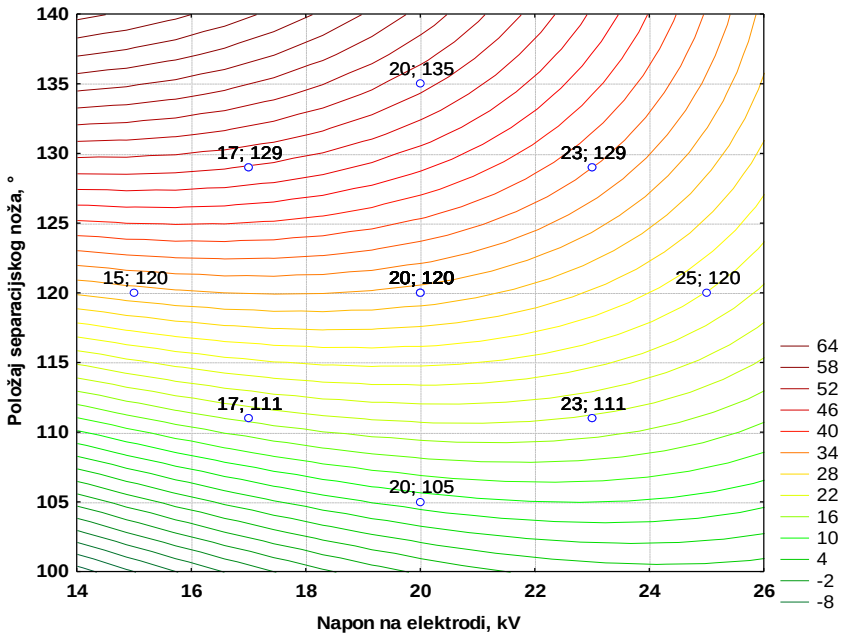
Slika 4 – 151 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 152 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 153 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 154 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“

4.5.4.3. Ispitivanje klase 1/0,5 mm

Testiranje je provedeno na uzorcima mase 80 grama koji su ručnim probiranjem analizirani na sadržaj korisne i nekorisne komponente u ulazu. Analiza je pokazala da maseni udio korisne komponente (željezo, bakar, aluminij i mesing) u ulaznom uzorku iznosi 85,25 %, a maseni udio nekorisne komponente (guma i plastika) u ulaznom uzorku iznosi 14,75 %.

Rezultati ispitivanja klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ u elektrostatičkom separatoru prikazani su u tablici 4 – 62.

Tablica 4 – 62 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	**Položaj separac. noža °**	**Brzina bubnja m/min**	**Napon ionizacijske elektrode kV**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	111	55	17	12,24	10,10
2	111	71	23	11,27	9,30
3	129	55	23	67,15	55,50
4	129	71	17	75,27	62,15
5(c)	120	63	20	51,64	42,60
6	111	55	23	10,79	8,90
7	111	71	17	10,55	8,70
8	129	55	17	75,27	62,10
9	129	71	23	69,21	57,30
10(c)	120	63	20	43,52	35,90
11	105	63	20	6,79	5,60
12	135	63	20	94,91	79,30
13	120	50	20	39,76	32,80
14	120	76	20	40,61	33,70
15	120	63	15	67,27	55,50
16	120	63	25	49,58	40,90
17(c)	120	63	20	48,79	41,80

Tablica 4 – 63 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	58,8259	6,047546	9,72723	0,000026	58,82590	6,047546
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	69,4898	5,718226	12,15234	0,000006	34,74492	2,859113
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	5,0191	5,776975	0,86881	0,413744	2,50955	2,888488
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	10,0367	5,718226	1,75522	0,122656	5,01836	2,859113
Položaj separac. noža, ° (Q)	-6,2848	6,322126	-0,99410	0,353287	-3,14241	3,161063
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-1,4129	6,591234	-0,21436	0,836380	-0,70644	3,295617
Napon na elektrodi, kV (Q)	-11,1232	6,322126	-1,75941	0,121907	-5,56161	3,161063
1L by 2L	13,9550	7,443462	1,87480	0,102949	6,97750	3,721731
1L by 3L	10,2250	7,443462	1,37369	0,211913	5,11250	3,721731
2L by 3L	-7,8350	7,443462	-1,05260	0,327496	-3,91750	3,721731

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 63 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

$$\boldsymbol{Y = 6{,}05 + 2{,}86\alpha + 2{,}89\omega + 2{,}86U + 3{,}16\alpha^2 + 3{,}30\omega^2 + 3{,}16U^2 + 3{,}72\alpha\cdot\omega + 3{,}72\alpha\cdot U}$$

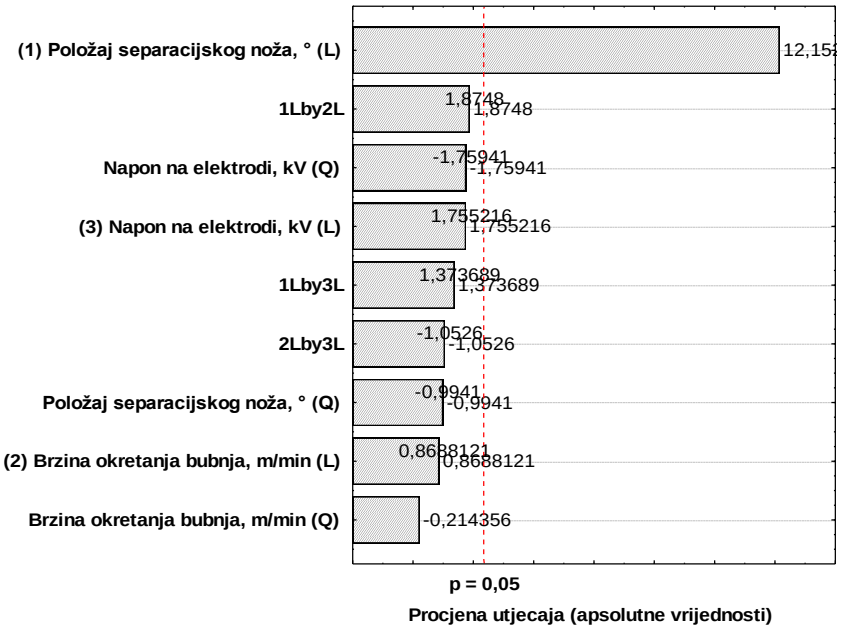
$$\boldsymbol{+ 3{,}72\omega\cdot U}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 63 i 4 – 64 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 21).

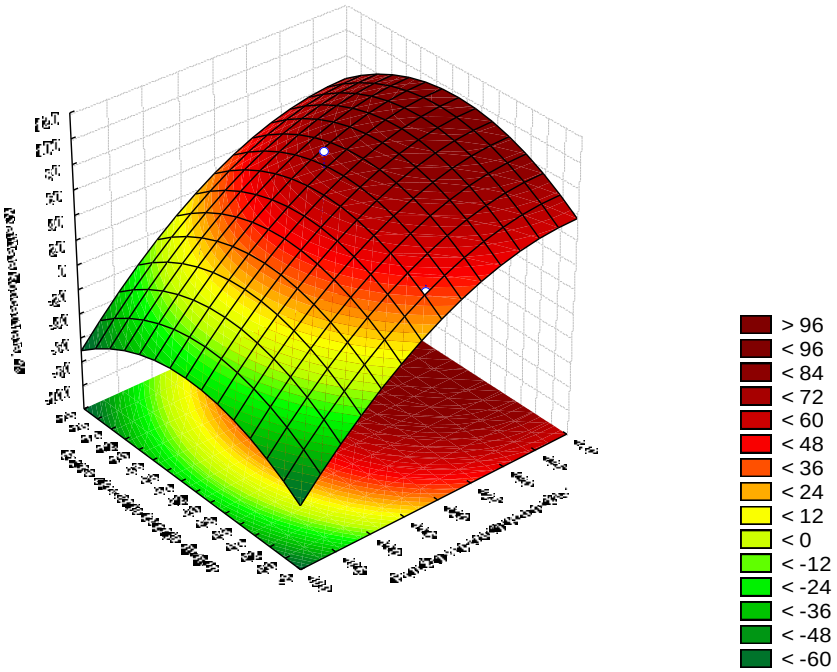
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 155, 4 – 157 i 4 – 159) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 156, 4 – 158 i 4 – 160) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 64 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

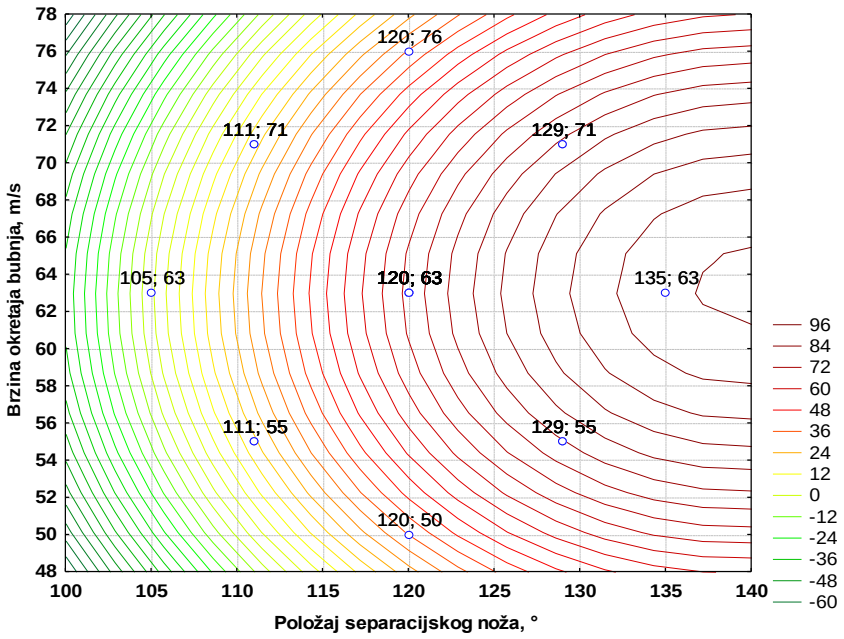
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Central Composite Design* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	16364,39	1	16364,39	147,6794	0,000006
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	83,64	1	83,64	0,7548	0,413744
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	341,38	1	341,38	3,0808	0,122656
Položaj separac. noža, ° (Q)	109,51	1	109,51	0,9882	0,353287
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	5,09	1	5,09	0,0459	0,836380
Napon na elektrodi, kV (Q)	343,02	1	343,02	3,0955	0,121907
1L by 2L	389,48	1	389,48	3,5149	0,102949
1L by 3L	209,10	1	209,10	1,8870	0,211913
2L by 3L	122,77	1	122,77	1,1080	0,327496
Pogreška *(Eror)*	775,67	7	110,81		
Total SS	18677,29	16			



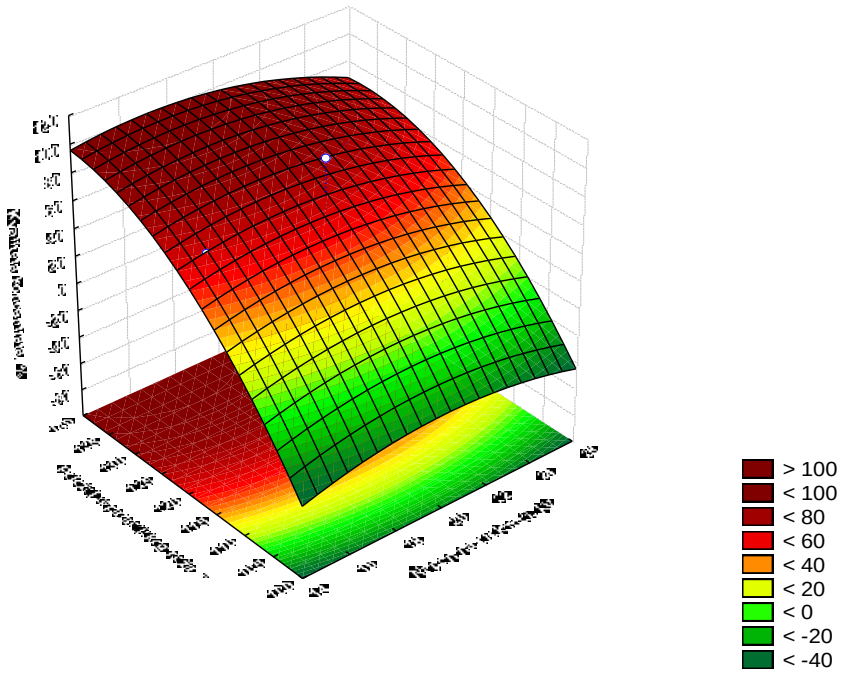
Grafikon 4 – 21 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



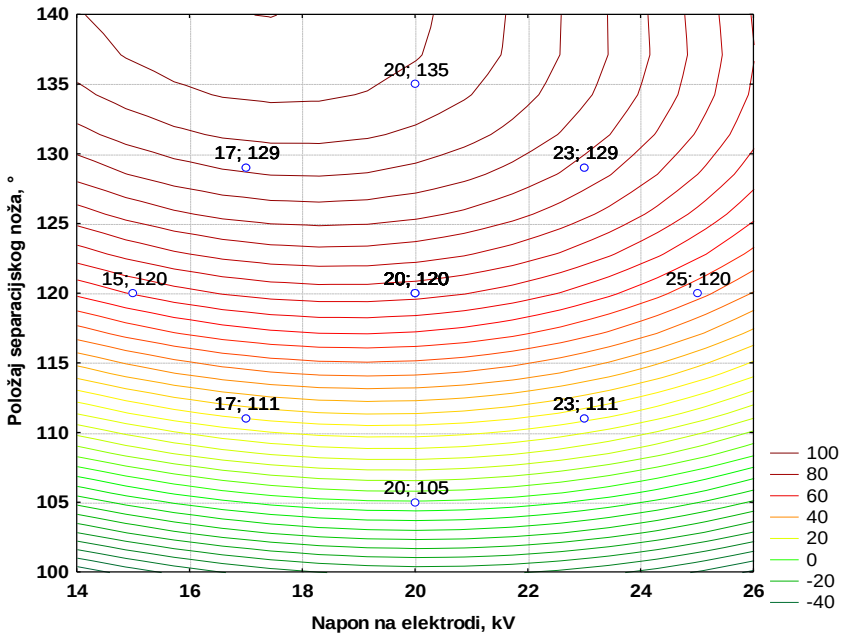
Slika 4 – 155 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



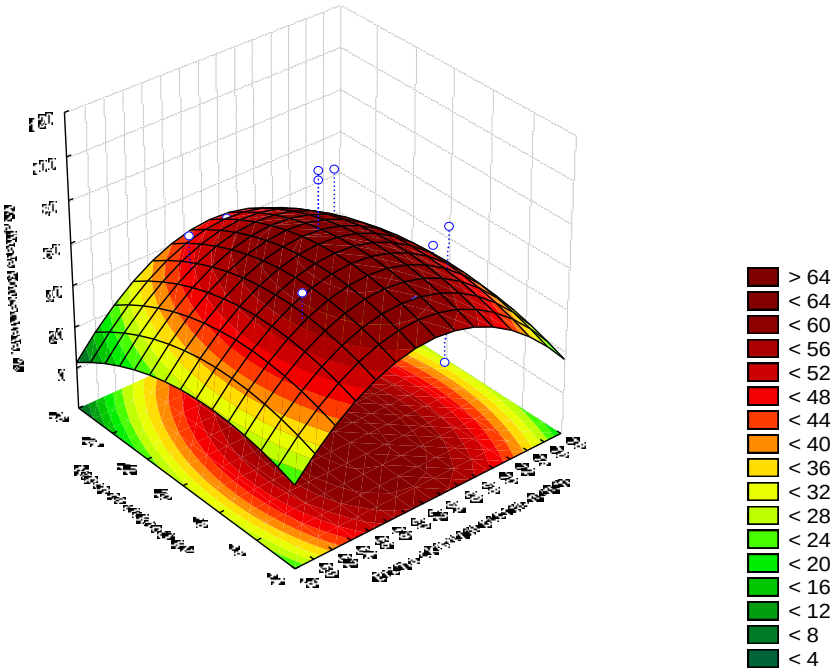
Slika 4 – 156 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



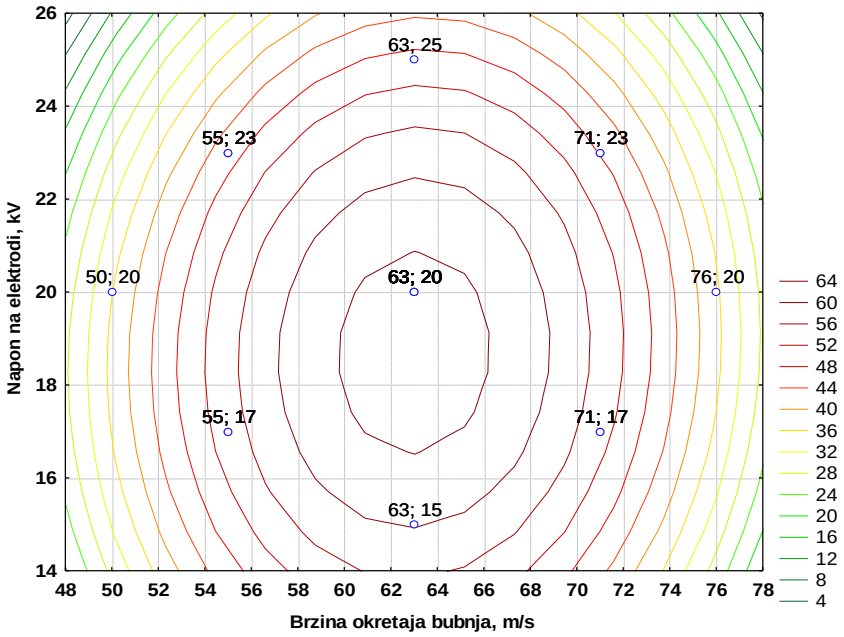
Slika 4 – 157 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 158 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 159 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncetrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 160 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 65 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	40,04462	3,558809	11,25225	0,000010	40,04462	3,558809
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	53,66066	3,365014	15,94664	0,000001	26,83033	1,682507
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	6,02165	3,399586	1,77129	0,119811	3,01082	1,699793
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	6,00492	3,365014	1,78452	0,117517	3,00246	1,682507
Položaj separac. noža, ° (Q)	0,69832	3,720392	0,18770	0,856435	0,34916	1,860196
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-1,49816	3,878754	-0,38625	0,710785	-0,74908	1,939377
Napon na elektrodi, kV (Q)	-6,64568	3,720392	-1,78628	0,117213	-3,32284	1,860196
1L by 2L	12,97500	4,380266	2,96215	0,021041	6,48750	2,190133
1L by 3L	7,07500	4,380266	1,61520	0,150302	3,53750	2,190133
2L by 3L	-5,97500	4,380266	-1,36407	0,214780	-2,98750	2,190133

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 65 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

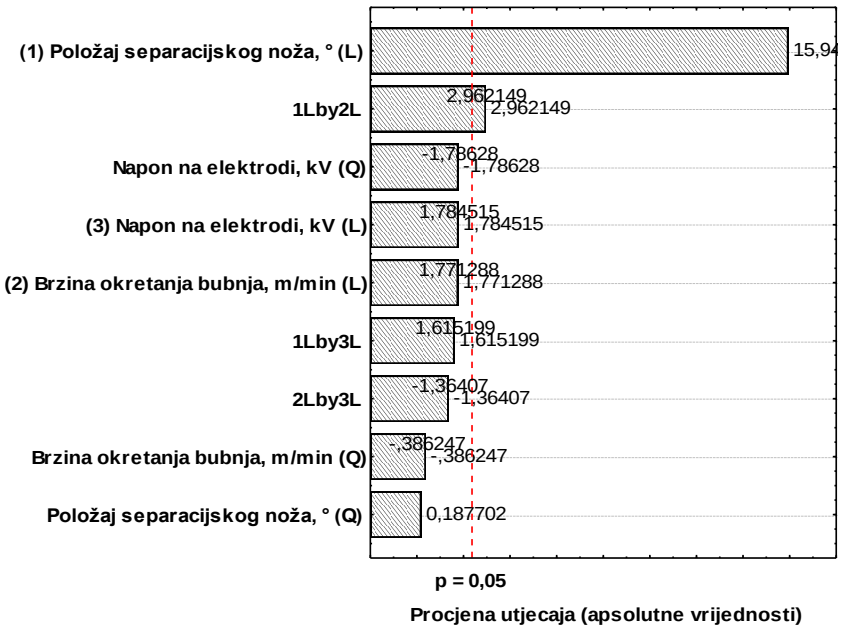
$$\boldsymbol{Y = 3{,}56 + 1{,}68\alpha + 1{,}70\omega + 1{,}68U + 1{,}86\alpha^2 + 1{,}94\omega^2 + 1{,}86U^2 + 2{,}19\alpha\cdot\omega + 2{,}19\alpha\cdot U + 2{,}19\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 66 i 4 – 67, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 22.

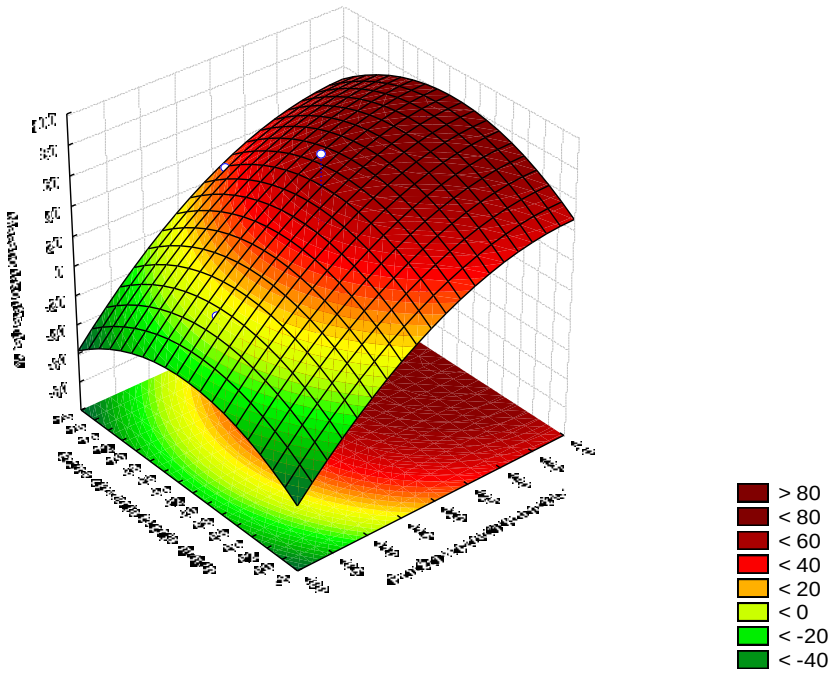
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 161, 4 – 163 i 4 – 165) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 162, 4 – 164 i 4 – 166) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 66 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

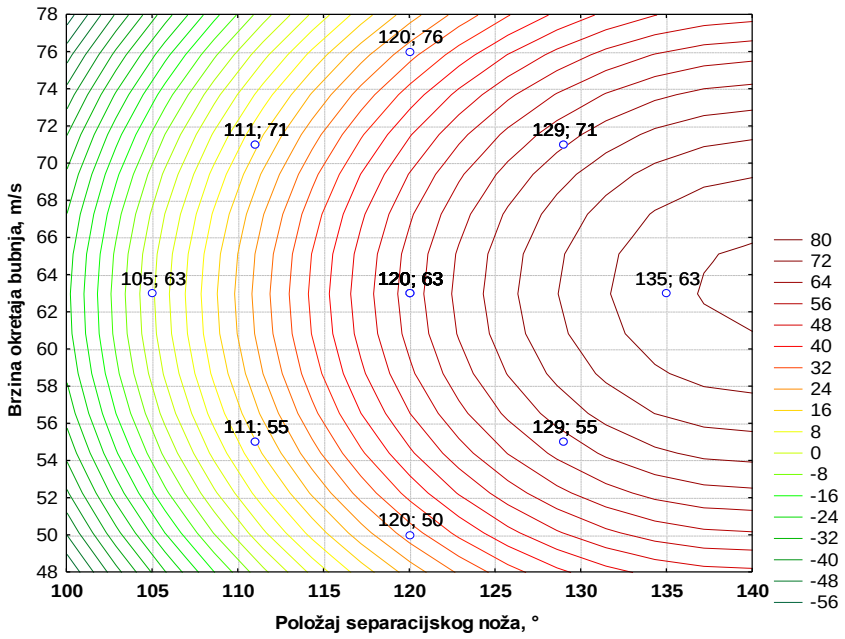
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	P
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	9758,19	1	9758,190	254,2953	0,000001
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	120,40	1	120,395	3,1375	0,119811
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	122,20	1	122,200	3,1845	0,117517
Položaj separac. noža, ° (Q)	1,35	1	1,352	0,0352	0,856435
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	5,72	1	5,725	0,1492	0,710785
Napon na elektrodi, kV (Q)	122,44	1	122,442	3,1908	0,117213
1L by 2L	336,70	1	336,701	8,7743	0,021041
1L by 3L	100,11	1	100,111	2,6089	0,150302
2L by 3L	71,40	1	71,401	1,8607	0,214780
Pogreška *(Eror)*	268,61	7	38,373		
Total SS	10920,00	16			



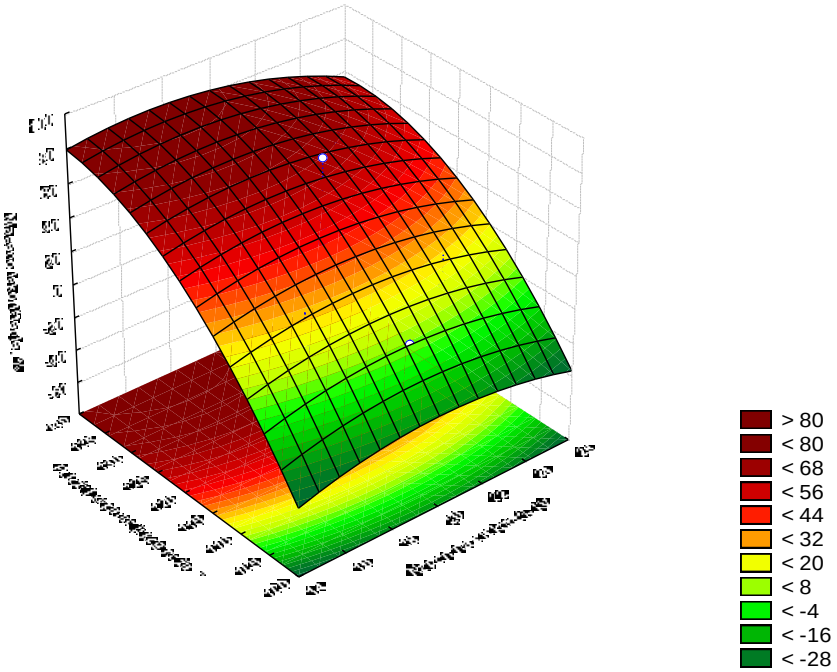
Grafikon 4 – 22 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



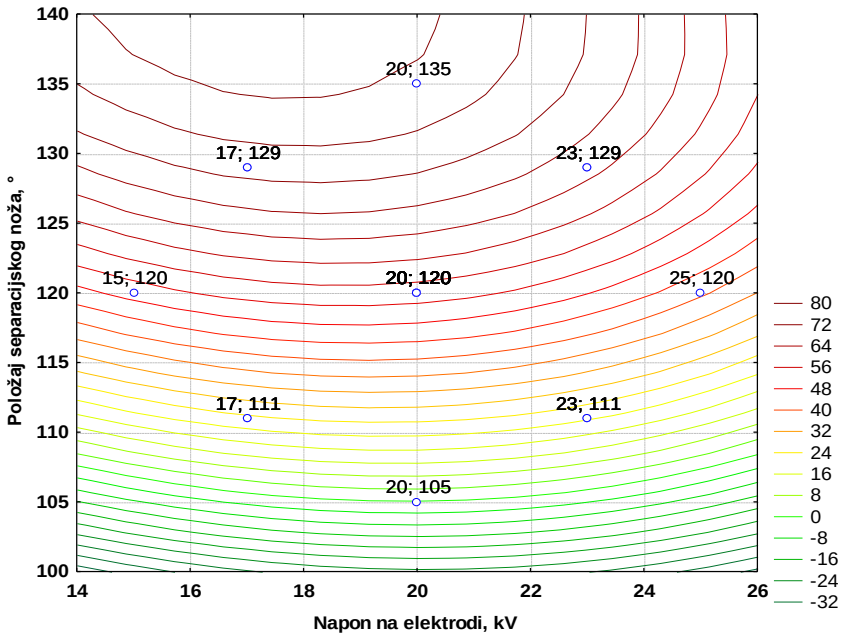
Slika 4 – 161 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



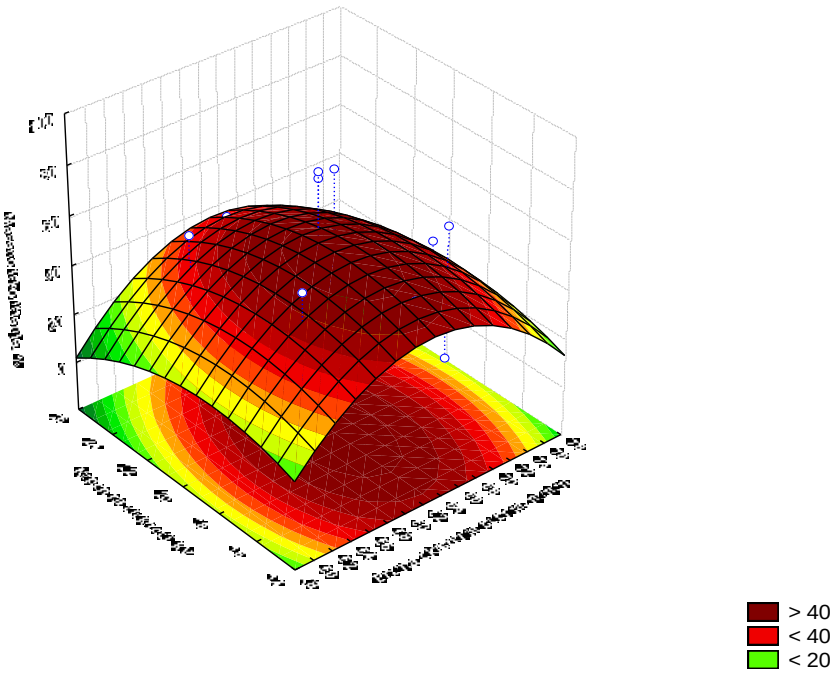
Slika 4 – 162 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



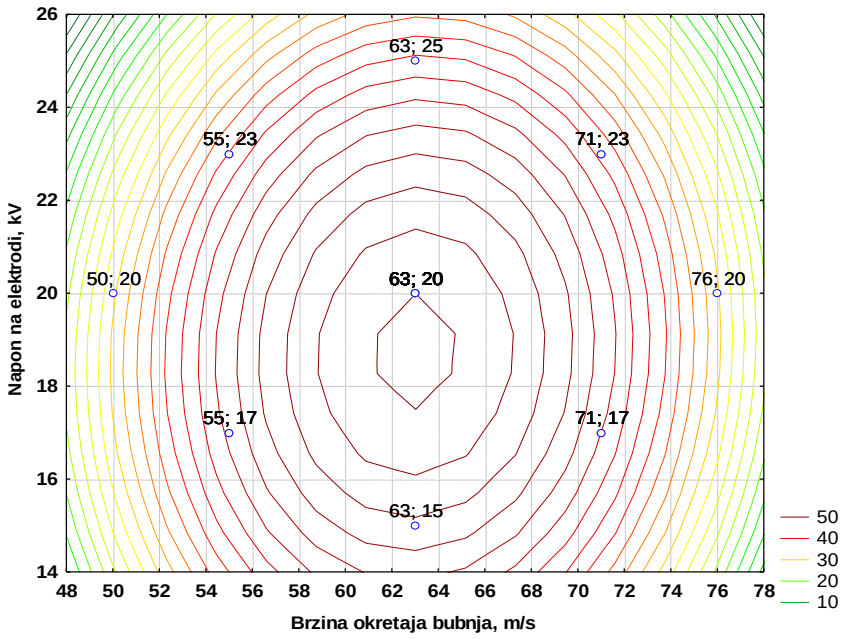
Slika 4 – 163 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 164 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 165 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 166 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“

4.5.4.4. Ispitivanje klase -0,5 mm

Testiranje je provedeno na uzorcima mase 50 grama koji su ručnim probiranjem analizirani na sadržaj korisne i nekorisne komponente u ulazu. Analiza je pokazala da maseni udio korisne komponente (željezo, bakar, aluminij i mesing) u ulaznom uzorku iznosi 58,22 %, a maseni udio nekorisne komponente (guma i plastika) u ulaznom uzorku iznosi 41,78 %.

Rezultati ispitivanja klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ u elektrostatičkom separatoru prikazani su u tablici 4 – 67.

Tablica 4 – 67 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Pokus br.	**Položaj separac. noža °**	**Brzina bubnja m/min**	**Napon ionizacijske elektrode kV**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	111	55	17	23,20	13,50
2	111	71	23	23,37	13,60
3	129	55	23	54,12	31,50
4	129	71	17	79,90	46,50
5(c)	120	63	20	54,98	32,00
6	111	55	23	20,79	12,10
7	111	71	17	25,43	14,80
8	129	55	17	74,91	43,60
9	129	71	23	58,25	33,90
10(c)	120	63	20	52,75	30,70
11	105	63	20	22,16	12,90
12	135	63	20	84,19	49,00
13	120	50	20	51,03	29,70
14	120	76	20	52,92	30,80
15	120	63	15	52,06	30,30
16	120	63	25	50,00	29,10
17(c)	120	63	20	51,03	29,70

Tablica 4 – 68 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	54,4901	9,33016	5,84021	0,000637	54,49006	9,330162
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	30,6551	8,82209	3,47481	0,010338	15,32754	4,411043
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	13,1014	8,91272	1,46996	0,185033	6,55068	4,456362
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	2,9002	8,82209	0,32874	0,751969	1,45008	4,411043
Položaj separac. noža, ° (Q)	-7,1317	9,75378	-0,73118	0,488418	-3,56587	4,876892
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-8,7490	10,16897	-0,86036	0,418081	-4,37448	5,084483
Napon na elektrodi, kV (Q)	-8,6761	9,75378	-0,88952	0,403258	-4,33807	4,876892
1L by 2L	18,5775	11,48378	1,61772	0,149757	9,28875	5,741892
1L by 3L	8,0075	11,48378	0,69729	0,508112	4,00375	5,741892
2L by 3L	-17,6275	11,48378	-1,53499	0,168661	-8,81375	5,741892

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 68 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

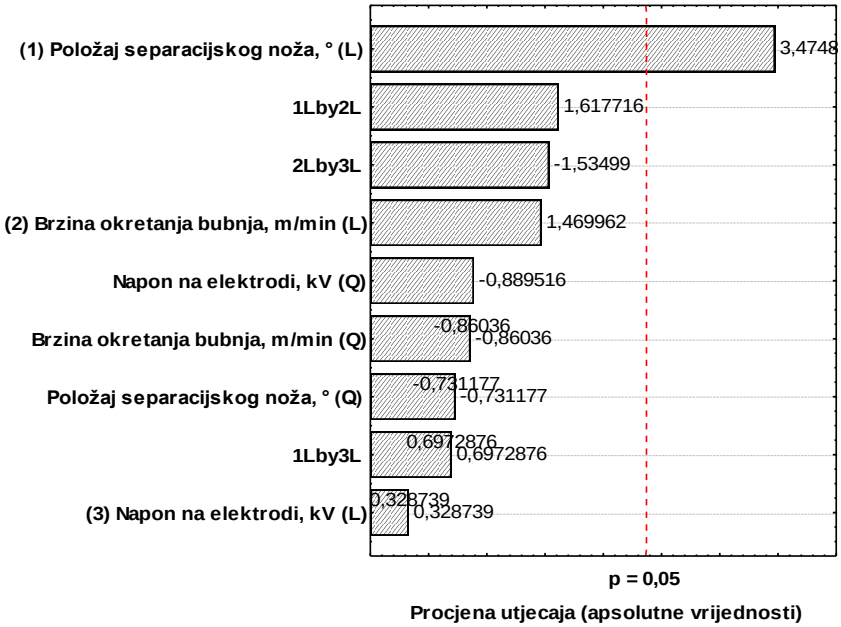
$$\boldsymbol{Y = 9{,}33 + 4{,}41\alpha + 4{,}46\omega + 4{,}41U + 4{,}88\alpha^2 + 5{,}08\omega^2 + 4{,}88U^2 + 5{,}74\alpha\cdot\omega + 5{,}74\alpha\cdot U + 5{,}74\omega\cdot U}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 68 i 4 – 69 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 23).

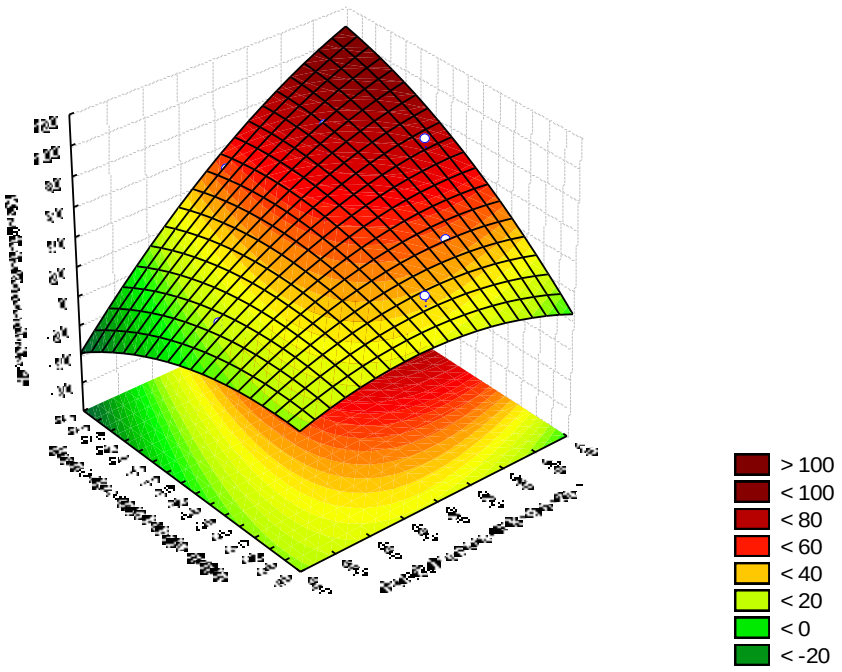
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 167, 4 – 169 i 4 – 171) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 168, 4 – 170 i 4 – 172) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 69 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

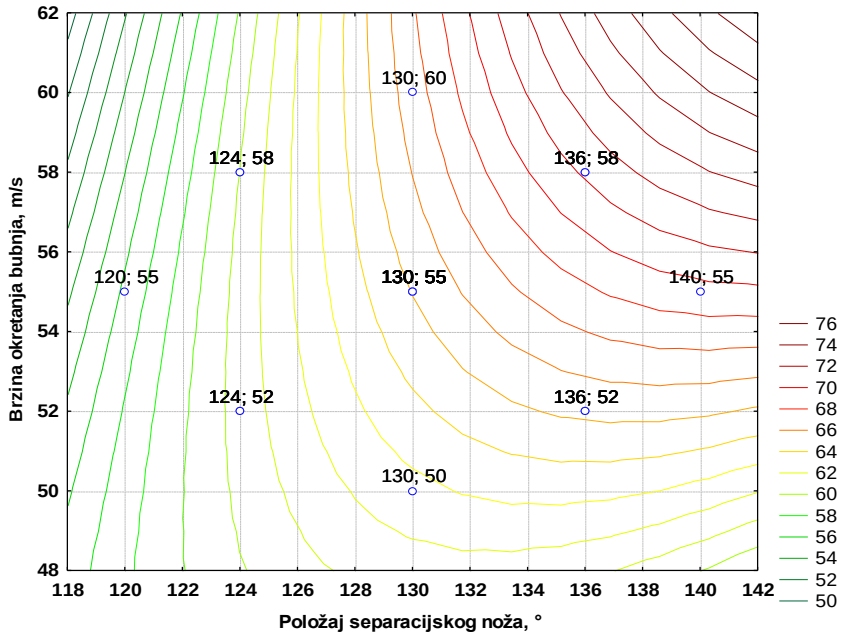
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	3184,654	1	3184,654	12,07431	0,010338
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	569,918	1	569,918	2,16079	0,185033
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	28,504	1	28,504	0,10807	0,751969
Položaj separac. noža, ° (Q)	141,009	1	141,009	0,53462	0,488418
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	195,236	1	195,236	0,74022	0,418081
Napon na elektrodi, kV (Q)	208,693	1	208,693	0,79124	0,403258
1L by 2L	690,247	1	690,247	2,61701	0,149757
1L by 3L	128,240	1	128,240	0,48621	0,508112
2L by 3L	621,458	1	621,458	2,35620	0,168661
Pogreška *(Eror)*	1846,282	7	263,755		
Total SS	7422,738	16			



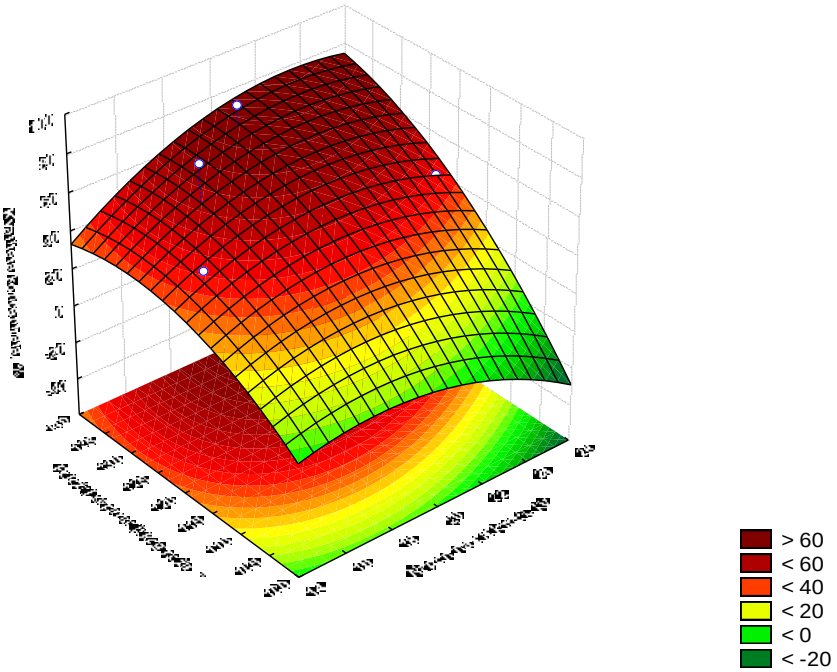
Grafikon 4 – 23 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



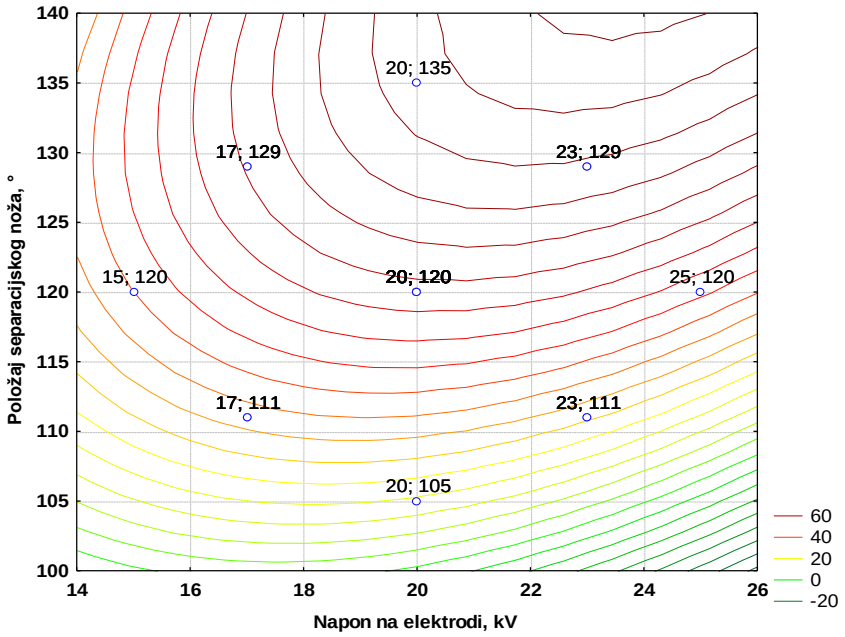
Slika 4 - 167 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



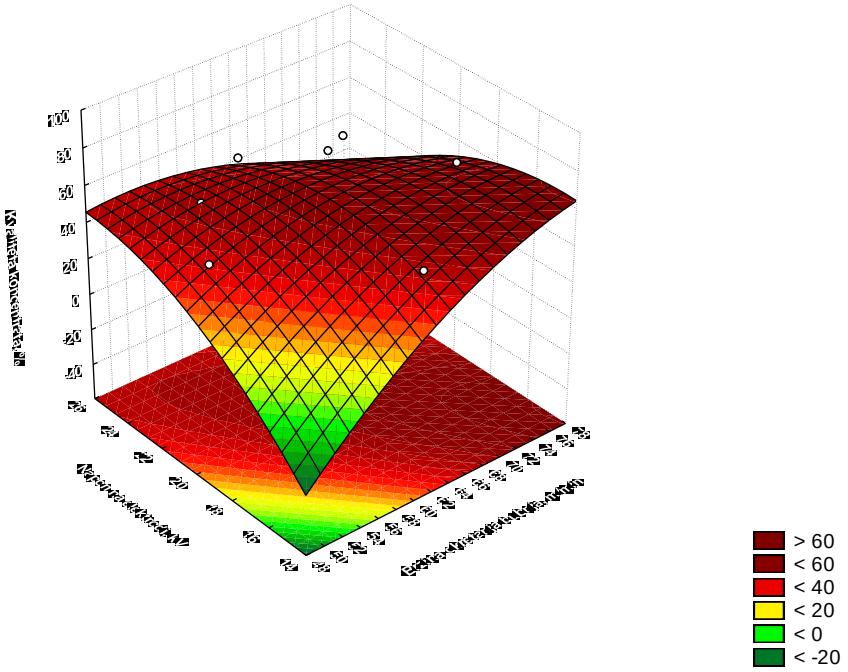
Slika 4 - 168 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



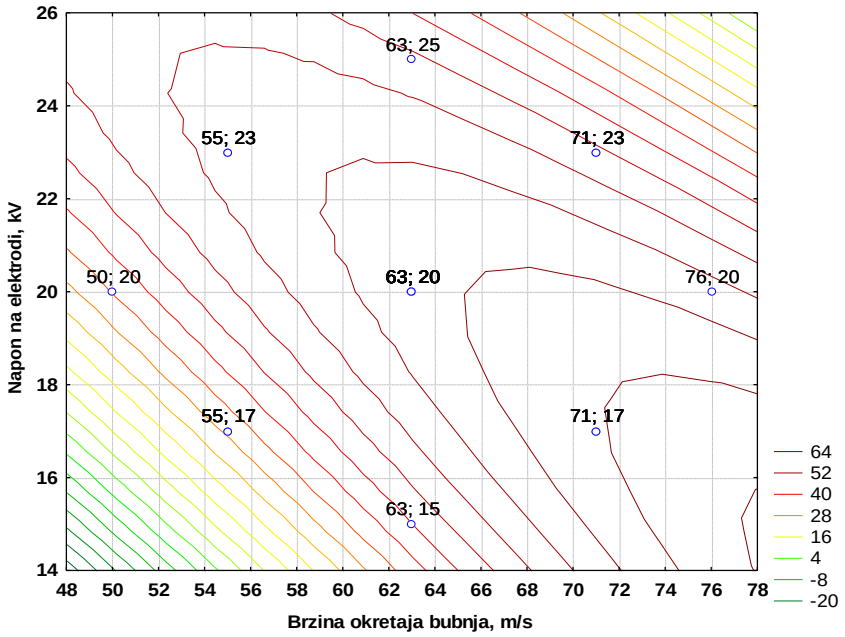
Slika 4 - 169 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 170 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 171 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 – 172 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“

Tablica 4 – 70 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	31,20553	2,128657	14,65973	0,000002	31,20553	2,128657
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	23,85246	2,012741	11,85074	0,000007	11,92623	1,006370
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	1,48894	2,033419	0,73224	0,487811	0,74447	1,016710
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	-4,32295	2,012741	-2,14779	0,068838	-2,16148	1,006370
Položaj separac. noža, ° (Q)	-1,78149	2,225306	-0,80056	0,449699	-0,89074	1,112653
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-2,49148	2,320028	-1,07390	0,318486	-1,24574	1,160014
Napon na elektrodi, kV (Q)	-2,68149	2,225306	-1,20500	0,267356	-1,34074	1,112653
1L by 2L	0,62500	2,620001	0,23855	0,818288	0,31250	1,310001
1L by 3L	-5,52500	2,620001	-2,10878	0,072920	-2,76250	1,310001
2L by 3L	-0,07500	2,620001	-0,02863	0,977962	-0,03750	1,310001

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 70 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

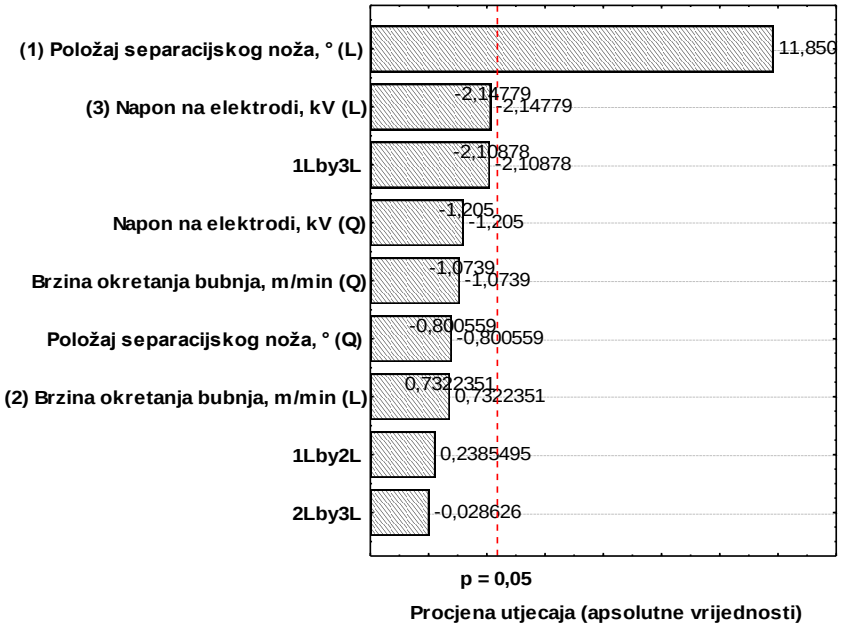
$$\boldsymbol{Y = 2{,}13 + 1{,}01\alpha + 1{,}02\omega + 1{,}01U + 1{,}13\alpha^2 + 1{,}16\omega^2 + 1{,}13U^2 + 1{,}31\alpha\cdot\omega + 1{,}31\alpha\cdot U + 1{,}31\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 70 i 4 – 71, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 24.

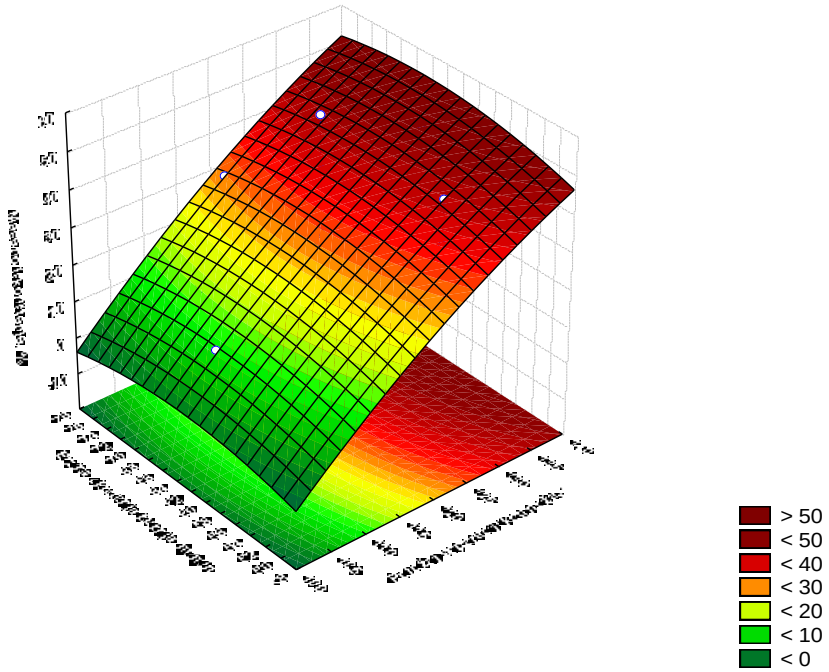
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 173, 4 – 175 i 4 – 177) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 174, 4 – 176 i 4 – 178) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“.

Tablica 4 – 71 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“

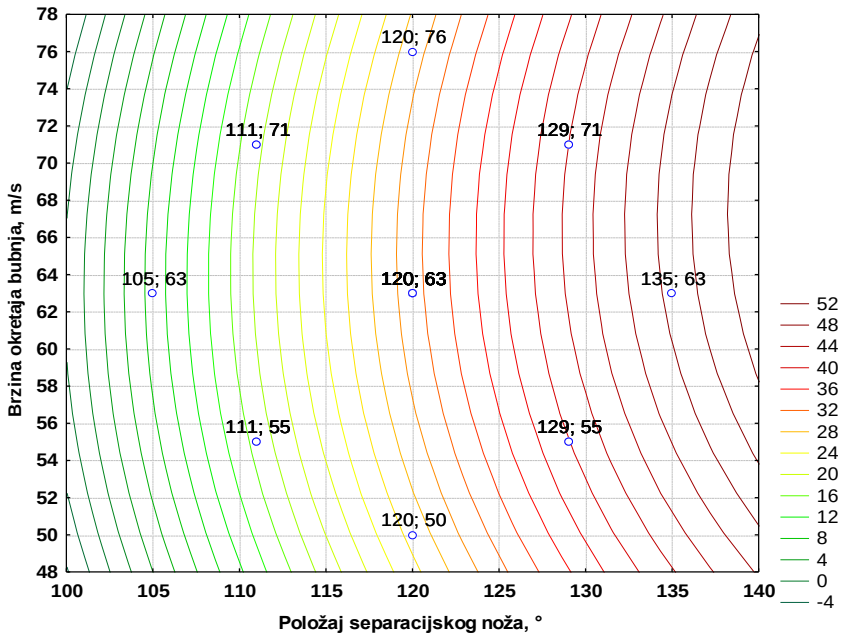
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	1928,074	1	1928,074	140,4400	0,000007
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	7,361	1	7,361	0,5362	0,487811
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	63,331	1	63,331	4,6130	0,068838
Položaj separac. noža, ° (Q)	8,799	1	8,799	0,6409	0,449699
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	15,833	1	15,833	1,1533	0,318486
Napon na elektrodi, kV (Q)	19,935	1	19,935	1,4520	0,267356
1L by 2L	0,781	1	0,781	0,0569	0,818288
1L by 3L	61,051	1	61,051	4,4469	0,072920
2L by 3L	0,011	1	0,011	0,0008	0,977962
Pogreška *(Eror)*	96,102	7	13,729		
Total SS	2186,262	16			



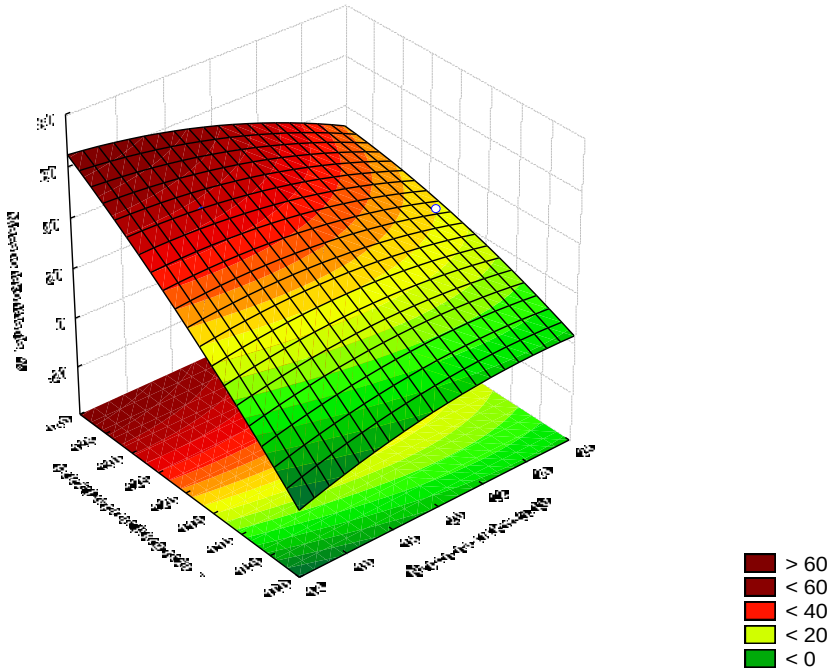
Grafikon 4 – 24 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“



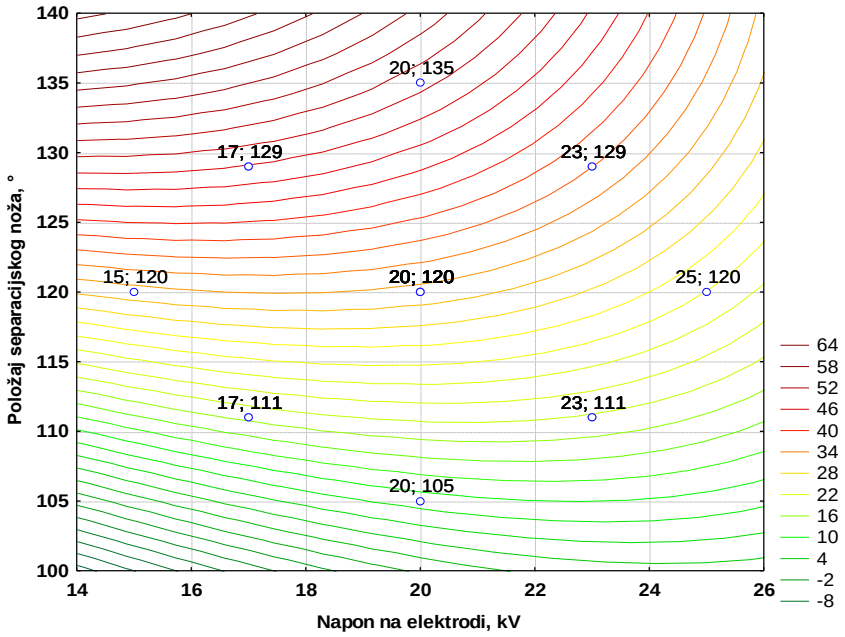
Slika 4 - 173 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



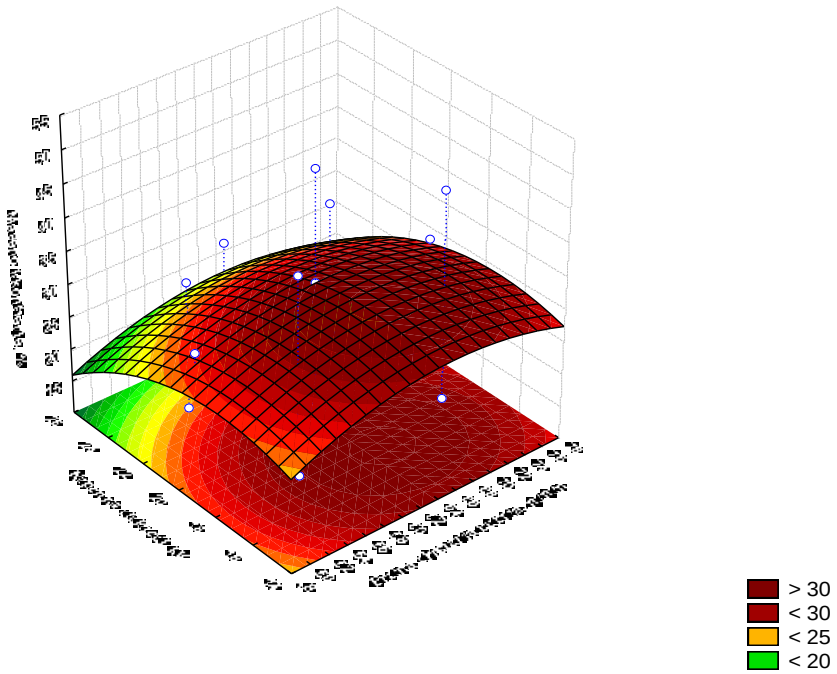
Slika 4 - 174 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“



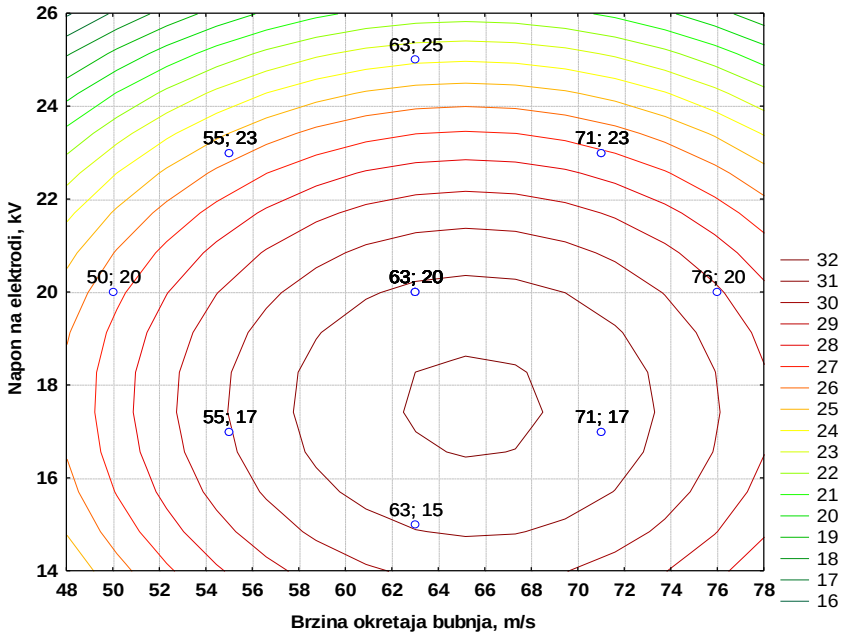
Slika 4 - 175 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 176 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 177 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“



Slika 4 - 178 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“

4.5.5. Testovi magnetske separacije

Nakon postupaka zračne i elektrostatičke separacije provedena je suha i mokra magnetska separacija s ciljem izdvajanja željeza kao magnetične, korisne komponente, dok nemagnetičnu, nekorisnu komponentu u ovom slučaju čine bakar, aluminij i mesing kako je prikazano na slici 4 - 179. Testiranje je provedeno na dva magnetska separatora, suhom visokointenzivnom i mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru, koji su opisani u poglavlju 4.3.4., a testirane su četiri klase (4/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm). Dobiveni rezultati, prikazani su u tablicama 4 – 72 i 4 – 73.

Slika 4 – 179 Prikaz tri uzorka klase 1/0,5 mm nakon magnetske separacije – u gornjim posudama nalazi se nemagnetična (nekorisna) komponenta, a u donjim posudama magnetična (korisna) komponenta

Pokusi suhe magnetske separacije provedeni su sa svakom klasom na istovjetan način kako je opisano u poglavlju 4.4.4. sa grupom „Z“. Kod suhog visokointenzivnog magnetskog separatora mijenjano je vrijeme doziranja uzorka 4, 2 i 1 minuta, dok su nepromjenljivi parametri bili: promjer i brzina vrtnje indukcijskog bubnja 150 m/min, položaj razdjelne ploče (skretača) i jakost magnetskog polja 240 kA/m. Pojedinačni uzorak svih četiriju klasa korišten je za sva tri pokusa na način da je nakon separacije s vremenom doziranja od 4 minute ponovno pomiješana magnetska komponenta sa jalovinom i dobiven prvobitni uzorak koji je ponovno separiran sa kraćim vremenom doziranja od 2 minute. Cijeli postupak je ponovljen sa vremenom doziranja od 1 minute.

Tablica 4 – 72 Uvjeti izvođenja i rezultati testiranja u suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru

Pokus br.	Klasa (mm)	Masa ulaznog uzorka (g)	Vrijeme doziranja (min)	Uzorak materijala nakon 1. propuštanja		1. Propuštanje jalovine		2. Propuštanje jalovine		Produkti magnetske separacije		Produkti magnetske separacije	
				Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (%)	Nemag. komp. (%)
1.	4/2	85,00	4	7,13	77,87	0,51	77,36	0,21	77,15	7,85	77,15	**9,24**	**90,76**
2.			2	5,88	79,12	0,47	78,65	0,25	78,40	6,60	78,40	**7,77**	**92,23**
3.			1	4,91	80,09	0,26	79,83	0,04	79,79	5,21	79,79	**6,13**	**93,87**
4.	2/1	75,00	4	11,83	63,17	0,82	62,35	0,32	62,03	12,97	62,03	**17,30**	**82,70**
5.			2	12,03	62,97	0,44	62,53	0,11	62,42	12,58	62,42	**16,77**	**83,23**
6.			1	11,38	63,62	0,47	63,15	0,12	63,03	11,97	63,03	**15,96**	**84,04**
7.	1/0,5	80,00	4	40,36	39,64	0,72	38,92	0,21	38,71	41,29	38,71	**51,61**	**48,39**
8.			2	41,79	38,21	0,68	37,53	0,19	37,34	42,66	37,34	**53,32**	**46,68**
9.			1	40,47	39,53	0,59	38,94	0,12	38,82	41,18	38,82	**51,48**	**48,52**
10.	-0,5	50,00	4	27,63	22,37	0,61	21,76	0,04	21,72	28,28	21,72	**56,56**	**43,44**
11.			2	27,52	22,48	0,55	21,93	0,09	21,84	28,16	21,84	**56,32**	**43,68**
12			1	26,43	23,57	0,49	23,08	0,07	23,01	26,99	23,01	**53,98**	**46,02**

Pregledom dobivenih rezultata u tablici 4 – 72 vidljivo je da se duljim vremenom separiranja postižu bolji rezultati odnosno doziranje treba ići u što je moguće tanjem sloju na površinu bubnja. Također je vidljivo da se u klasama 4/2 i 2/1 mm izdvojilo manje magnetične komponente za razliku od klasa 1/0,5 i -0,5 mm. Uzimajući maksimalno izdvojene vrijednosti magnetične komponente iz sve četiri klase izdvojeno je 91,76 grama magnetične komponente odnosno 31,64 % od ukupno separiranog materijala klasa 4/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm.

Pokusi mokre magnetske separacije provedeni su sa klasama 4/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm na isti način kao i u poglavlju 4.4.4. Svi testovi su provedeni pri istoj (maksimalno mogućoj) jakosti magnetskog polja pri jakosti struje od 12 A, te pri jednakom protoku vode od 2,35 l/min, a mijenjano je vrijeme doziranja uzorka. Podaci su prikazani u tablici 4 – 73.

Tablica 4 – 73 Uvjeti izvođenja pokusa u mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru

Pokus br.	Klasa (mm)	Masa ulaznog uzorka (g)	Vrijeme doziranja (min)	Produkti magnetske separacije		Produkti magnetske separacije	
				Magnetska komponenta (g)	Nemagnetska komponenta (g)	Magnetska komponenta (%)	Nemagnetska komponenta (%)
1.	4/2	85,00	6	15,03	69,97	**17,68**	**82,32**
2.			3	8,94	76,06	**10,52**	**89,48**
3.			1	6,15	78,85	**7,24**	**92,76**
4.	2/1	75,00	6	14,33	60,68	**19,10**	**80,90**
5.			3	14,07	60,93	**18,76**	**81,24**
6.			1	13,13	61,88	**17,50**	**82,50**
7.	1/0,5	80,00	6	39,76	40,24	**49,70**	**50,30**
8.			3	39,04	40,96	**48,80**	**51,20**
9.			1	37,63	42,37	**47,04**	**52,96**
10.	-0,5	50,00	6	23,96	26,04	**47,92**	**52,08**
11.			3	23,26	26,74	**46,52**	**53,48**
12.			1	22,18	27,82	**44,36**	**55,64**

Prema maksimalno izdvojenim količinama kod sve četiri klase dobiva se 134,40 grama magnetične komponente što predstavlja 46,34% od ukupno separiranog materijala. Prema dobivenim podacima također je vidljivo da je unutar većih klasa 4/2 mm i 2/1 mm izdvojeno manje magnetične komponente nego kod klasa 1/0,5 mm i -0,5 mm. Mora se primjetiti da su rezultati magnetske separacije sa niskointenzivnim magnetski separatorom bolji kod većih klasa u odnosu na viskointenzivni magnetski separator, a suprotno je sa manjim klasama. Naime, kod klase 4/2 mm suhim postupkom je izdvojeno maksimalno 9,24 % magnetične komponente, a mokrim postupkom je izdvojeno 17,68 % magnetične komponente odnosno 8,44 % više. Slično je i sa klasom 2/1 mm no ta razlika je nešto manja jer je suhim postupkom izdvojeno maksimalnih 12,97 % u odnosu na mokri postupak gdje je

izdvojeno maksimalnih 19,10 % magnetične komponente odnosno 6,13 %. Kod klase 1/0,5 mm je suhim postupkom izdvojeno 53,32 % magnetične komponente dok je mokrim postupkom izdvojeno 49,70 % odnosno 3,62 % manje magnetične komponente. Razlika je nešto veća kod klase -0,5 mm gdje je suhim postupkom maksimalno izdvojeno 56,56 % magnetične komponente, a mokrim postupkom 47,92 % odnosno 8,64 %.

Uzimajući maksimalne vrijednosti dobivene kod oba postupka separacije može se zaključiti da je mokri postupak sa 46,36 % učinkovitiji od suhog postupka sa 31,64 %. Upravo zbog dobivenih vrijednosti potrebno je razmotriti stavljanje magnetske separacije u ranije faze oplemenjivanja jer bi se izdvajanjem magnetične komponente smanjila količina ulaznog materijala u kojemu bi preostali nemagnetični materijali za daljnje postupke separiranja.

4.6. TESTIRANJE GRUPE „TISKANE PLOČICE“

Skupina materijala koja je naročito interesantna za testiranje zbog vodljive strukture na tiskanim pločicama prikazana slici 4 – 180 koju uglavnom čini bakar i zbog elektroničkih komponenata spojenih na tiskanu pločicu, sadržava mnoštvo rijetkih metala i to je jedan od razloga zbog čega su u ovom radu ispitane kao grupa „Tiskane pločice“ (u daljnjem tekstu grupa „TP“).

Slika 4 – 180 Tiskane pločice iz televizijskog aparata

U prosjeku jedna tiskana pločica iz televizijskog aparata teži oko 500 grama, a izolacijski dio može imati s jedne ili s obje strane vodljivu strukturu. Zbog nemogućnosti usitnjavanja velikih transformatora koji sadrže željezo isti su demontirani s pločica prije primarnog sitnjenja u udarnoj drobilici koja nije pogodna za takvo usitnjavanje.

Temeljni zadatak u ovom dijelu istraživanja je postići odvajanje "pertinaks-a (celulozna vlakna impregnirana fenolnom smolom) odnosno "vitroplast-a" (staklena vlakna impregnirana epoksidnom smolom) od vodljive strukture. Očekivani materijali su bakar, cink, aluminij, mesing, olovo, kositar, srebro i drugi rijetki metali (PRILOG 2 i 3), te izolacijski materijal.

4.6.1. Priprema uzorka

Nakon ručne demontaže i odvajanja kondenzatora većih od 25 mm u promjeru i/ili visini, te mehaničkog odstranjivanja metalnih okvira, transformatora i krupnijih komponenti sa tiskane pločice iste je trebalo prelomiti na manje komade kako bi mogle ući u udarnu drobilicu. Za eksperiment je pripremljeno 8 502,73 grama materijala. U laboratorijskoj udarnoj drobilici IZ-0 (Slika 4 - 181) provedeno je primarno sitnjenje i oslobađanje dijela pojedinih uklopljenih elemenata, te je na taj način iz ukupne mase bilo moguće odstraniti aluminijsku foliju iz manjih kondenzatora, kao i veće komade bakra, željeza, aluminija i mesinga (Slika 4 - 186) koji bi nepotrebno opterećivali postupak sekundarnog sitnjenja, a mogu biti vrednovani kao gotovi proizvodi. Masa ovako izdvojenih gotovih proizvoda iznosila je 977,39 grama odnosno 11,50 % izraženo kao maseni udio od ukupnog materijala predviđenog za testiranje.

Slika 4 – 181 Sitnjenje u udarnoj drobilici IZ-0

Slika 4 – 182 Ručnim probiranjem izdvojeni limovi i pojedini veći komadi metala koji se izdvajaju iz daljnjih postupaka sitnjenja

Slika 4 – 183 Materijali odvojeni nakon primarnog sitnjenja u udarnoj drobilici – željezo, aluminij i kondenzatori klase + 25 mm

Slika 4 - 184 Sekundarno sitnjenje tiskanih pločica u udarnoj drobilici sa rotirajućim pločicama

Primarno usitnjeni materijal, nakon izdvajanja kondenzatora, aluminijskih i željeznih limova je sekundarno usitnjen u udarnoj drobilici sa neovisno rotirajućim pločicama prikazanoj u poglavlju 4.3.1. Upravo zbog kombinacije kidanja, rezanja, sudaranja sa kučištem i sudaranja zrna o zrno, na rešetci s otvorima promjera 2 mm postignuto je oslobađanje vodljive strukture i komponenti od izolacijske podloge. Kao što je već ranije spomenuto, nedostatak ovog uređaja je što se nakon prestanka ulaza novog materijala unutar bubnja zajedno sa pločama u međuprostoru „vrtjela“ određena količina aluminijske folije od kondenzatora kao i krupniji komadi željeza, bakra, mesinga i željeza koju je trebalo na kraju odstraniti sijanjem u formi odsjeva na vibracijskom situ Denver Dillon.

Slika 4 - 185 Tiskane pločice nakon sekundarnog sitnjenja

4.6.2. Određivanje granulometrijskog sastava

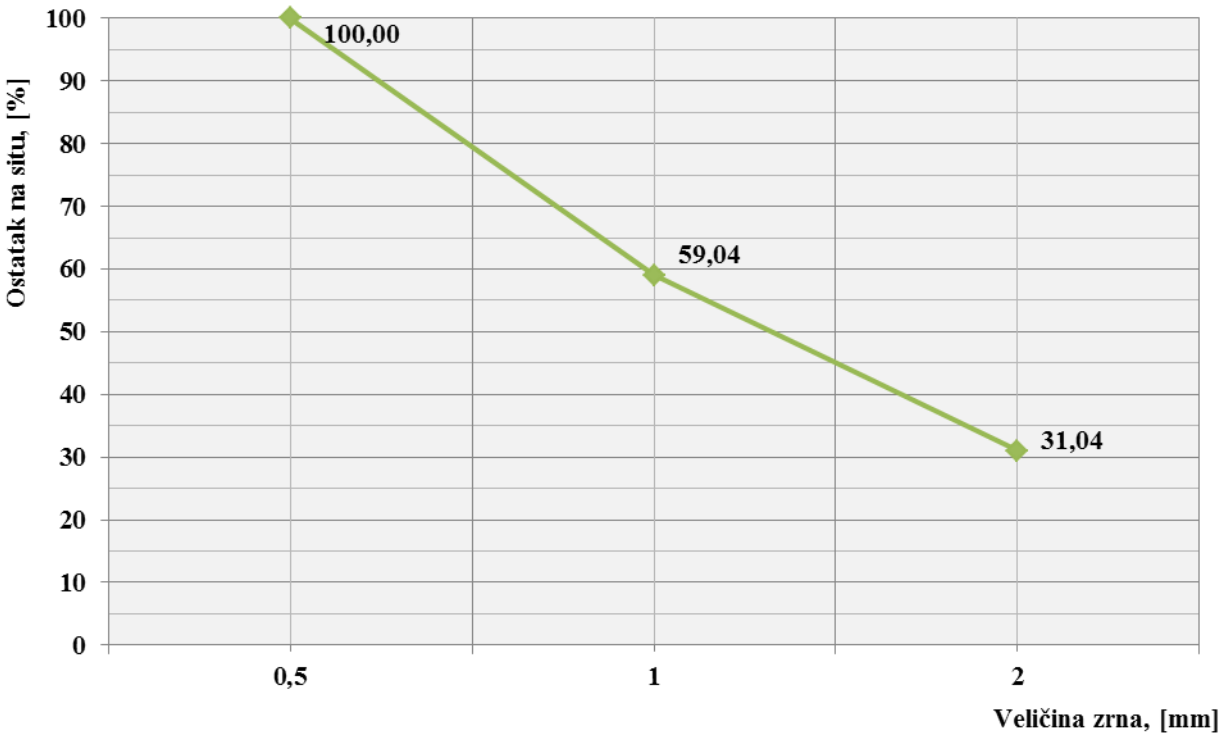
Granulometrijski sastav sekundarno usitnjenog materijala određen je na uzorku mase 427 grama koji je dobiven skraćivanjem na Jonesovom djelitelju. Rezultati određivanja granulometrijskog sastava prikazani su u tablici 4 - 74. Granulometrijska analiza je provedena postupkom suhog sijanja na standardnim laboratorijskim sitima s veličinom veličine otvora od 2, 1 i 0,5 mm i vaganjem dobivenih klasa. Sijanje je izvedeno pomoću laboratorijskog elektromagnetskog sita *FRITSCH "Analysette 3"* na sitima promjera 200 mm s pletenim prosjevnim površinama i kvadratičnim otvorima (poglavlje 4.3.2.).

Slika 4 – 186 Aluminijska folija i veći komadi aluminija, mesinga, bakra i željeza nakon sijanja na vibracijskom situ Denver Dillon

Tablica 4 – 74 Granulometrijski sastav materijala dobivenog sitnjenjem tiskanih pločica

KLASA [mm]	**MASA**		**MASA [cum.%]**
	[g]	**[%]**	
2/1	132,54	31,04	31,04
1/0,5	119,56	28,00	59,04
-0,5	174,90	40,96	**100,00**
UKUPNO:	**427,00**	**100,00**	

Rezultati dobiveni granulometrijskom analizom pokazuju da je nakon sekundarnog sitnjenja najzastupljenija klasa -0,5 mm s masenim udjelom od približno 41 %, zatim klasa 2/1 mm s masenim udjelom od 31 %, te konačno klasa 1/0,5 mm sa najmanjom zastupljenošću (28 %).



Slika 4 – 187 Granulometrijska krivulja usitnjenih tiskanih pločica

Unatoč velikom masenom udjelu od gotovo 41 %, klasa -0,5 mm nije pogodna za testiranje, zbog konstrukcijskih razloga uređaja jer dolazi do gubitka dijela uzorka koji se testira uslijed taloženja finih čestica, naročito izolacijskog materijala, na ionizacijskoj elektrodi i stijenkama kučišta separatora, što u konačnici utječe na točnost podataka i stoga su kemijski ili termički postupci pogodniji za ispitivanje ove klase (Wu et al., 2009). To je razlog zbog kojeg je odlučeno da se klasa -0,5 mm testira samo u magnetskim separatorima, ali ne i u elektrostatičkom i zračnom.

4.6.3. Magnetska separacija

Saznanja o većoj različitosti materijala zastupljenih u ovoj skupini i iskustvo stečeno u prijašnjim testovima bili su razlozi izmjene redoslijeda provođenja postupaka separiranja. Usitnjavanjem materijala u drobilici sa rešetkom s otvorima promjera 2 mm postignuto je kvalitetno oslobađanje korisne komponente od izolacijske podloge (raščin), a zbog pretpostavke da materijal sadrži dosta magnetične komponente prije zračne odnosno elektrostatske separacije dobivene klase 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm podvrgavaju se pokusima magnetske separacije.

Tablica 4 – 75 Uvjeti testiranja u suhom magnetskom separatoru – grupa „TP“

Pokus br.	Klasa (mm)	Masa ulaznog uzorka (g)	Vrijeme doziranja (min)	Uzorak materijala nakon 1. propuštanja		1. Propuštanje jalovine		2. Propuštanje jalovine		Produkti magnetske separacije		Produkti magnetske separacije	
				Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (g)	Nemag. komp. (g)	Mag. komp. (%)	Nemag. komp. (%)
1.	2/1	30,00	4	3,67	26,33	0,42	25,91	0,08	25,83	4,17	25,83	**13,90**	**86,10**
2.			2	3,48	26,52	0,44	26,08	0,18	25,90	4,10	25,90	**13,68**	**86,32**
3.			1	3,31	26,69	0,39	26,30	0,12	26,18	3,82	26,18	**12,72**	**87,28**
4.	1/0,5	30,00	4	3,11	26,89	0,13	26,76	0,08	26,68	3,32	26,68	**11,07**	**88,93**
5.			2	3,24	26,76	0,26	26,50	0,07	26,43	3,58	26,42	**11,94**	**88,06**
6.			1	2,88	27,12	0,19	26,93	0,08	26,85	3,15	26,85	**10,50**	**89,50**
7.	-0,5	40,00	4	11,03	28,97	0,40	28,57	0,11	28,46	11,54	28,46	**28,85**	**71,15**
8.			2	10,93	29,07	0,44	28,63	0,12	28,51	11,49	28,51	**28,73**	**71,27**
9.			1	10,87	29,13	0,39	28,74	0,10	28,64	11,36	28,64	**28,39**	**71,61**

Testovi suhe magnetske separacije provedeni su sa svakom klasom na istovjetan način kako je opisano u poglavlju 4.4.4. sa grupom „Z“. Kod suhog visokointenzivnog magnetskog separatora mijenjano je vrijeme doziranja uzorka (4, 2 i 1 minuta), dok su nepromjenljivi parametri bili: brzina rotiranja indukcijskog bubnja 150 m/min, i jakost magnetskog polja 240 kA/m. Pojedinačni uzorak svih triju klasa korišten je za sva tri testa na način da je nakon separacije s vremenom doziranja od 4 minute ponovno pomiješana magnetska komponenta s

jalovinom i dobiven prvobitni uzorak koji je ponovno separiran sa kraćim vremenom doziranja od 2 minute. Cijeli postupak je ponovljen sa vremenom doziranja od 1 minute.

Pregledom dobivenih rezultata u tablici 4 – 75 vidljivo je da se duljim vremenom separiranja postižu bolji rezultati odnosno doziranje treba ići u što je moguće tanjem sloju na površinu bubnja. Također je vidljivo da se u klasama 2/1 i 1/0,5 mm izdvojilo manje magnetične komponente za razliku od klase -0,5 mm. Uzimajući maksimalno izdvojene vrijednosti magnetične komponente iz sve tri klase izdvojeno je 19,29 grama magnetične komponente odnosno 19,29 % od ukupno separiranog materijala klasa 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm.

Sloj materijala na bubnju ne bi trebao biti deblji od veličine pojedinačne čestice. Također je vidljivo da se u najsitnijoj klasi -0,5 mm pojavljuje najveći udio magnetične komponente, 28,85 % dok se u klasi 1/0,5 mm javlja 11,07 %, a u klasi 2/1 dobiveno je 13,90 % magnetične komponente.

Pokusi mokre magnetske separacije provedeni su sa klasama 4/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm na isti način kao i u poglavlju 4.4.4. Svi testovi su provedeni pri istoj (maksimalno mogućoj) jakosti magnetskog polja pri jakosti struje od 12 A, te pri jednakom protoku vode od 2,35 l/min, a mijenjano je vrijeme doziranja uzorka. Podaci su prikazani u tablici 4 – 76.

Tablica 4 – 76 Uvjeti testiranja u mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru – grupa „TP“

Pokus br.	Klasa (mm)	Masa ulaznog uzorka (g)	Vrijeme doziranja (min)	Produkti magnetske separacije		Produkti magnetske separacije	
				Magnetska komponenta (g)	Nemagnetska komponenta (g)	Magnetska komponenta (%)	Nemagnetska komponenta (%)
1	2/1	30,00	6	3,55	26,45	**11,82**	**88,18**
2			3	3,50	26,50	**11,66**	**88,34**
3			1	3,38	26,62	**11,26**	**88,74**
4	1/0,5	30,00	6	3,53	26,47	**11,78**	**88,22**
5			3	3,39	26,61	**11,30**	**88,70**
6			1	3,16	26,84	**10,52**	**89,48**
7	-0,5	40,00	6	9,82	30,18	**24,56**	**75,44**
8			3	9,71	30,29	**24,28**	**75,72**
9			1	8,84	31,16	**22,10**	**77,90**

Prema maksimalno izdvojenim količinama kod sve tri klase dobiva se 16,90 grama magnetične komponente što predstavlja 16,90 % od ukupno separiranog materijala. Prema dobivenim podacima iz tablice 4 – 76 također je vidljivo da je u klasama 2/1 i 1/0,5 mm izdvojeno manje magnetične komponente nego u klasi -0,5 mm. Može se primijetiti da su rezultati magnetske separacije sa niskointenzivnim magnetskim separatorom bolji kod svih klasa u odnosu na viskointenzivni magnetski separator. Gledajući sve tri klase najmanja razlika između suhog i mokrog postupka je kod klase 1/0,5 mm.

Naime, kod klase 2/1 mm suhim postupkom je izdvojeno maksimalnih 13,90 % u odnosu na mokri postupak gdje je izdvojeno maksimalnih 11,82 % magnetične komponente što je za 2,08 % manje. Kod klase 1/0,5 mm je suhim postupkom izdvojeno 11,94 % magnetične komponente dok je mokrim postupkom izdvojeno 1,78 % odnosno 0,16 % manje magnetične komponente. Razlika je nešto veća kod klase -0,5 mm gdje je suhim postupkom maksimalno izdvojeno 28,85 % magnetične komponente, a mokrim postupkom 24,56 % odnosno 4,29% manje.

Uzimajući maksimalne vrijednosti dobivene kod oba postupka separacije može se zaključiti da je mokri postupak sa 48,16 % manje učinkovitiji od suhog postupka sa 54,69 %. Zbog razlike od 6,53 % ali i zbog prisutnosti raznih metala koji bi različito reagirali sa vodom za grupu „Tiskane pločice“ poželjnije je primijeniti suhi postupak magnetske separacije. Uz navedeno za nemagnetični materijal (bakar, aluminij, mesing, pertinaks i dr.) koji treba tek proći separaciju suhim postupkom izbjegavamo potrebu za sušenjem materijala kao i pročišćavanje otpadne vode.

4.6.4. Separiranje u zračnom separatoru

Kao i u prethodne dvije grupe u ovoj fazi ispitivanja grupe „TP“ određen je utjecaj visine pregrade, brzine strujanja zraka i udaljenosti ulaznog otvora od izvora zračne struje na efikasnost separiranja, pri čemu je pokazatelj uspješnosti separacije bila kvaliteta koncentrata i maseno iskorištenje (zavisne varijable). Ispitivanje grupe „TP“ je provedeno potpuno jednakom metodologijom kao i ispitivanje grupe „Z“ i „OSKKŽ“ opisane u poglavlju 4.4.3.

Pri izradi plana testiranja kao i u poglavlju 4.4.3. definirane su (slika 4 – 77) središnje vrijednosti nezavisnih varijabli (h_o, v_o, d_o) i korak za svaku od varijabli (c_h, c_v, c_d):

h_o = 160 mm c_h = 3 mm

v_o = 9,5 m/s c_v = 2,0 m/s

d_o = 35 mm c_d = 15 mm

Tablica 4 – 77 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli za zračni separator – grupa „TP“

x' Kodirana vrijednost	**x** Stvarna vrijednost		
	h* = *x₁ Visina pregrade (m/s)	***v* = *x₂*** Brzina strujanja zraka (m/s)	***d* = *x₃*** Udaljenost ulaznog otvora (mm)
-1.68179	155	6,0	10
-1.00000	158	7,5	20
0.00000	160	9,5	35
1.00000	163	11,5	50
1.68179	165	13,0	60

4.6.4.1. Ispitivanje klase 2/1 mm

Sijanjem je pripremljen uzorak mase od 50 grama. U testovima separacije u zračnoj struji se iz cijelog uzorka nastojalo izdvojiti aluminijsku foliju kondenzatora od ostalog materijala, pa je zato pri prikazu rezultata smatrana nekorisnom komponentom, iako se i ona reciklira i ne predstavlja otpad. Korisnom komponentom smatrani su svi ostali materijali odnosno metali. Smatram važnim još jednom naglasiti da iako je u testiranju označena kao nekorisna komponenta u praksi se tanki listići aluminijske folije prešaju u kocke jer bi u termičkom postupku rasuti listići izgorjeli bez dobitka korisnog aluminija. Ručnim probiranjem i vaganjem određen je maseni udio korisne komponente u ulaznom uzorku od 99,42 %, a maseni udio nekorisne komponente iznosi 0,58 %. Nekorisna komponenta nalazi se u uzorku u formi tankih listića aluminija zbog čega se očekuje njezino uspješno separiranje od korisne komponente (ostalih metala).

Rezultati ispitivanja klase 2/1 mm – grupa „TP“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 78.

Tablica 4 – 78 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „TP“

Pokus br.	Visina pregrade mm	Brzina zraka m/s	Položaj usipnog otvora mm	KVALITETA KONCENTRATA %	MASENO ISKORIŠTENJE %
1	157	6,4	20	99,87	99,35
2	157	7,6	50	94,71	94,16
3	163	6,4	50	99,02	98,44
4	163	7,6	20	100,00	99,45
5(c)	160	7	35	99,12	98,54
6	157	6,4	50	98,53	97,95
7	157	7,6	20	99,97	99,38
8	163	6,4	20	99,97	99,42
9	163	7,6	50	96,21	95,65
10(c)	160	7	35	99,09	98,51
11	155	7	35	99,09	98,51
12	165	7	35	99,35	98,80
13	160	6	35	99,41	98,86
14	160	8	35	99,05	98,47
15	160	7	10	99,54	99,12
16	160	7	60	82,69	82,21
17(c)	160	7	35	99,61	99,03

Tablica 4 – 79 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	99,08810	1,698035	58,35458	0,000000	99,08810	1,698035
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,37672	1,602965	0,23502	0,820924	0,18836	0,801483
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-1,04754	1,602965	-0,65350	0,534302	-0,52377	0,801483
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-5,81656	1,602965	-3,62862	0,008413	-2,90828	0,801483
Visina pregrade, mm (Q)	0,99521	1,778233	0,55966	0,593158	0,49760	0,889116
Brzina zraka, m/s (Q)	1,00241	1,778233	0,56371	0,590544	0,50120	0,889116
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-4,84039	1,778233	-2,72202	0,029679	-2,42020	0,889116
1L by 2L	0,23500	2,086593	0,11262	0,913491	0,11750	1,043297
1L by 3L	0,46500	2,086593	0,22285	0,830014	0,23250	1,043297
2L by 3L	-1,69000	2,086593	-0,80993	0,444635	-0,84500	1,043297

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 79 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

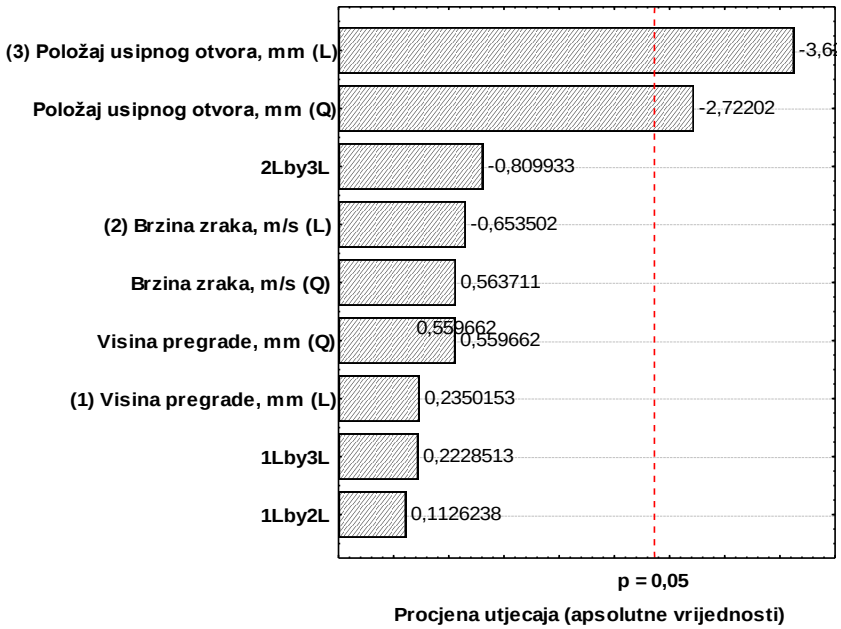
$$\boldsymbol{Y = 1{,}70 + 0{,}80h + 0{,}80v + 0{,}80\,d - 0{,}89\,h^2 + 0{,}89v^2 + 0{,}89d^2 + 1{,}04\,h \cdot v + 1{,}04\,h \cdot d + 1{,}04v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 79 i 4 – 80 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 25).

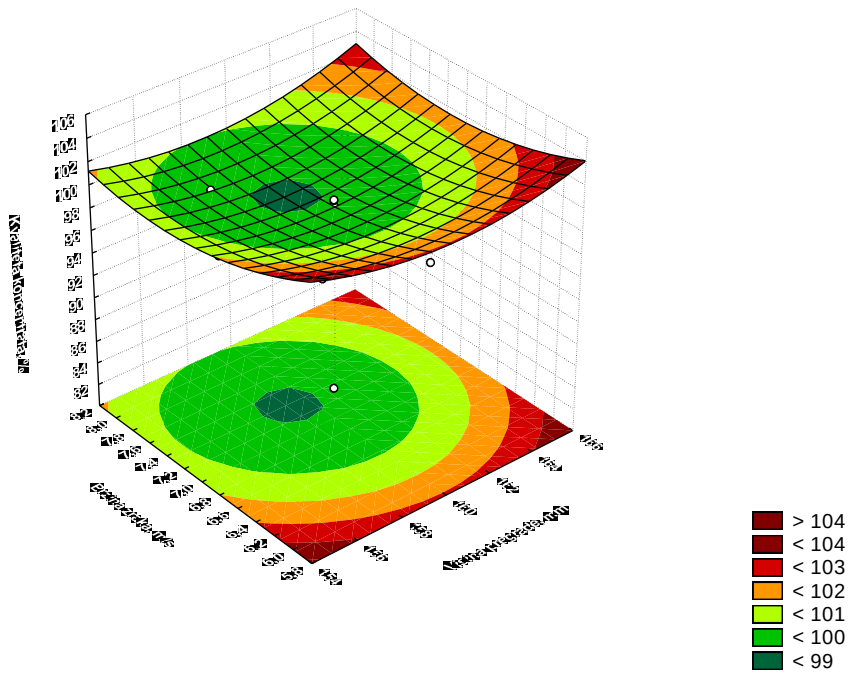
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 2/1 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 188, 4 – 190 i 4 – 192) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 189, 4 – 191 i 4 – 193) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 80 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“

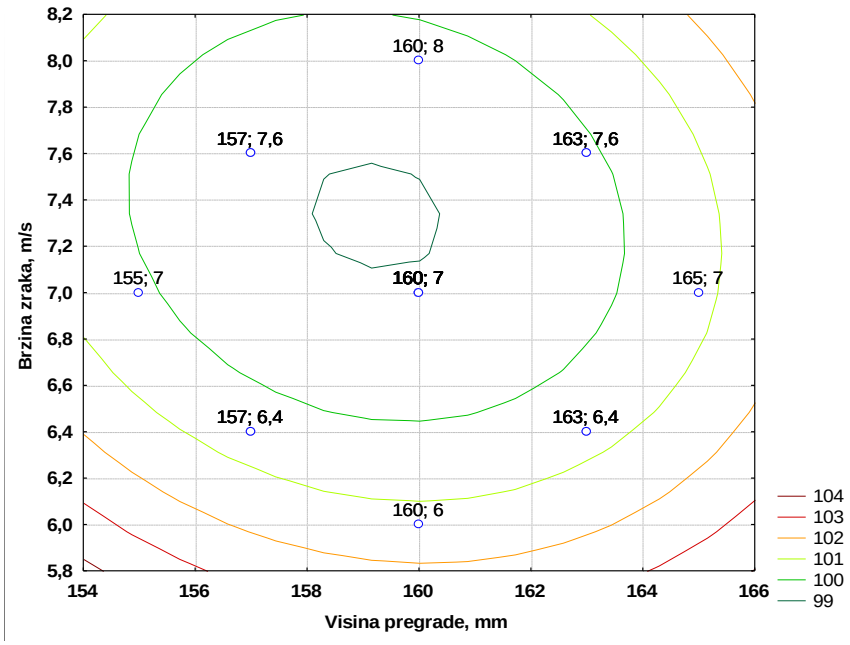
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,4809	1	0,4809	0,05523	0,820924
(2) Brzina zraka, m/s (L)	3,7188	1	3,7188	0,42706	0,534302
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	114,6540	1	114,6540	13,16691	0,008413
Visina pregrade, mm (Q)	2,7275	1	2,7275	0,31322	0,593158
Brzina zraka, m/s (Q)	2,7671	1	2,7671	0,31777	0,590544
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	64,5192	1	64,5192	7,40941	0,029679
1L by 2L	0,1104	1	0,1104	0,01268	0,913491
1L by 3L	0,4325	1	0,4325	0,04966	0,830014
2L by 3L	5,7122	1	5,7122	0,65599	0,444635
Pogreška *(Eror)*	60,9542	7	8,7077		
Total SS	278,4768	16			



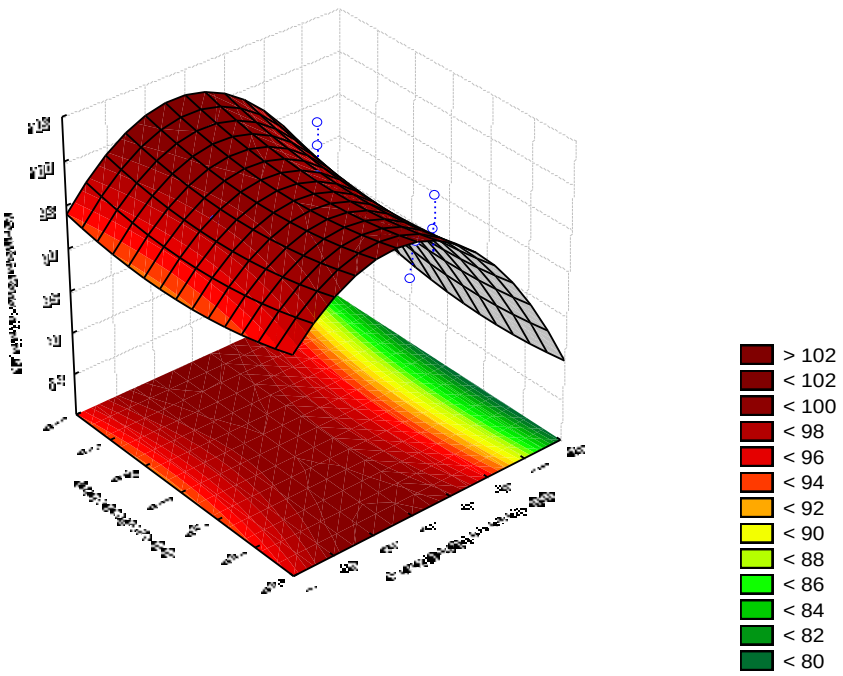
Grafikon 4 – 25 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“



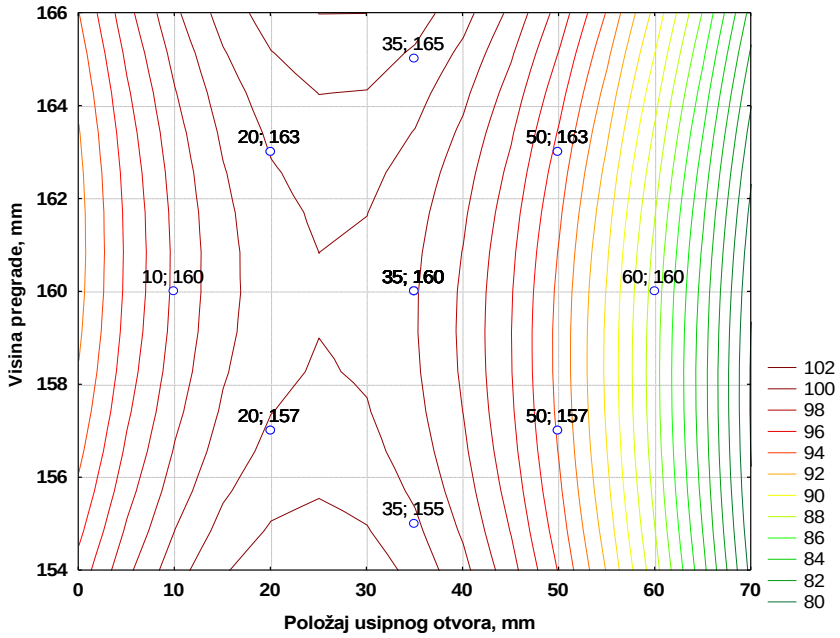
Slika 4 – 188 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



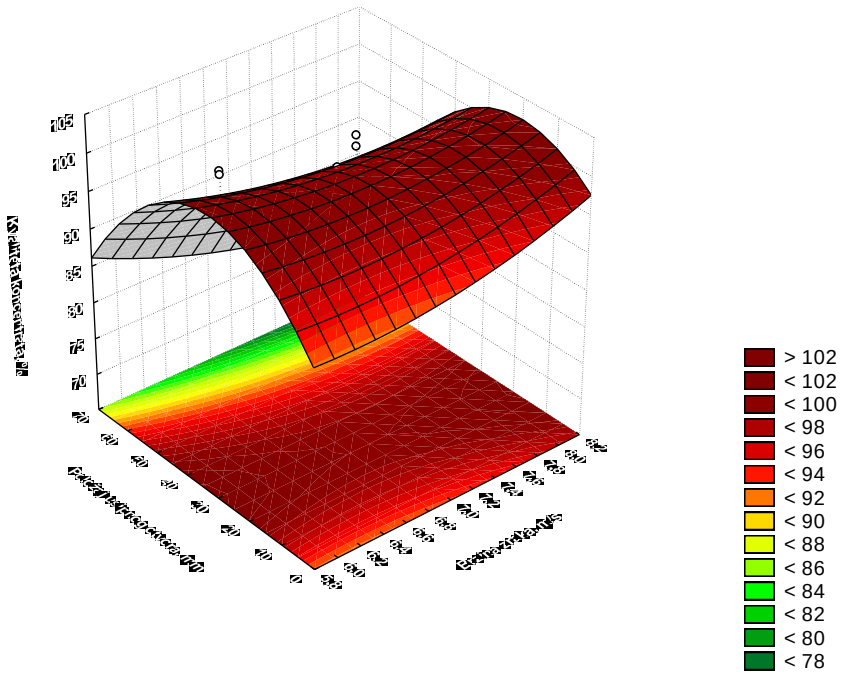
Slika 4 – 189 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



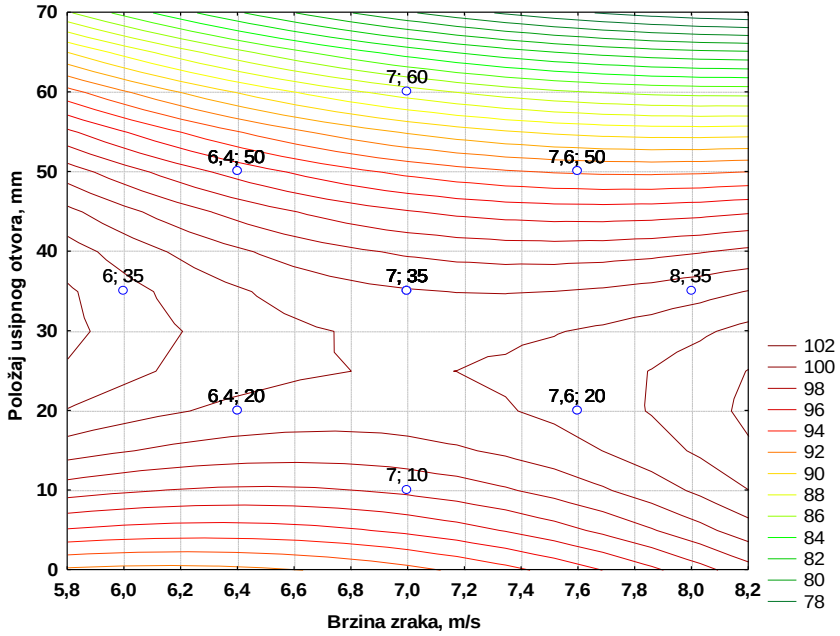
Slika 4 – 190 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 191 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 192 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“



Slika 4 – 193 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“

Tablica 4 – 81 Procjena utjecaja varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	98,51122	1,693451	58,17186	0,000000	98,51122	1,693451
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,38410	1,598638	0,24027	0,817009	0,19205	0,799319
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-1,05787	1,598638	-0,66173	0,529317	-0,52893	0,799319
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-5,84016	1,598638	-3,65321	0,008143	-2,92008	0,799319
Visina pregrade, mm (Q)	0,98861	1,773433	0,55745	0,594585	0,49430	0,886716
Brzina zraka, m/s (Q)	0,99581	1,773433	0,56151	0,591961	0,49790	0,886716
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-4,76419	1,773433	-2,68642	0,031247	-2,38210	0,886716
1L by 2L	0,25000	2,080961	0,12014	0,907750	0,12500	1,040480
1L by 3L	0,46000	2,080961	0,22105	0,831362	0,23000	1,040480
2L by 3L	-1,66000	2,080961	-0,79771	0,451247	-0,83000	1,040480

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 81 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

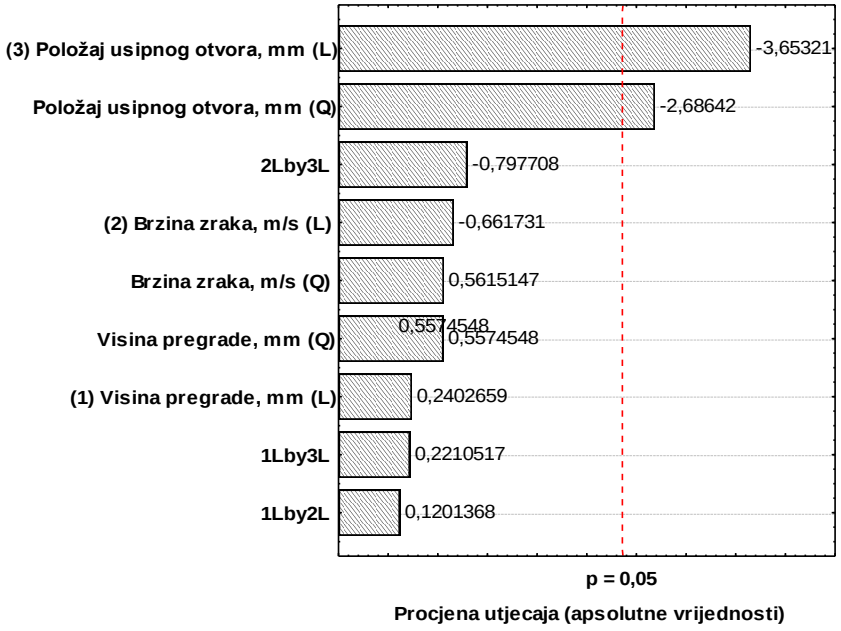
$$\boldsymbol{Y = 1{,}69 + 0{,}80h + 0{,}80v + 0{,}80d + 0{,}89h^2 + 0{,}89v^2 + 0{,}89d^2 + 1{,}04h \cdot v + 1{,}04h \cdot d + 1{,}04v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 81 i 4 – 82, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 2.

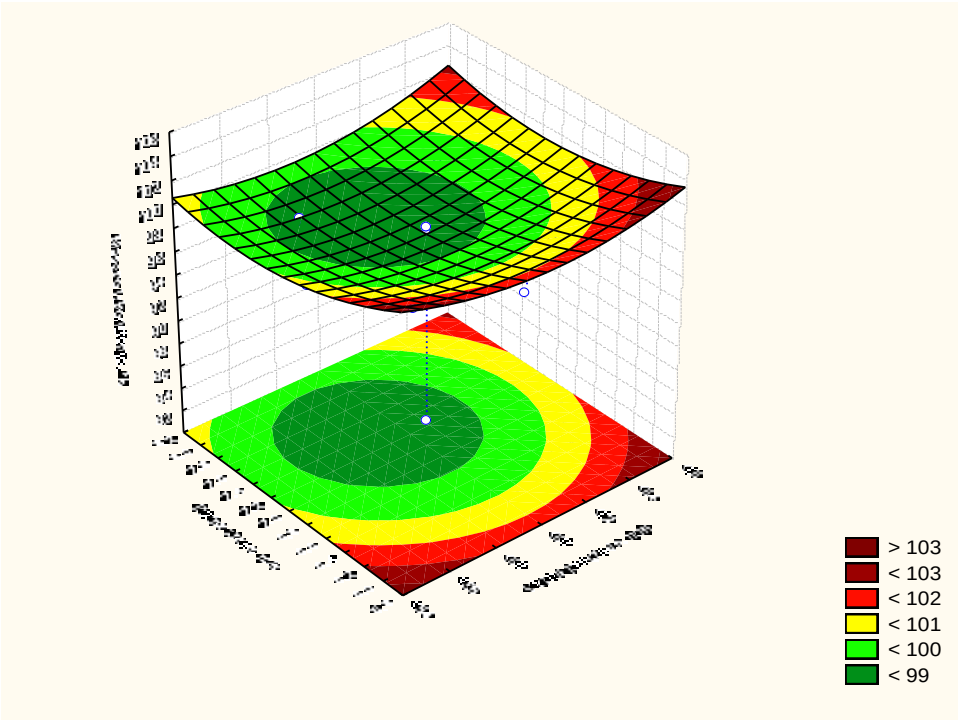
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 32, 4 – 34 i 4 – 36) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 33, 4 – 35 i 4 – 37) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 82 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“

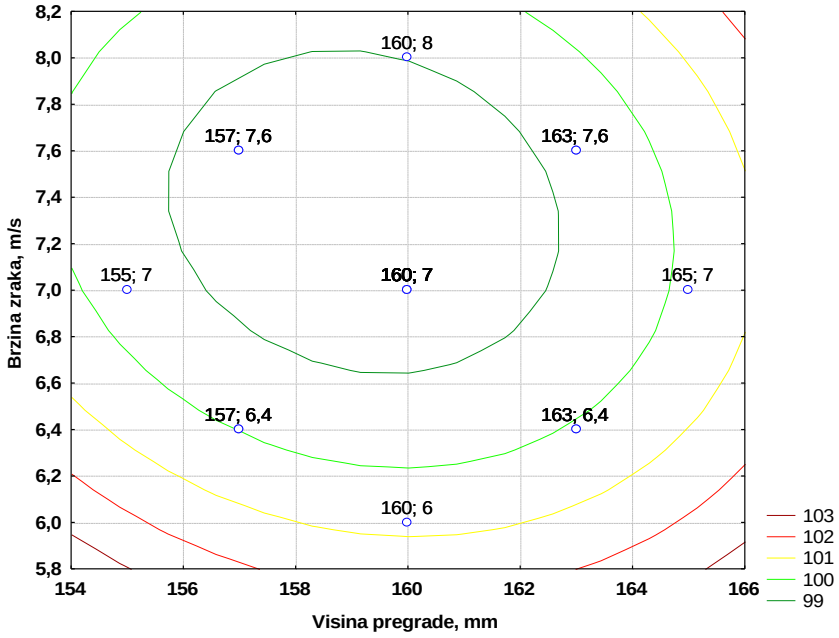
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,5000	1	0,5000	0,05773	0,817009
(2) Brzina zraka, m/s (L)	3,7925	1	3,7925	0,43789	0,529317
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	115,5866	1	115,5866	13,34595	0,008143
Visina pregrade, mm (Q)	2,6914	1	2,6914	0,31076	0,594585
Brzina zraka, m/s (Q)	2,7307	1	2,7307	0,31530	0,591961
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	62,5038	1	62,5038	7,21687	0,031247
1L by 2L	0,1250	1	0,1250	0,01443	0,907750
1L by 3L	0,4232	1	0,4232	0,04886	0,831362
2L by 3L	5,5112	1	5,5112	0,63634	0,451247
Pogreška *(Eror)*	60,6256	7	8,6608		
Total SS	276,3016	16			



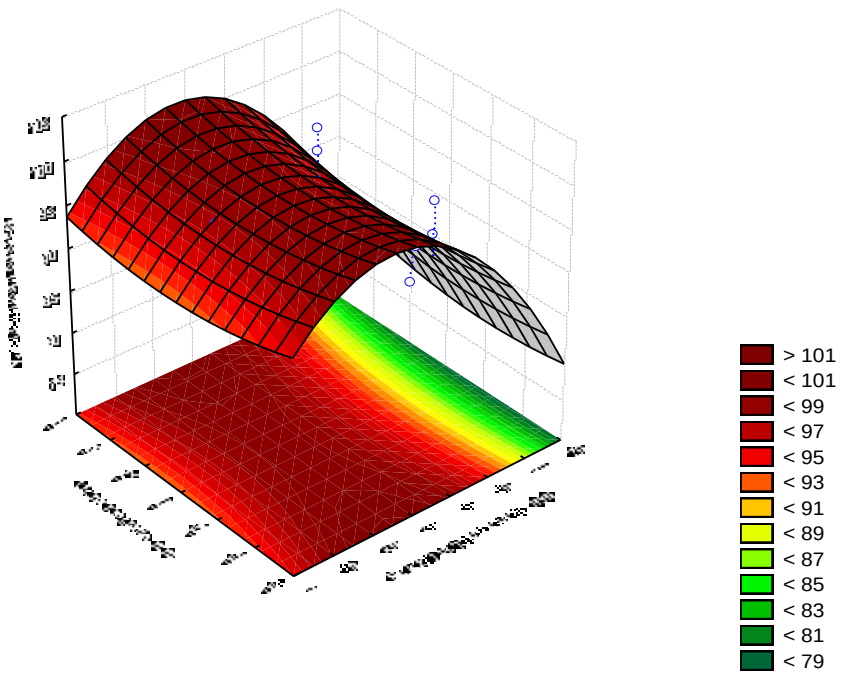
Grafikon 4 – 26 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“



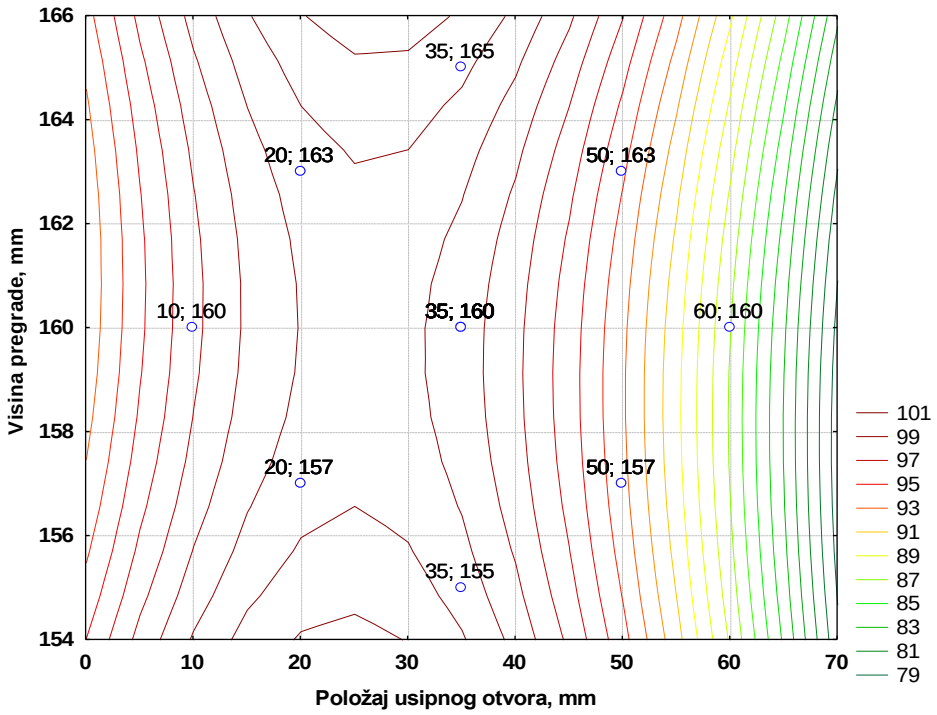
Slika 4 – 194 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



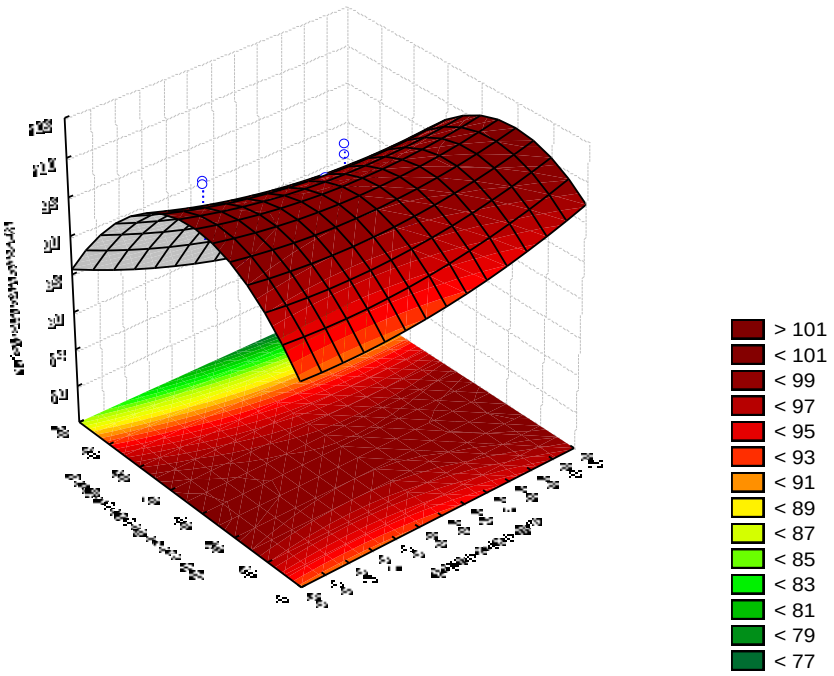
Slika 4 – 195 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



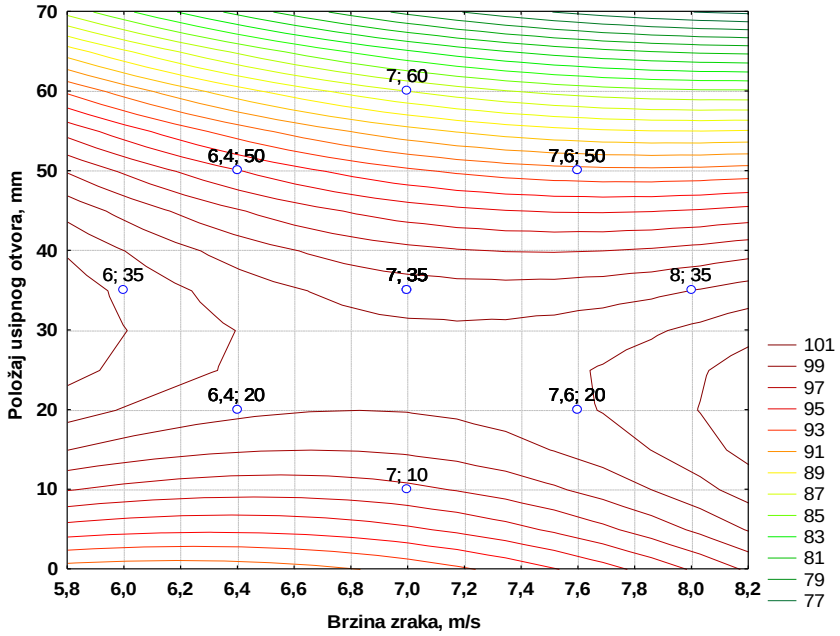
Slika 4 – 196 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 197 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 198 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“



Slika 4 – 199 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“

4.6.4.2. Ispitivanje klase 1/0,5 mm

Sijanjem je pripremljen uzorak mase 50 grama. Ručnim probiranjem i vaganjem određen je maseni udio korisne komponente koja u uzorku iznosi 99,09 %, dok je maseni udio nekorisne 0,91 % u klasi 1/0,5 mm.

Rezultati ispitivanja klase 1/0,5 mm – grupa „TP“ u zračnom separatoru prikazani su u tablici 4 – 83.

Tablica 4 – 83 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „TP“

Pokus br.	**Visina pregrade mm**	**Brzina zraka m/s**	**Položaj usipnog otvora mm**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	157	6,4	20	99,87	99,00
2	157	7,6	50	94,47	93,61
3	163	6,4	50	95,05	94,19
4	163	7,6	20	98,78	97,92
5(c)	160	7	35	99,34	98,43
6	157	6,4	50	95,67	94,80
7	157	7,6	20	99,44	98,56
8	163	6,4	20	99,94	99,11
9	163	7,6	50	94,17	93,31
10(c)	160	7	35	99,42	98,51
11	155	7	35	97,60	96,71
12	165	7	35	98,22	97,35
13	160	6	35	98,82	97,98
14	160	8	35	98,14	97,24
15	160	7	10	99,59	98,73
16	160	7	60	81,58	80,84
17(c)	160	7	35	99,23	98,32

Tablica 4 – 84 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	99,17996	1,407749	70,45286	0,000000	99,17996	1,407749
(1) Visina pregrade, mm (L)	-0,07033	1,328932	-0,05292	0,959274	-0,03516	0,664466
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-0,70869	1,328932	-0,53328	0,610347	-0,35434	0,664466
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-7,18328	1,328932	-5,40530	0,001003	-3,59164	0,664466
Visina pregrade, mm (Q)	-0,18516	1,474237	-0,12560	0,903583	-0,09258	0,737118
Brzina zraka, m/s (Q)	0,22524	1,474237	0,15279	0,882878	0,11262	0,737118
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-5,45916	1,474237	-3,70304	0,007624	-2,72958	0,737118
1L by 2L	-0,10250	1,729882	-0,05925	0,954407	-0,05125	0,864941
1L by 3L	-0,08250	1,729882	-0,04769	0,963295	-0,04125	0,864941
2L by 3L	-0,12250	1,729882	-0,07081	0,945526	-0,06125	0,864941

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 84 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (*h*, *v*, *d*);

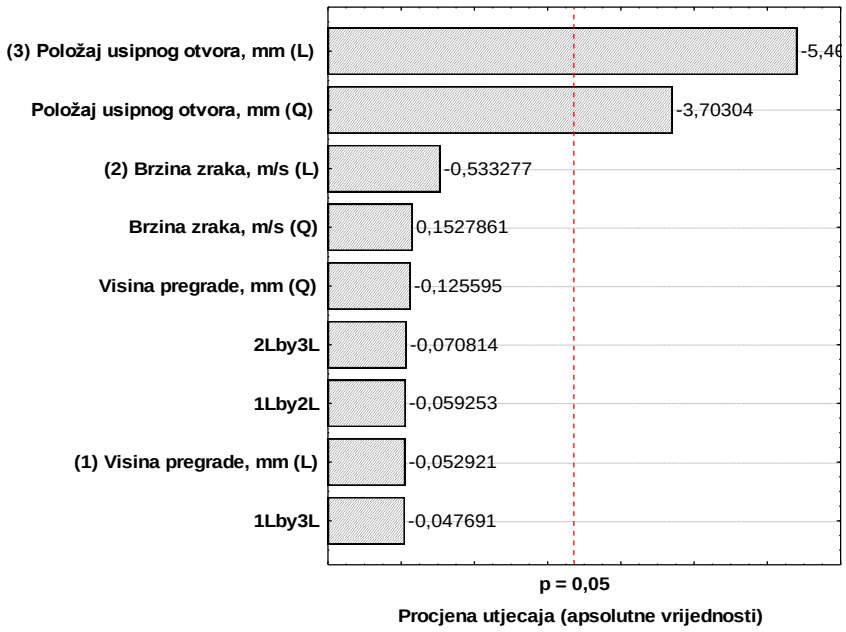
$$\boldsymbol{Y = 1{,}41 + 0{,}66h + 0{,}66v + 0{,}66d - 0{,}74h^2 + 0{,}74v^2 + 0{,}74d^2 + 0{,}86h \cdot v + 0{,}86h \cdot d + 0{,}86v \cdot d}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 84 i 4 – 85 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 27).

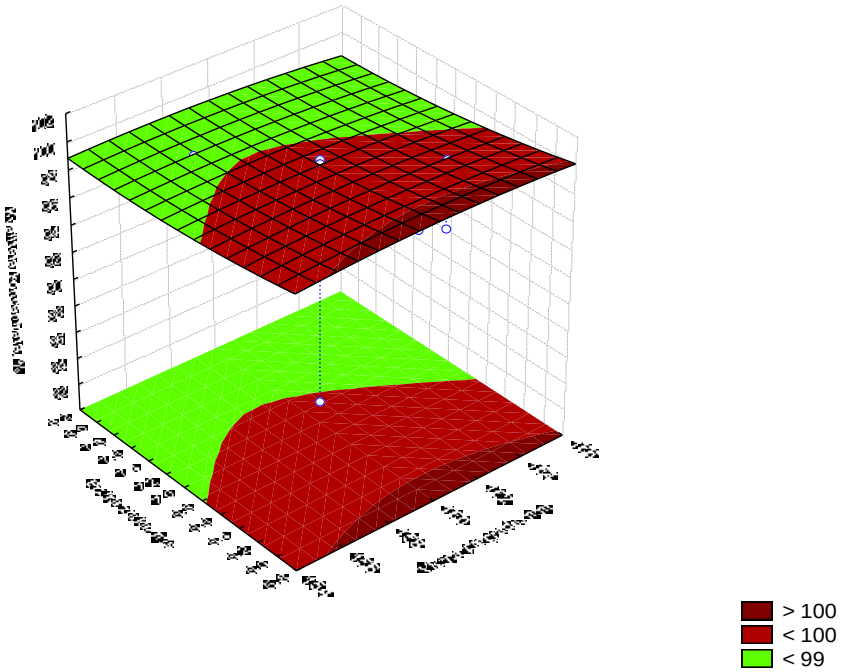
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 1/0,5 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 200, 4 – 202 i 4 – 204) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 201, 4 – 203 i 4 – 205) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 85 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

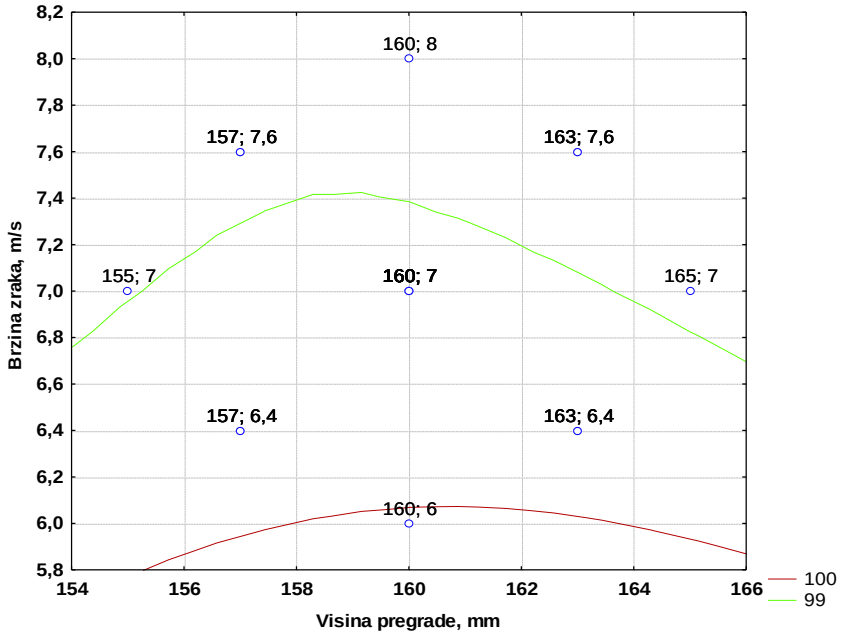
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,0168	1	0,0168	0,00280	0,959274
(2) Brzina zraka, m/s (L)	1,7020	1	1,7020	0,28438	0,610347
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	174,8649	1	174,8649	29,21728	0,001003
Visina pregrade, mm (Q)	0,0944	1	0,0944	0,01577	0,903583
Brzina zraka, m/s (Q)	0,1397	1	0,1397	0,02334	0,882878
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	82,0691	1	82,0691	13,71250	0,007624
1L by 2L	0,0210	1	0,0210	0,00351	0,954407
1L by 3L	0,0136	1	0,0136	0,00227	0,963295
2L by 3L	0,0300	1	0,0300	0,00501	0,945526
Pogreška *(Eror)*	41,8949	7	5,9850		
Total SS	313,2271	16			



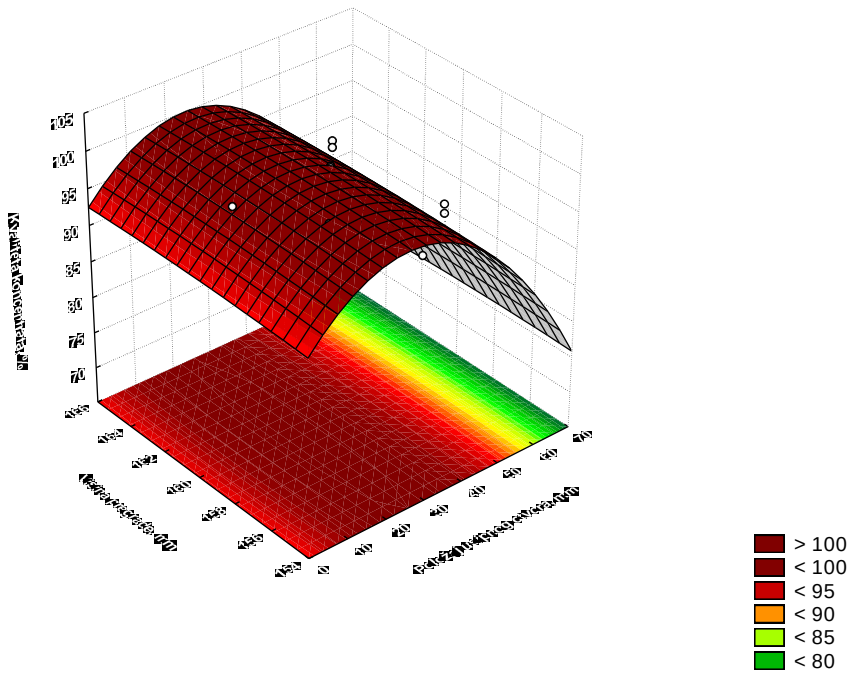
Grafikon 4 – 27 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“



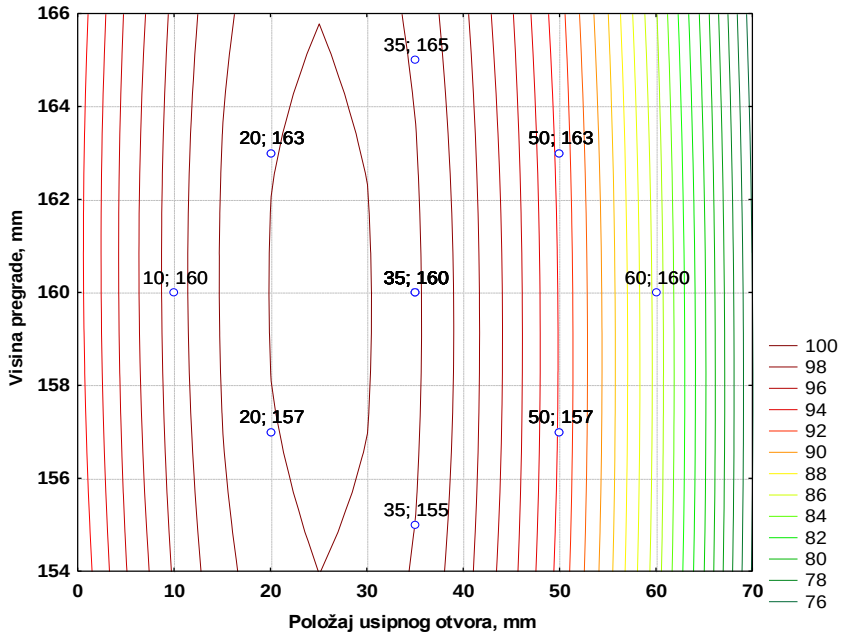
Slika 4 – 200 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



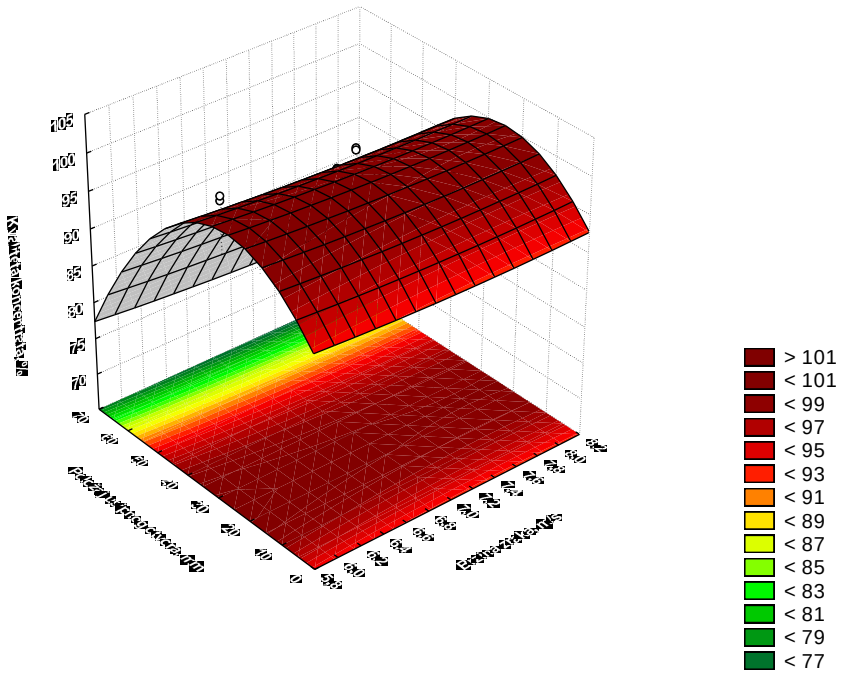
Slika 4 – 201 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



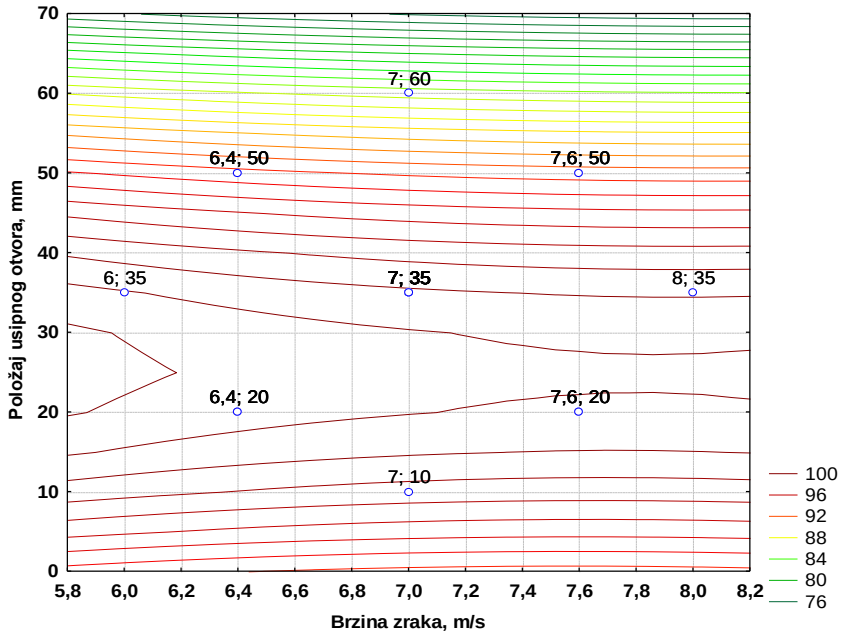
Slika 4 – 202 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 203 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 204 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“



Slika 4 – 205 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“

Tablica 4 – 86 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	98,27129	1,391659	70,61447	0,000000	98,27129	1,391659
(1) Visina pregrade, mm (L)	-0,05508	1,313743	-0,04193	0,967727	-0,02754	0,656872
(2) Brzina zraka, m/s (L)	-0,72787	1,313743	-0,55404	0,596796	-0,36393	0,656872
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	-7,15525	1,313743	-5,44646	0,000960	-3,57762	0,656872
Visina pregrade, mm (Q)	-0,17098	1,457387	-0,11732	0,909900	-0,08549	0,728694
Brzina zraka, m/s (Q)	0,24662	1,457387	0,16922	0,870412	0,12331	0,728694
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	-5,38738	1,457387	-3,69661	0,007689	-2,69369	0,728694
1L by 2L	-0,11000	1,710110	-0,06432	0,950511	-0,05500	0,855055
1L by 3L	-0,09500	1,710110	-0,05555	0,957251	-0,04750	0,855055
2L by 3L	-0,11000	1,710110	-0,06432	0,950511	-0,05500	0,855055

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 86 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (*h, v, d*);

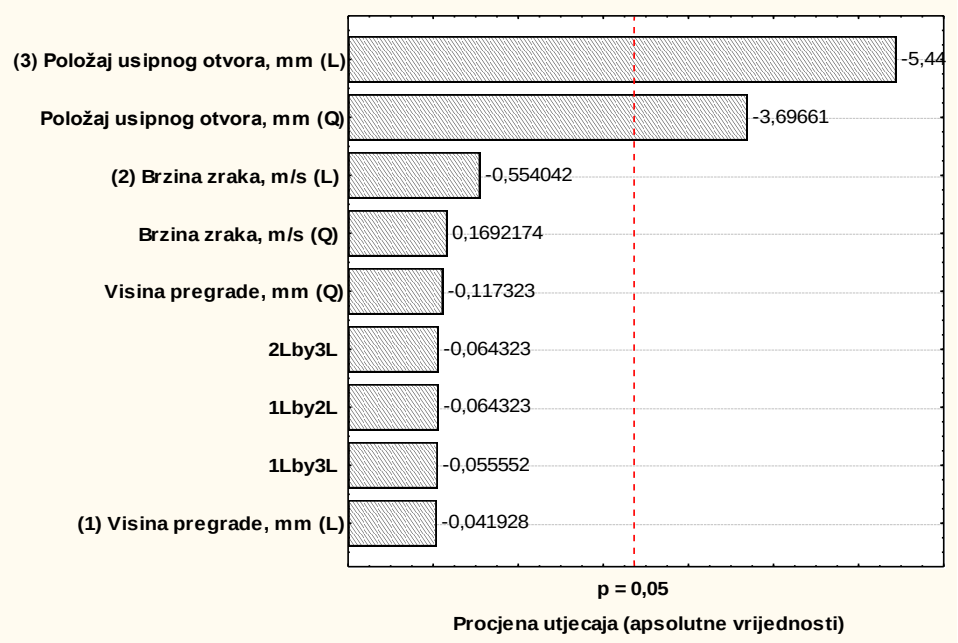
$$\boldsymbol{Y = 1{,}39 + 0{,}66h + 0{,}66v + 0{,}66d + 0{,}73h^2 + 0{,}73v^2 + 0{,}73d^2 + 0{,}86h \cdot v + 0{,}86h \cdot d + 0{,}86v \cdot d}$$

Za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 86 i 4 – 87, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 28.

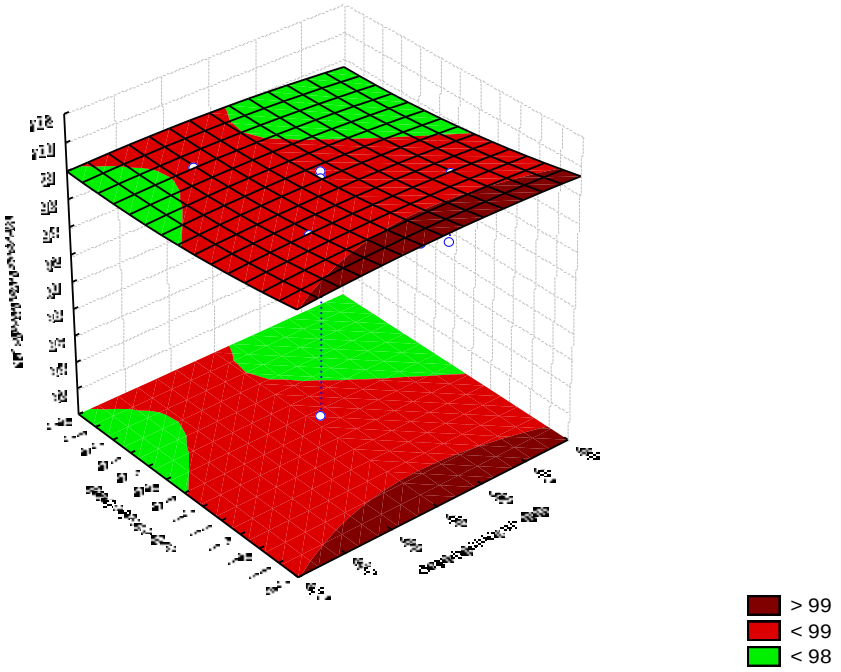
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 206, 4 – 208 i 4 – 210) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 207, 4 – 209 i 4 – 211) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 87 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

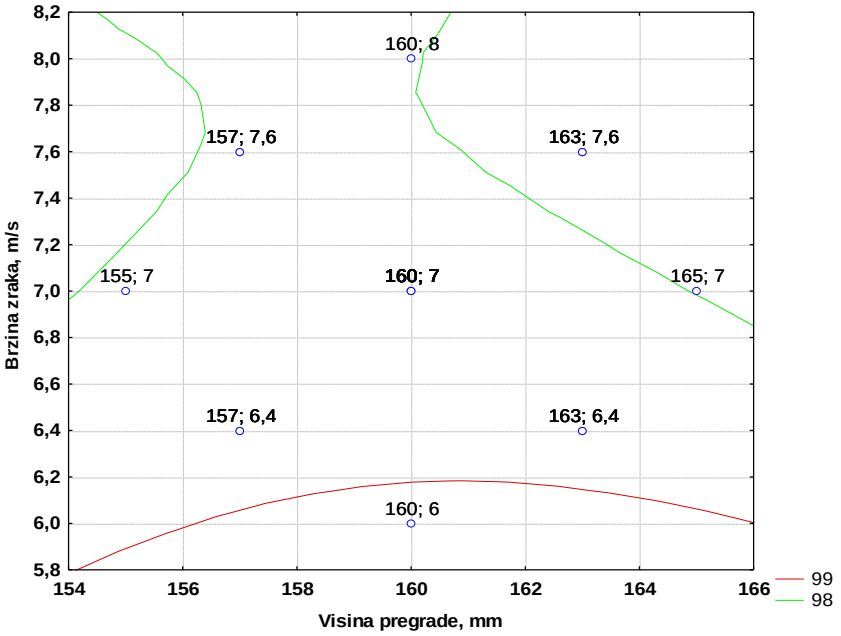
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	P
(1) Visina pregrade, mm (L)	0,0103	1	0,0103	0,00176	0,967727
(2) Brzina zraka, m/s (L)	1,7954	1	1,7954	0,30696	0,596796
(3) Položaj usipnog otvora, mm (L)	173,5028	1	173,5028	29,66390	0,000960
Visina pregrade, mm (Q)	0,0805	1	0,0805	0,01376	0,909900
Brzina zraka, m/s (Q)	0,1675	1	0,1675	0,02863	0,870412
Položaj usipnog otvora, mm (Q)	79,9253	1	79,9253	13,66489	0,007689
1L by 2L	0,0242	1	0,0242	0,00414	0,950511
1L by 3L	0,0180	1	0,0180	0,00309	0,957251
2L by 3L	0,0242	1	0,0242	0,00414	0,950511
Pogreška *(Eror)*	40,9427	7	5,8490		
Total SS	308,8262	16			



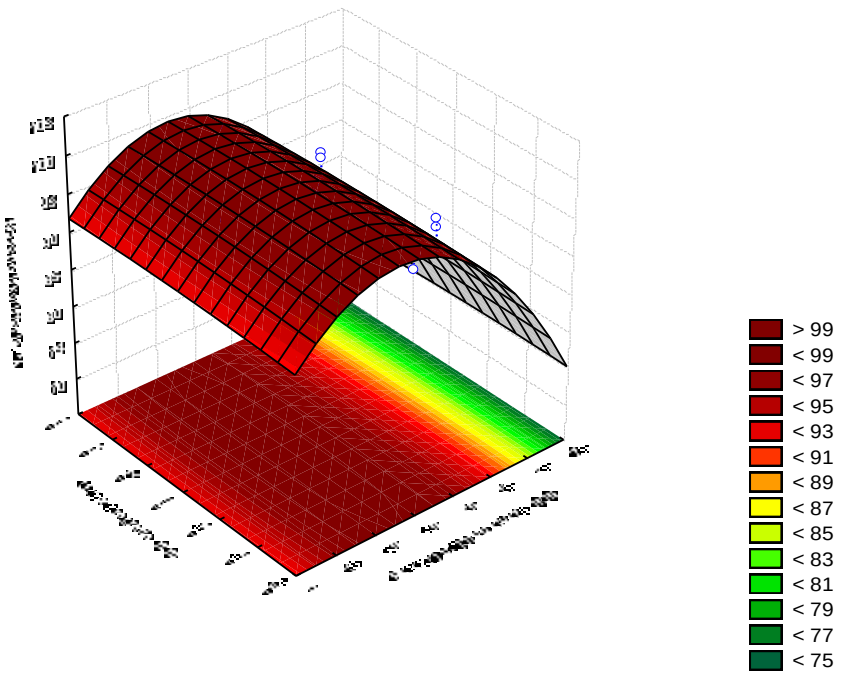
Grafikon 4 – 28 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“



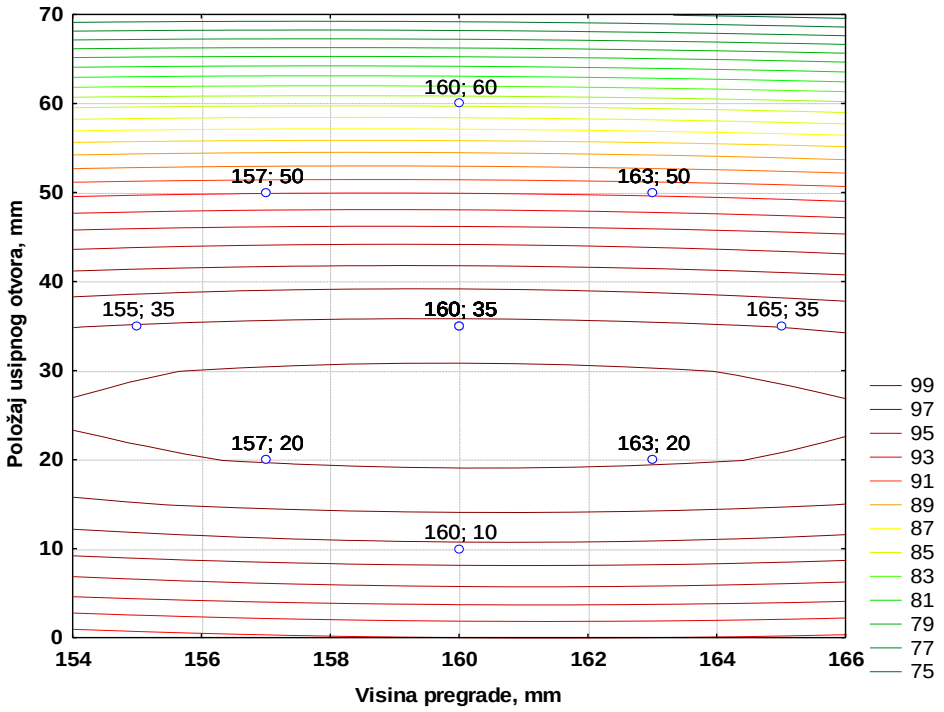
Slika 4 – 206 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



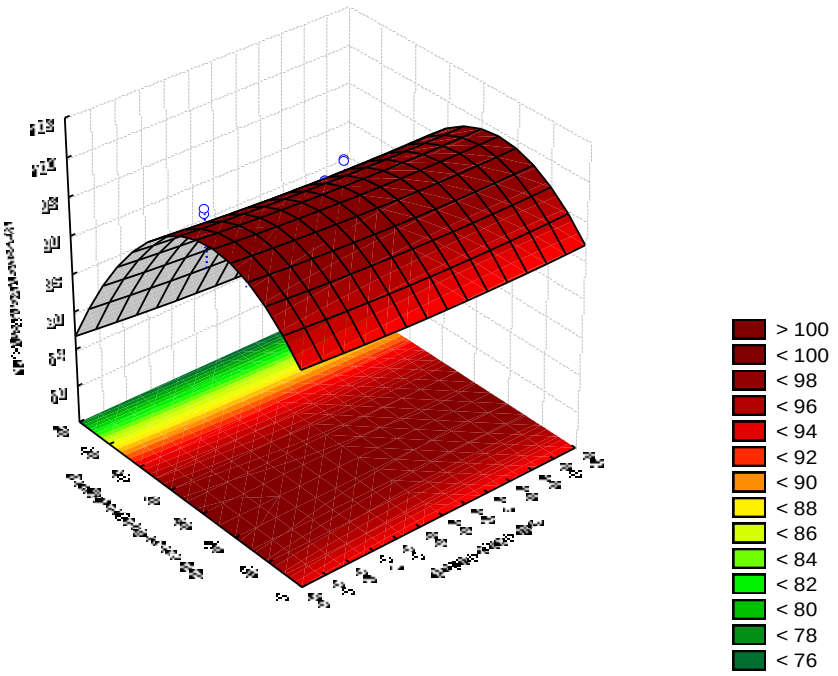
Slika 4 – 207 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“



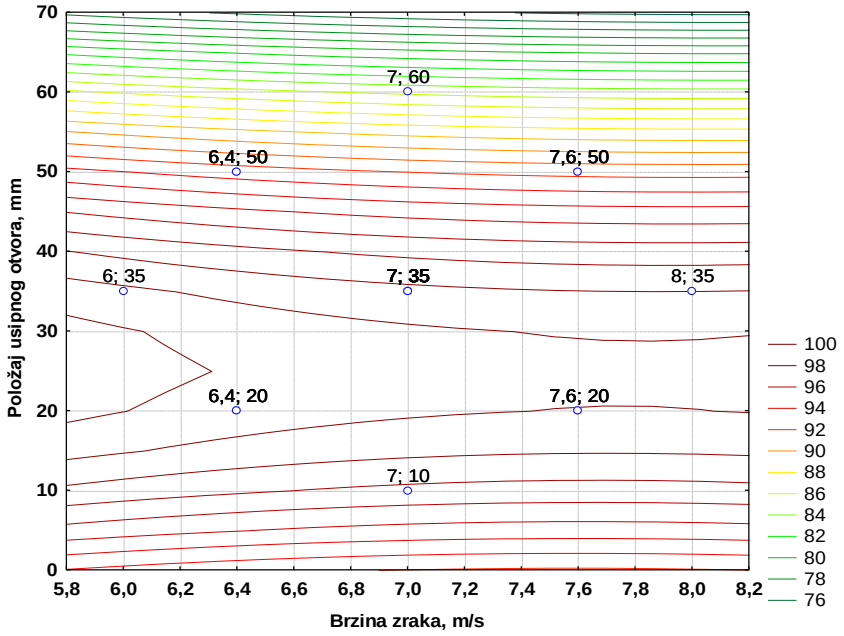
Slika 4 – 208 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „TP“



Slika 4 – 209 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora - grupa „TP“



Slika 4 – 210 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“



Slika 4 – 211 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini – grupa „TP“

4.6.5. Separiranje u elektrostatičkom separatoru

Prilikom izrade plana testiranja definirane su (slika 4 – 88) središnje vrijednosti nezavisnih varijabli (α_o, ω_o, U_o) i određen korak (c_α, c_ω, c_U):

α_o = 130 ° c_α = 6°

ω_o = 55 m/min c_ω = 3 m/min

U_o = 20 kV c_U = 3 kV

Tablica 4 – 88 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli za elektrostatski separator – grupa „TP“

x' Kodirana vrijednost	**x** Stvarna vrijednost		
	$\boldsymbol{\alpha = x_1}$ Nagib separacijskog noža (°)	$\boldsymbol{\omega = x_2}$ Brzina okretanja bubnja (m/min)	$\boldsymbol{U = x_3}$ Jakost napona na elektrodi (kV)
-1.68179	120	50	15
-1.00000	124	52	17
0.00000	130	55	20
1.00000	136	58	23
1.68179	140	60	25

4.6. 5.1. Ispitivanje klase 2/1 mm

Kao i kod zračnog separatora sijanjem je pripremljen uzorak mase 50 grama. Ručnim probiranjem i vaganjem određen je maseni udio korisne komponente u uzorku od 54,26 % i udio nekorisne komponente od 45,74 %. U testovima elektrostatičke separacije korisnom komponentom smatrani su sljedeći materijali: bakar, aluminij i mesing kao vodiči. Nekorisnom komponentom smatrani su sljedeći materijali: plastika i guma.

Rezultati ispitivanja klase 2/1 mm – grupa „TP“ u elektrostatičkom separatoru prikazani su u tablici 4 – 89.

Tablica 4 – 89 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode elektrostatičkog separatora za klasu 2/1 mm – grupa „TP“

Pokus br.	**Položaj separac. noža °**	**Brzina bubnja m/min**	**Napon ionizacijske elektrode kV**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	124	52	17	63,64	34,57
2	124	58	23	66,53	36,14
3	136	52	23	99,83	57,17
4	136	58	17	98,84	63,50
5(c)	130	55	20	98,10	53,59
6	124	52	23	82,15	44,62
7	124	58	17	66,28	36,05
8	136	52	17	99,42	61,30
9	136	58	23	99,42	57,85
10(c)	130	55	20	97,19	52,96
11	120	55	20	94,88	51,48
12	140	55	20	99,75	61,17
13	130	50	20	98,18	53,54
14	130	60	20	99,50	54,75
15	130	55	15	99,83	61,52
16	130	55	25	99,59	54,26
17(c)	130	55	20	96,45	52,60

Tablica 4 – 90 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	98,42584	7,834881	12,56252	0,000005	98,42584	7,834881
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	18,74164	7,396222	2,53395	0,039007	9,37082	3,698111
(2) Brzina okretanja bubnja, m/s (L)	-1,73656	7,396222	-0,23479	0,821092	-0,86828	3,698111
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	2,85492	7,396222	0,38600	0,710962	1,42746	3,698111
Položaj separac. noža, ° (Q)	-6,53060	8,204921	-0,79594	0,452211	-3,26530	4,102461
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	-5,43260	8,204921	-0,66212	0,529085	-2,71630	4,102461
Napon na elektrodi, kV (Q)	-4,80620	8,204921	-0,58577	0,576420	-2,40310	4,102461
1L by 2L	2,99750	9,627723	0,31134	0,764609	1,49875	4,813861
1L by 3L	-4,44250	9,627723	-0,46143	0,658487	-2,22125	4,813861
2L by 3L	-4,52250	9,627723	-0,46974	0,652824	-2,26125	4,813861

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 90 dobiva se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

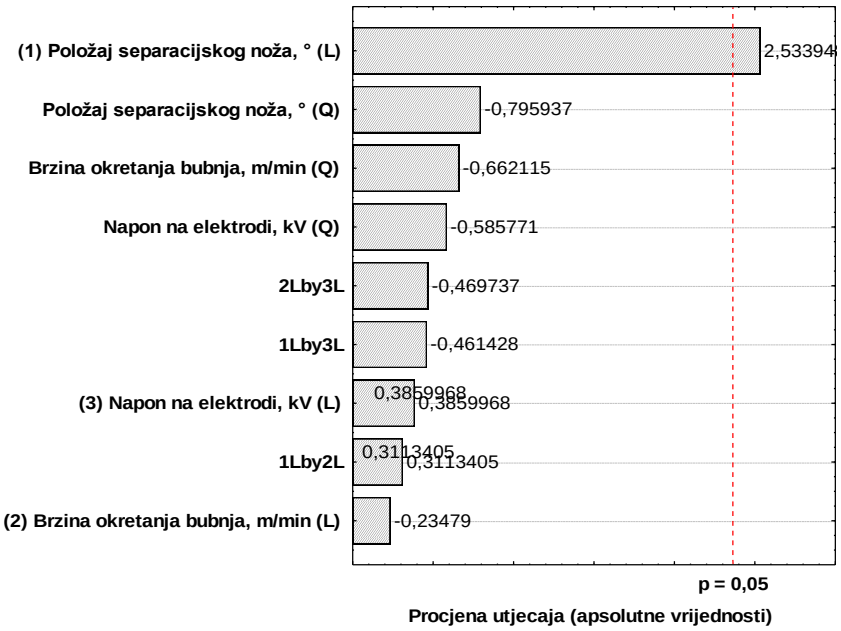
$$\boldsymbol{Y = 7{,}83 + 3{,}70\alpha + 3{,}70\omega + 3{,}70U + 4{,}10\alpha^2 + 4{,}10\omega^2 + 4{,}10\,U^2 + 4{,}81\alpha\cdot\omega + 4{,}81\alpha\cdot U + 4{,}81\omega\cdot U}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 90 i 4 – 91 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 29).

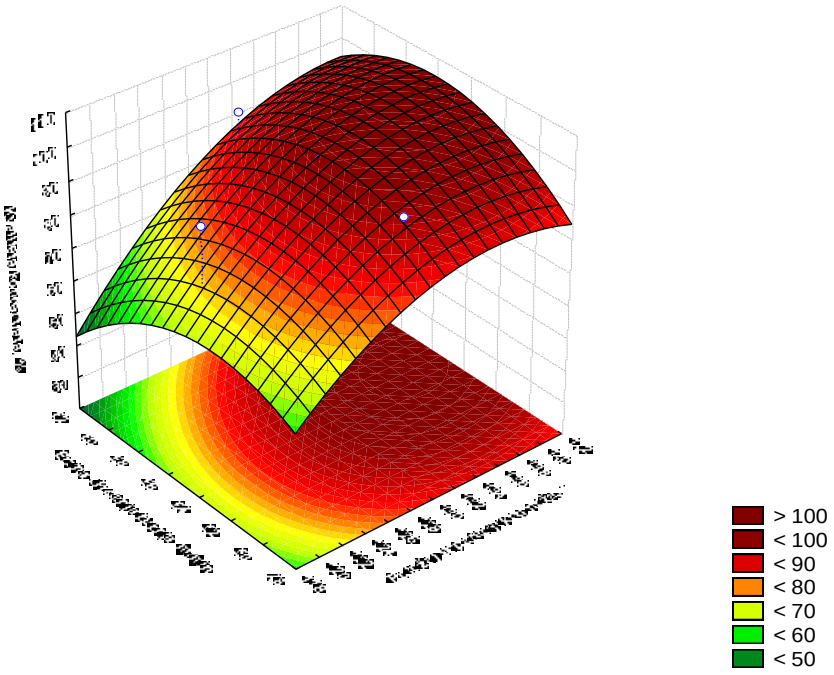
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 2/1 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 212, 4 – 214 i 4 – 216) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 213, 4 – 215 i 4 – 217) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 91 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“

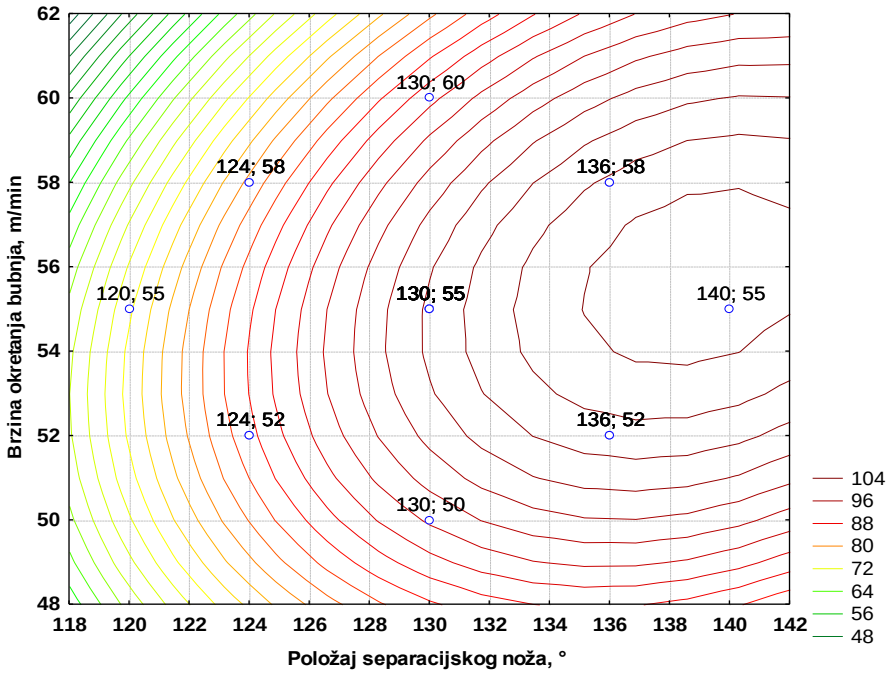
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	1190,344	1	1190,344	6,420891	0,039007
(2) Brzina okretanja bubnja, m/s (L)	10,220	1	10,220	0,055126	0,821092
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	27,621	1	27,621	0,148994	0,710962
Položaj separac. noža, ° (Q)	117,445	1	117,445	0,633516	0,452211
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	81,273	1	81,273	0,438397	0,529085
Napon na elektrodi, kV (Q)	63,611	1	63,611	0,343127	0,576420
1L by 2L	17,970	1	17,970	0,096933	0,764609
1L by 3L	39,472	1	39,472	0,212916	0,658487
2L by 3L	40,906	1	40,906	0,220653	0,652824
Pogreška *(Eror)*	1297,703	7	185,386		
Total SS	2794,274	16			



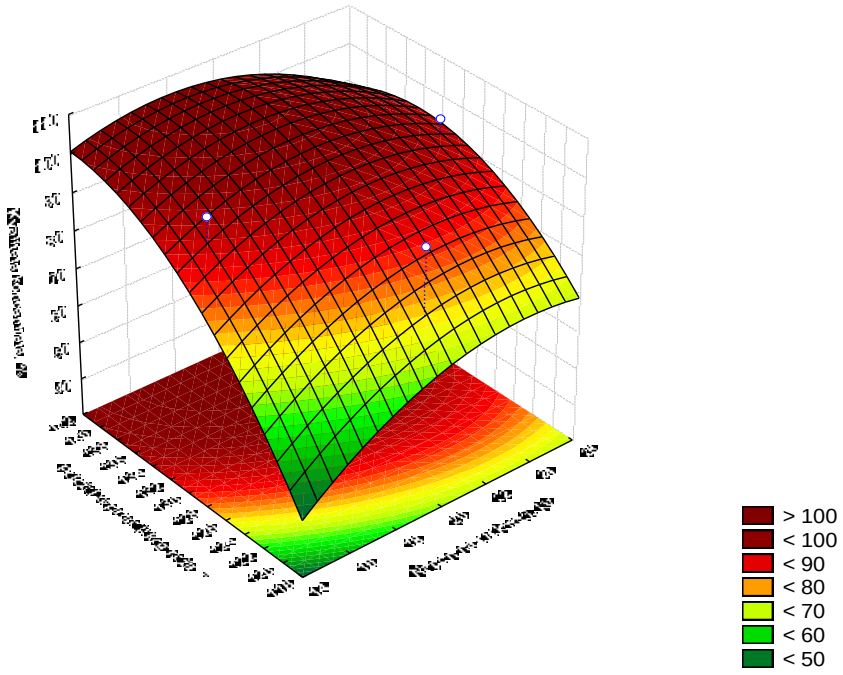
Grafikon 4 – 29 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“



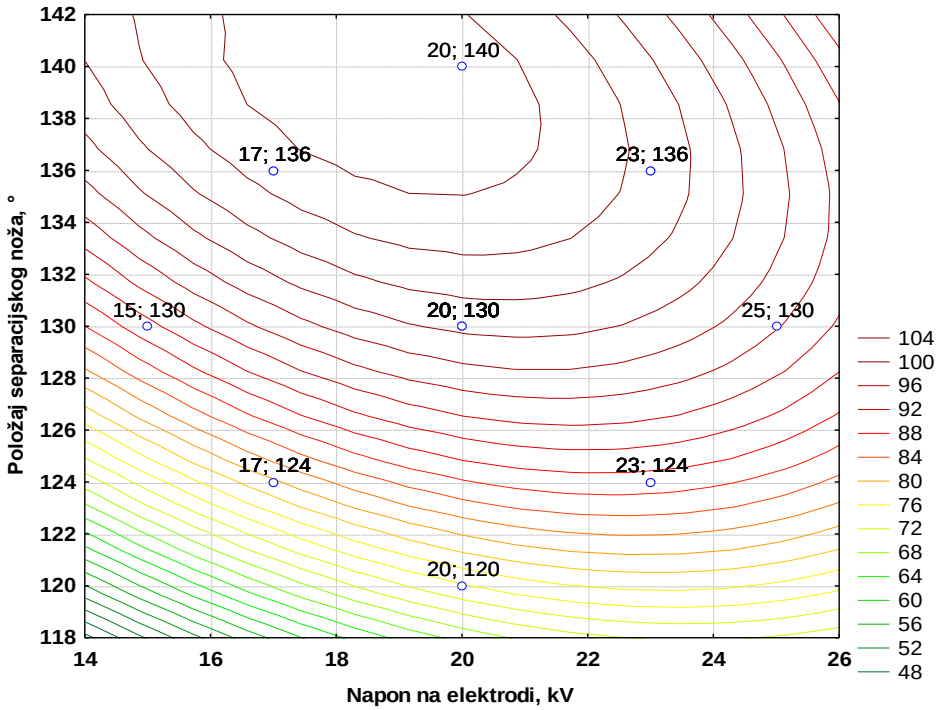
Slika 4 – 212 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



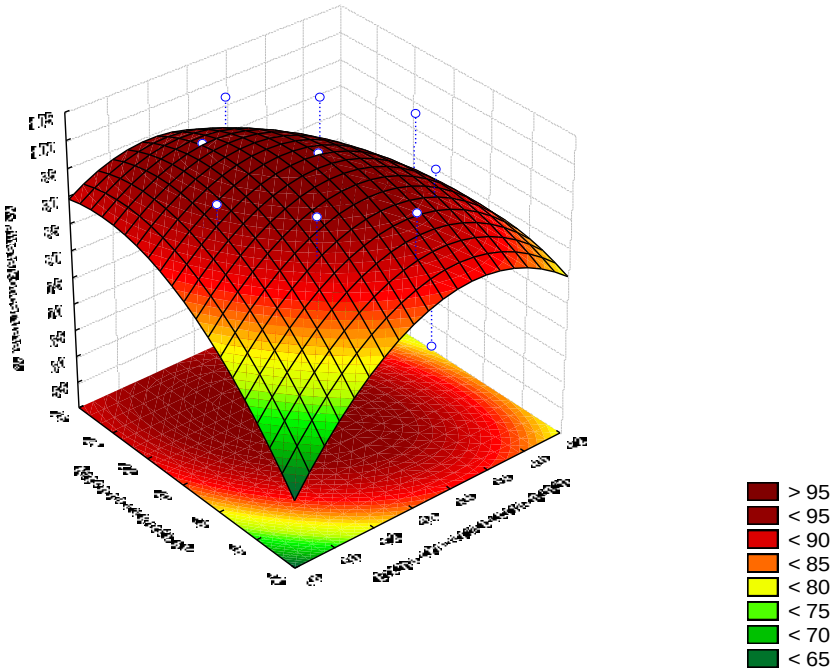
Slika 4 – 213 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



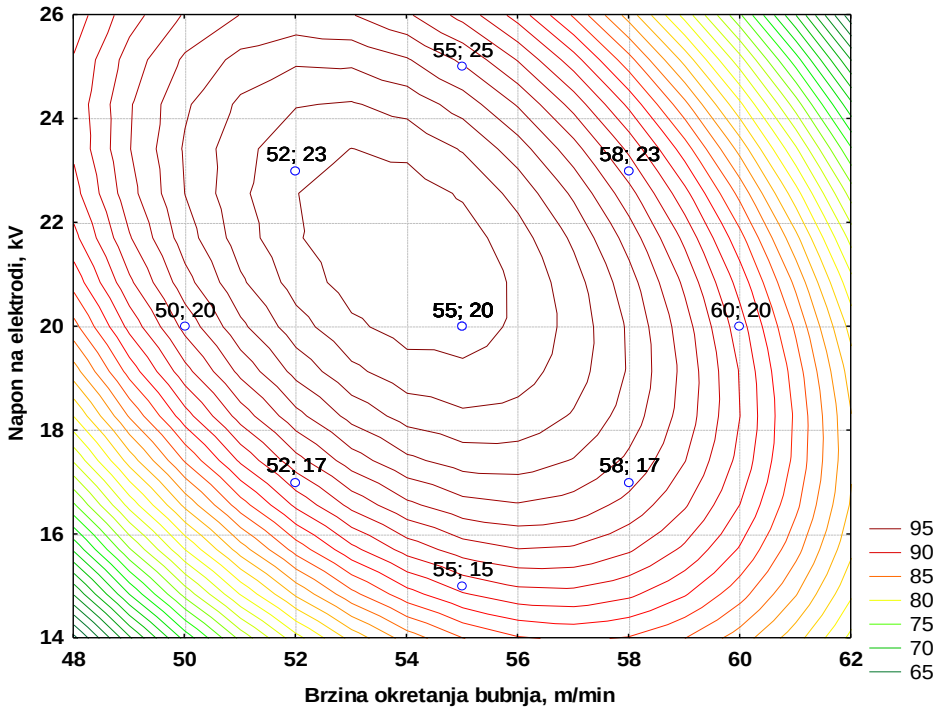
Slika 4 – 214 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 215 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 216 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“



Slika 4 – 217 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“

Tablica 4 – 92 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	53,66917	4,452762	12,05300	0,000006	53,66917	4,452762
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	15,43131	4,203461	3,67110	0,007953	7,71566	2,101731
(2) Brzina okretanja bubnja, m/s (L)	-0,31033	4,203461	-0,07383	0,943214	-0,15516	2,101731
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	-1,73213	4,203461	-0,41207	0,692613	-0,86607	2,101731
Položaj separac. noža, ° (Q)	-1,09695	4,663065	-0,23524	0,820755	-0,54847	2,331533
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	-2,66655	4,663065	-0,57184	0,585314	-1,33327	2,331533
Napon na elektrodi, kV (Q)	0,02985	4,663065	0,00640	0,995071	0,01493	2,331533
1L by 2L	2,47000	5,471680	0,45142	0,665344	1,23500	2,735840
1L by 3L	-4,98000	5,471680	-0,91014	0,393008	-2,49000	2,735840
2L by 3L	-2,87000	5,471680	-0,52452	0,616112	-1,43500	2,735840

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 92 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

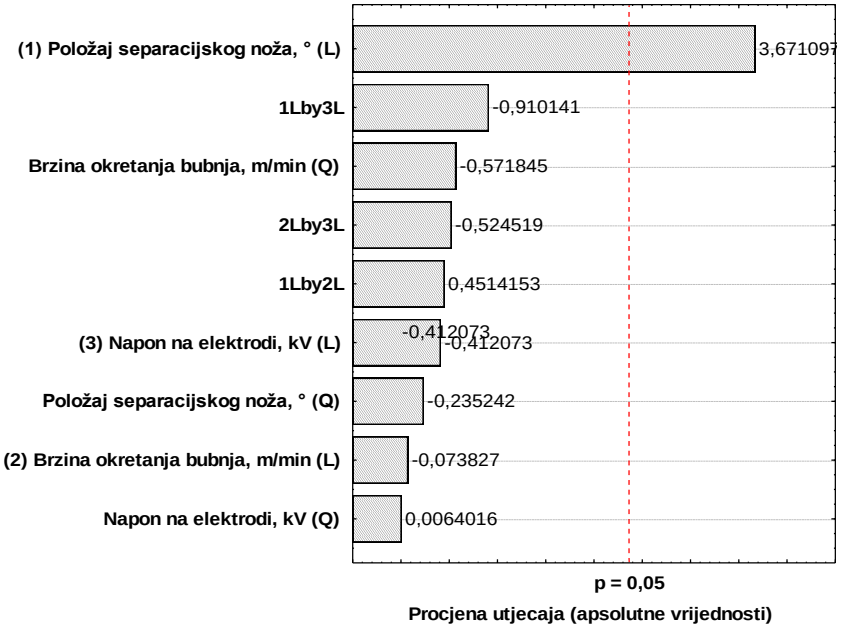
$$\boldsymbol{Y = 4{,}45 + 2{,}10\alpha + 2{,}10\omega + 2{,}10U + 2{,}33\alpha^2 + 2{,}33\omega^2 + 2{,}33U^2 + 2{,}74\alpha\cdot\omega + 2{,}74\alpha\cdot U + 2{,}74\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 92 i 4 – 93, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 30.

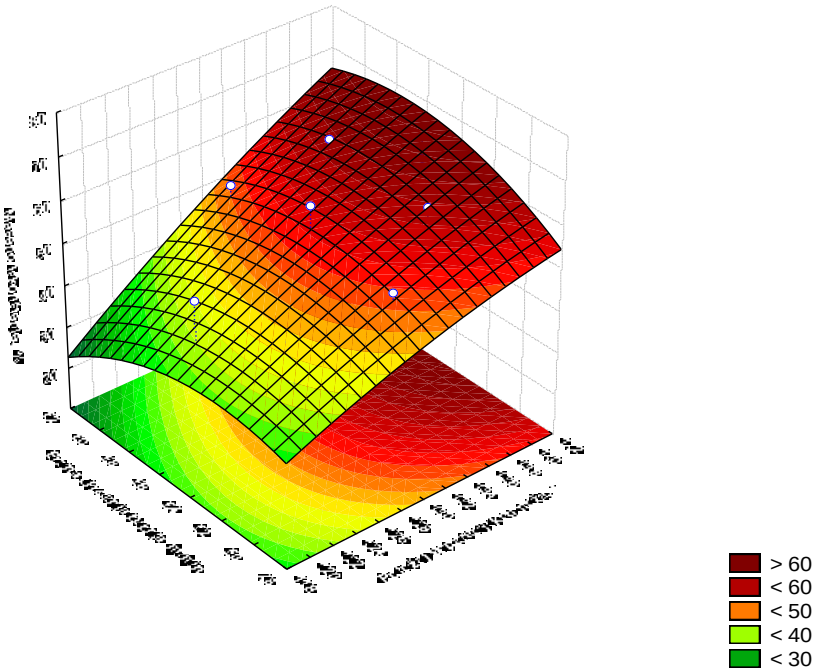
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 2/1 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 218, 4 – 220 i 4 – 222) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 219, 4 – 221 i 4 – 223) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 2/1 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 93 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“

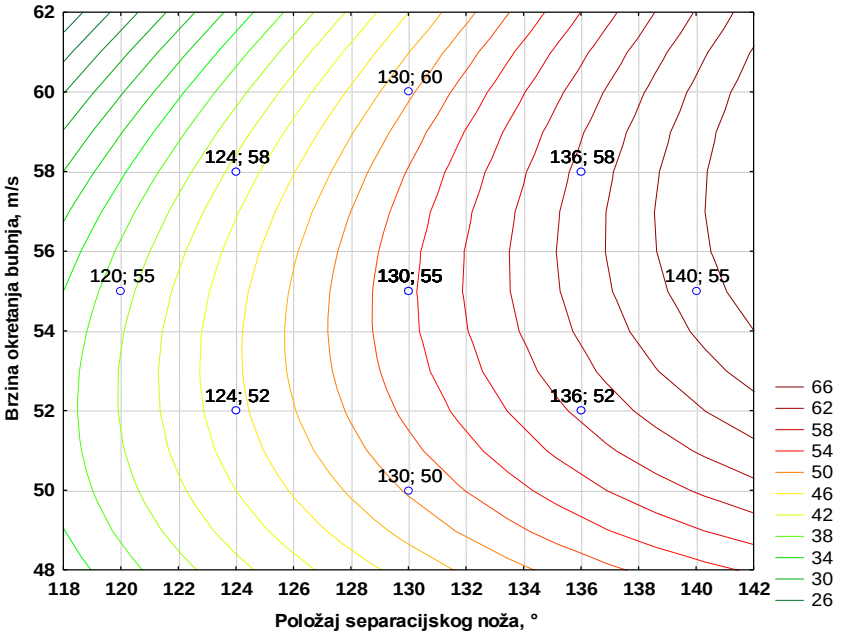
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Central Composite Design* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	806,980	1	806,9804	13,47695	0,007953
(2) Brzina okretanja bubnja, m/s (L)	0,326	1	0,3264	0,00545	0,943214
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	10,168	1	10,1676	0,16980	0,692613
Položaj separac. noža, ° (Q)	3,314	1	3,3136	0,05534	0,820755
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	19,581	1	19,5807	0,32701	0,585314
Napon na elektrodi, kV (Q)	0,002	1	0,0025	0,00004	0,995071
1L by 2L	12,202	1	12,2018	0,20378	0,665344
1L by 3L	49,601	1	49,6008	0,82836	0,393008
2L by 3L	16,474	1	16,4738	0,27512	0,616112
Pogreška *(Eror)*	419,150	7	59,8786		
Total SS	1337,189	16			



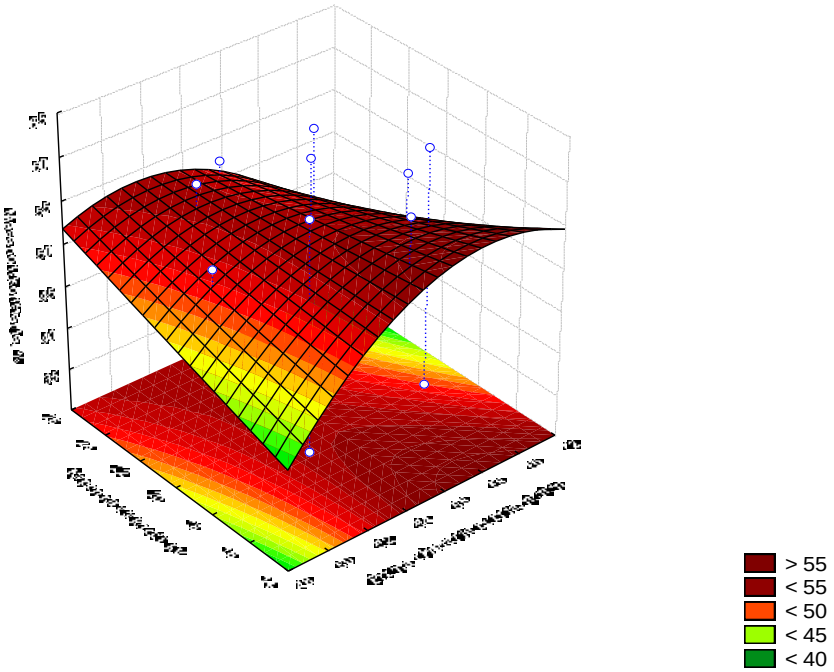
Grafikon 4 – 30 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“



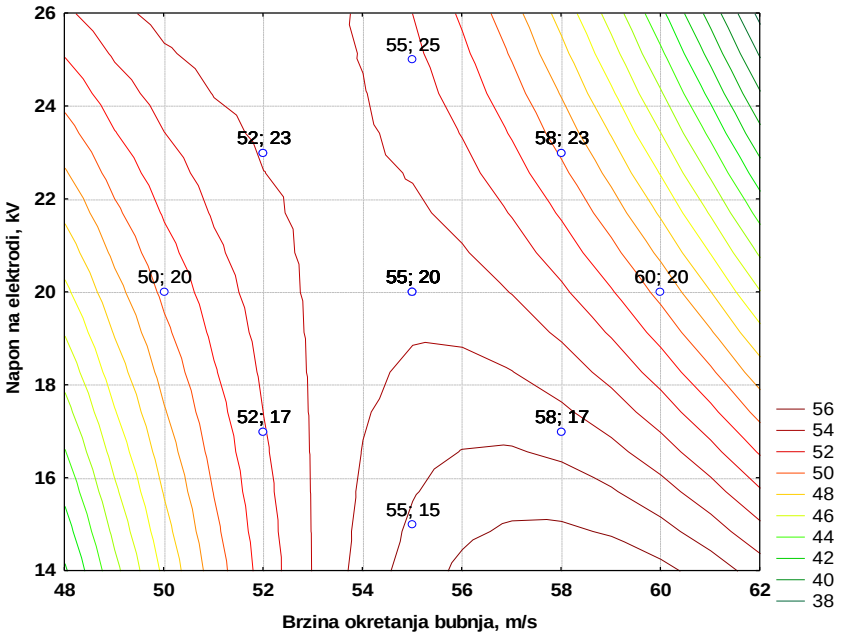
Slika 4 – 218 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



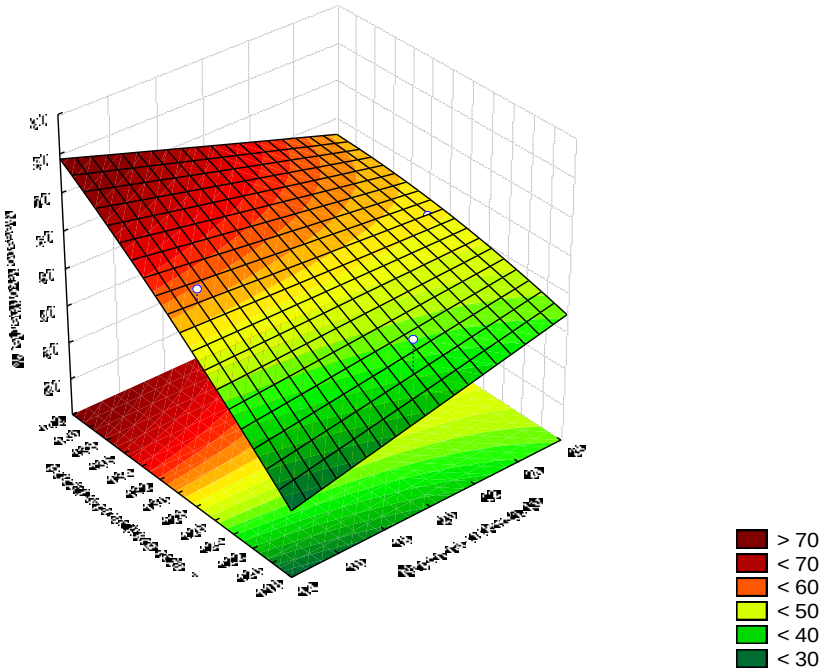
Slika 4 – 219 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



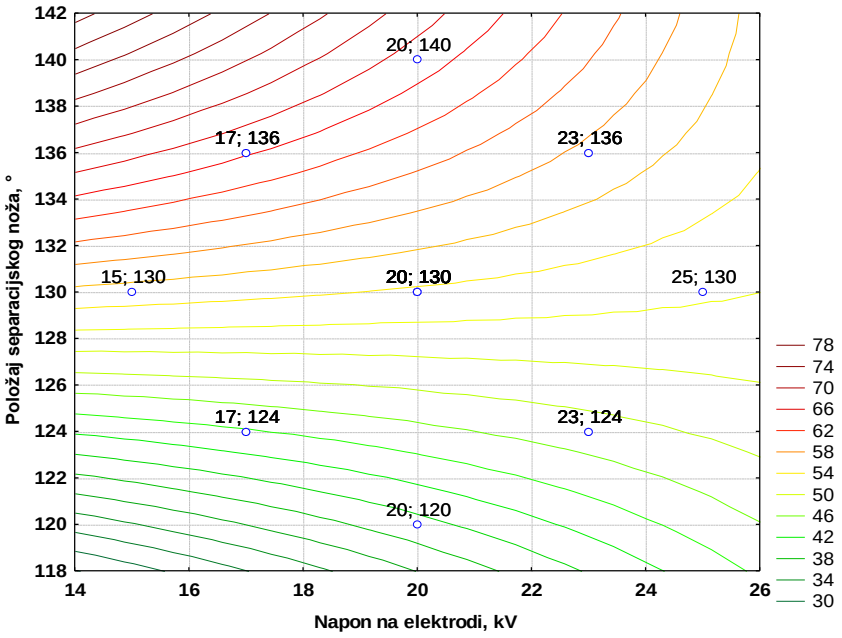
Slika 4 – 220 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“



Slika 4 – 221 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“



Slika 4 – 222 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 223 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „TP“

4.6.5.2. Ispitivanje klase 1/0,5 mm

Sijanjem je pripremljen uzorak mase 50 grama. Ručnim probiranjem i vaganjem određen je maseni udio korisne komponente koja je u uzorku zastupljena s 41,59 % i nekorisne komponente sa zastupljenošću u ulaznom uzorku od 58,41 %.

Rezultati ispitivanja klase 1/0,5 mm – grupa „TP“ u elektrostatičkom separatoru prikazani su u tablici 4 – 94.

Tablica 4 – 94 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „TP“

Pokus br.	**Položaj separac. noža °**	**Brzina bubnja m/min**	**Napon ionizacijske elektrode kV**	**KVALITETA KONCENTRATA %**	**MASENO ISKORIŠTENJE %**
1	124	52	17	70,24	29,32
2	124	58	23	89,00	37,09
3	136	52	23	99,71	46,14
4	136	58	17	99,90	52,55
5(c)	130	55	20	98,09	45,54
6	124	52	23	80,38	33,51
7	124	58	17	68,04	28,49
8	136	52	17	99,81	49,04
9	136	58	23	99,90	46,53
10(c)	130	55	20	97,32	45,30
11	120	55	20	70,81	29,52
12	140	55	20	100,00	49,00
13	130	50	20	99,81	45,42
14	130	60	20	99,90	46,33
15	130	55	15	100,00	47,57
16	130	55	25	99,71	44,18
17(c)	130	55	20	97,42	45,14

Tablica 4 – 95 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata – klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	98,1473	3,250033	30,19885	0,000000	98,14727	3,250033
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	20,6769	3,068070	6,73938	0,000268	10,33844	1,534035
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	1,0107	3,068070	0,32941	0,751482	0,50533	1,534035
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	4,5025	3,068070	1,46752	0,185675	2,25123	1,534035
Položaj separac. noža, ° (Q)	-11,7496	3,403532	-3,45216	0,010660	-5,87478	1,701766
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	-1,3816	3,403532	-0,40592	0,696925	-0,69078	1,701766
Napon na elektrodi, kV (Q)	-1,3816	3,403532	-0,40592	0,696925	-0,69078	1,701766
1L by 2L	-1,5350	3,993732	-0,38435	0,712127	-0,76750	1,996866
1L by 3L	-7,8000	3,993732	-1,95306	0,091753	-3,90000	1,996866
2L by 3L	2,7300	3,993732	0,68357	0,516227	1,36500	1,996866

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 95 dobije se model ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

$$\boldsymbol{Y = 3{,}25 + 1{,}53\alpha + 1{,}53\,\omega + 1{,}53\,U + 1{,}70\alpha^2 + 1{,}70\omega^2 + 1{,}70U^2 + 1{,}99\alpha\cdot\omega + 1{,}99\alpha\cdot U}$$

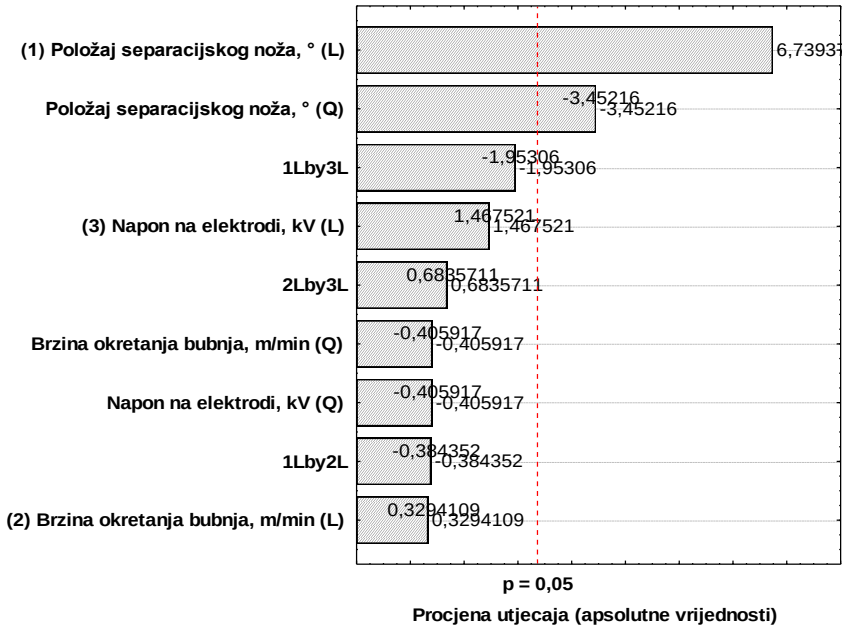
$$\boldsymbol{+\ 1{,}99\,\omega\cdot U}$$

Temeljem dobivenih vrijednosti iz tablica 4 – 95 i 4 – 96 moguće je utvrditi koje će od nezavisnih varijabli u najvećoj mjeri utjecati na kvalitetu koncentrata (grafikon 4 – 31).

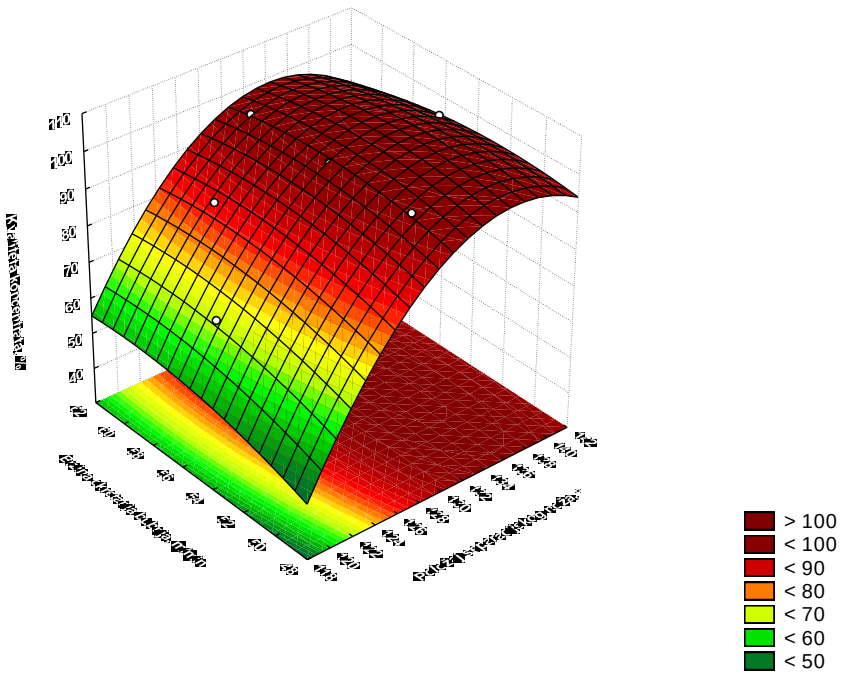
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti kvalitete koncentrata za klasu 2/1 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 224, 4 – 226 i 4 – 228) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 225, 4 – 227 i 4 – 229) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata uz prikaz stvarnih koordinata varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 96 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

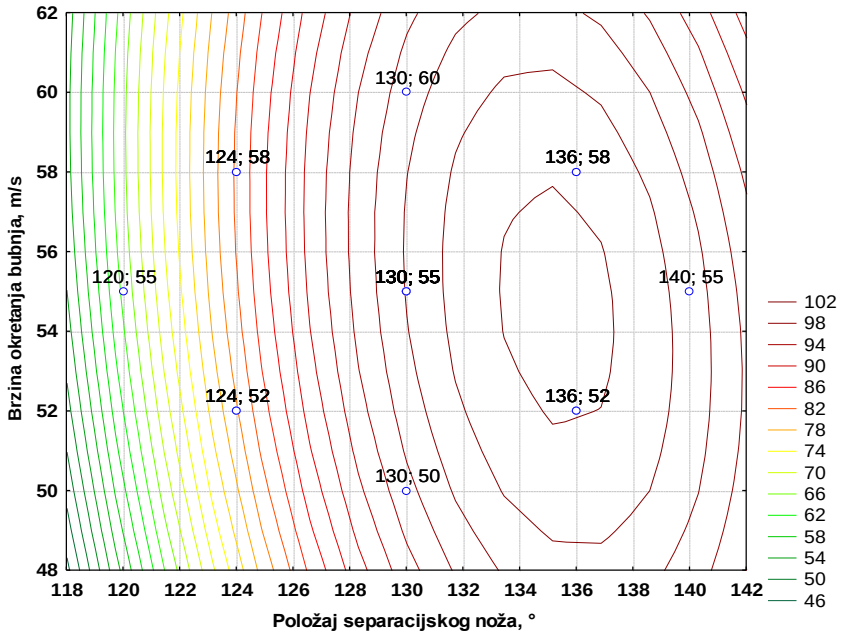
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Kvaliteta koncentrata, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	p
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	1448,864	1	1448,864	45,41922	0,000268
(2) Brzina okretanja bubnja, m/min (L)	3,461	1	3,461	0,10851	0,751482
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	68,700	1	68,700	2,15362	0,185675
Položaj separac. noža, ° (Q)	380,164	1	380,164	11,91744	0,010660
Brzina okretanja bubnja, m/min (Q)	5,256	1	5,256	0,16477	0,696925
Napon na elektrodi, kV (Q)	5,256	1	5,256	0,16477	0,696925
1L by 2L	4,712	1	4,712	0,14773	0,712127
1L by 3L	121,680	1	121,680	3,81444	0,091753
2L by 3L	14,906	1	14,906	0,46727	0,516227
Pogreška *(Eror)*	223,299	7	31,900		
Total SS	2285,051	16			



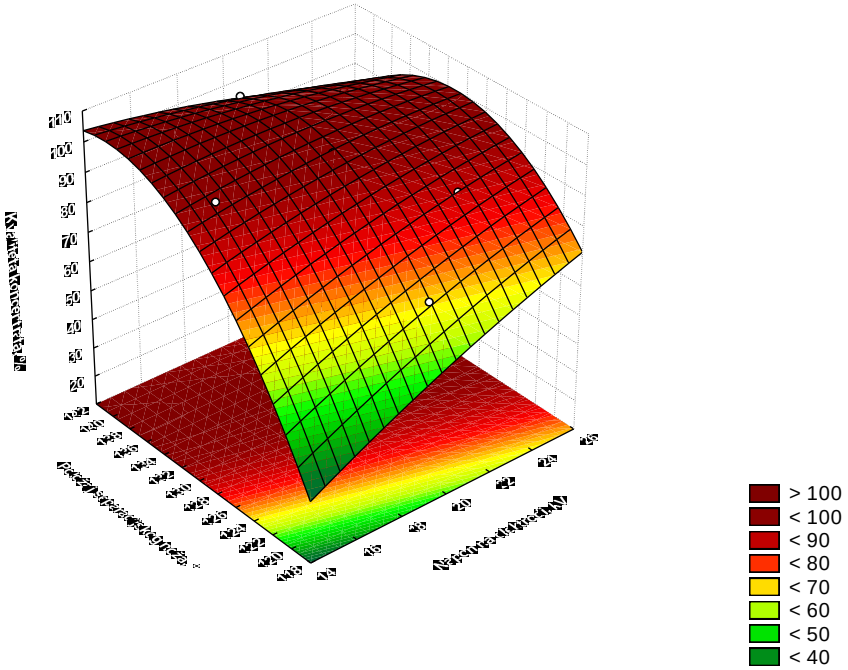
Grafikon 4 – 31 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“



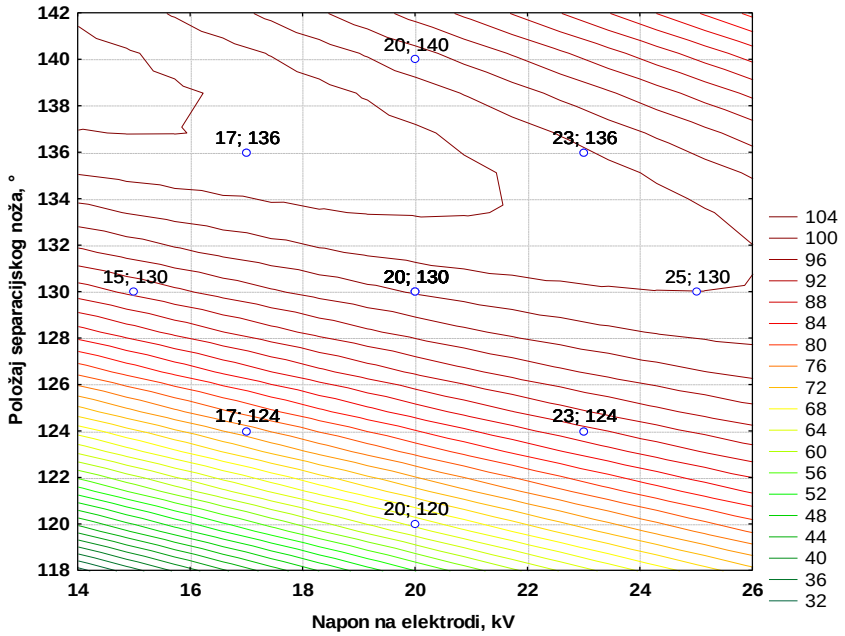
Slika 4 – 224 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



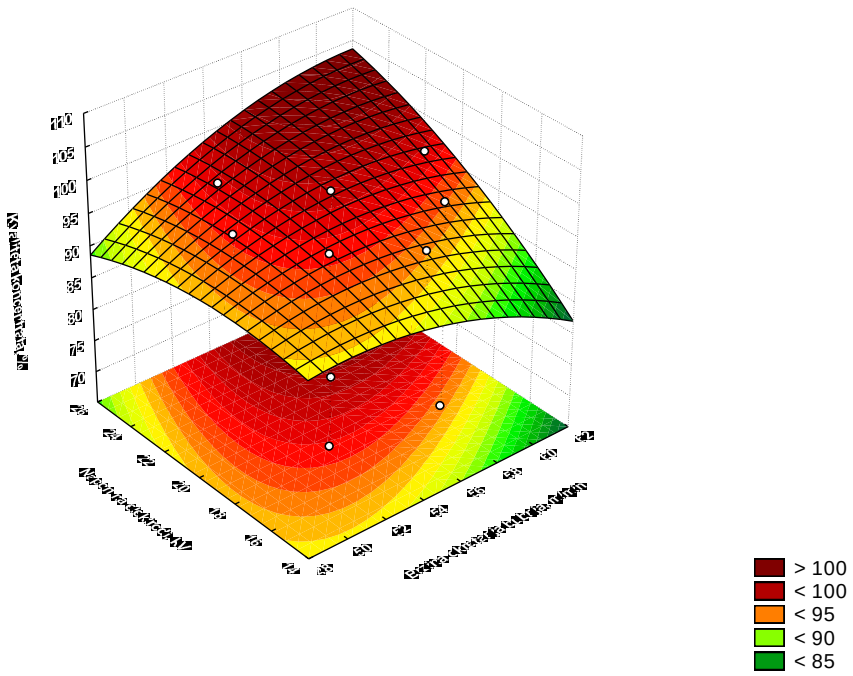
Slika 4 – 225 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



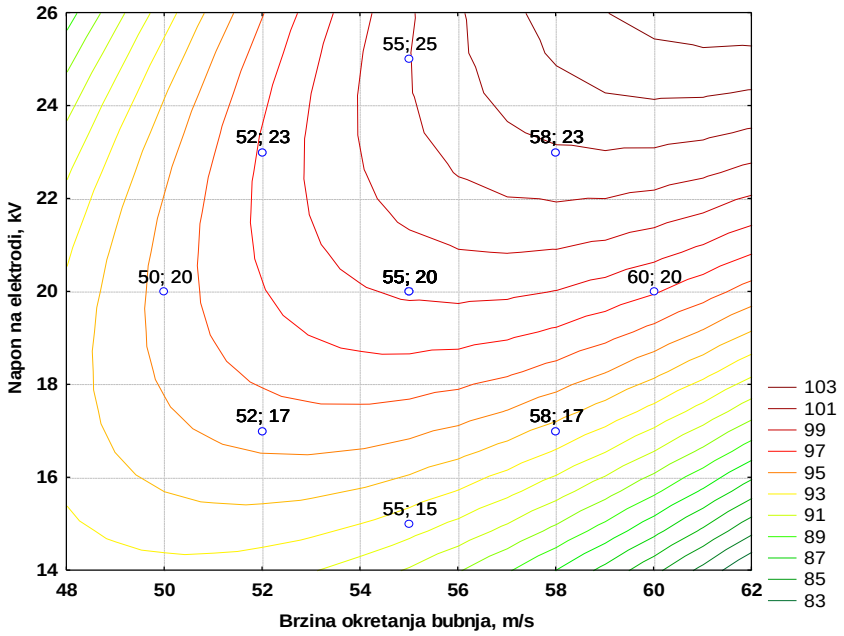
Slika 4 – 226 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 227 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 228 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“



Slika 4 – 229 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“

Tablica 4 – 97 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

Nezavisna varijabla *(Factor)*	Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)					
	Effect	*Std.Err.*	t(7)	p	*Coeff.'*	***Coeff.***
Mean/Intercept	45,59237	1,769346	25,76792	0,000000	45,59237	1,769346
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	14,50574	1,670284	8,68459	0,000054	7,25287	0,835142
(2) Brzina okretanja bubnja, m/s (L)	1,20492	1,670284	0,72139	0,494056	0,60246	0,835142
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	-0,26262	1,670284	-0,15723	0,879501	-0,13131	0,835142
Položaj separac. noža, ° (Q)	-5,85062	1,852912	-3,15753	0,015983	-2,92531	0,926456
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	-1,08782	1,852912	-0,58709	0,575582	-0,54391	0,926456
Napon na elektrodi, kV (Q)	-1,08782	1,852912	-0,58709	0,575582	-0,54391	0,926456
1L by 2L	0,28750	2,174223	0,13223	0,898522	0,14375	1,087111
1L by 3L	-5,42750	2,174223	-2,49629	0,041215	-2,71375	1,087111
2L by 3L	0,32250	2,174223	0,14833	0,886266	0,16125	1,087111

Uvrštavanjem vrijednosti iz tablice 4 – 97 dobiva se model ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o radnim parametrima (α, ω, U);

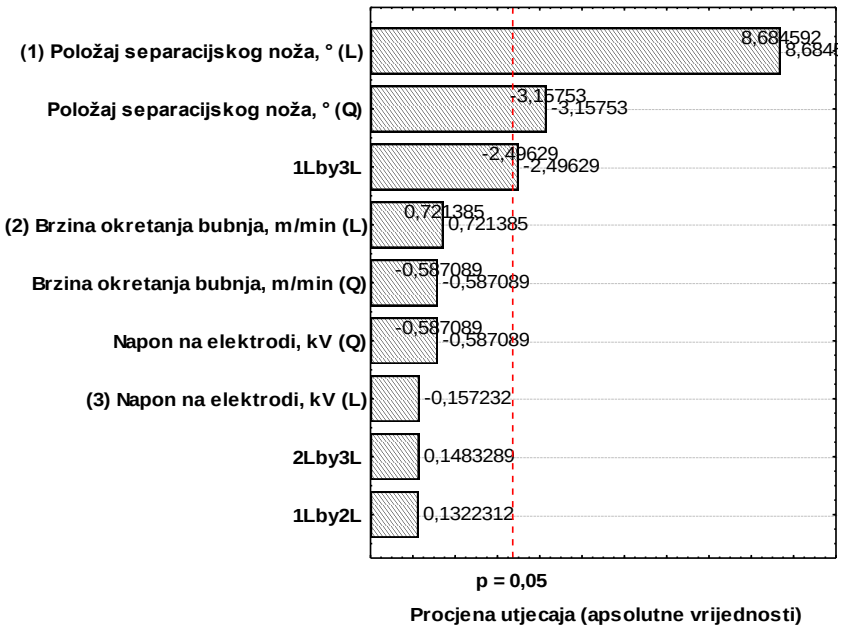
$$\boldsymbol{Y = 1{,}77 + 0{,}84\alpha + 0{,}84\omega + 0{,}84U + 0{,}93\alpha^2 + 0{,}93\omega^2 + 0{,}93U^2 + 1{,}09\alpha\cdot\omega + 1{,}09\alpha\cdot U + 1{,}09\omega\cdot U}$$

Za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“ dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4 – 97 i 4 – 98, a utjecaj nezavisnih varijabli prikazan je u grafikonu 4 – 32.

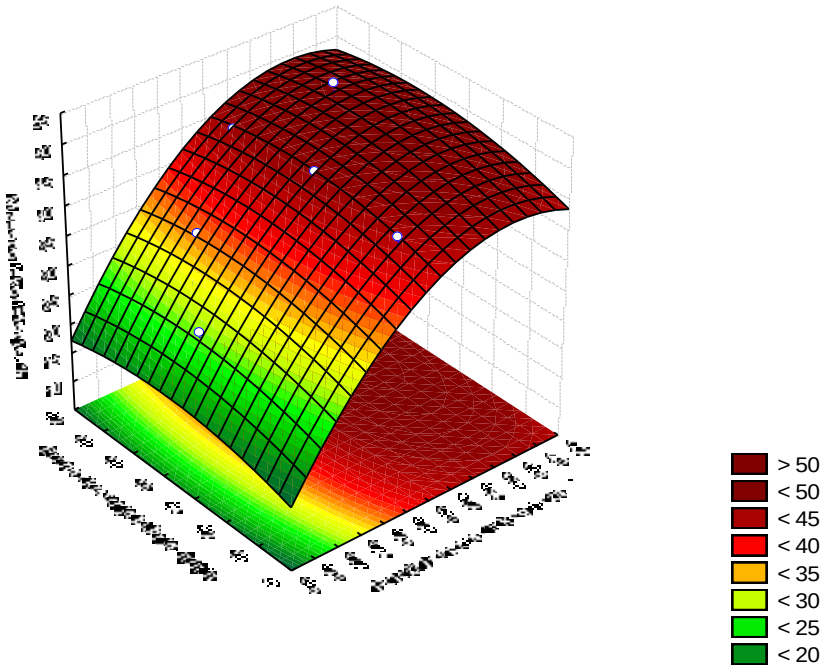
U svrhu lakše interpretacije dobivenih vrijednosti masenog iskorištenja za klasu 1/0,5 mm – grupa „TP“, korišteni su 3D dijagrami (slike 4 – 230, 4 – 232 i 4 – 234) na kojima je vidljiv oblik regresijske plohe. Također u svrhu lakšeg očitanja vrijednosti sa dijagrama (slike 4 – 231, 4 – 233 i 4 – 235) korišteni su dvodimenzionalni prikazi sa nivo-linijama regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja uz prikaz stvarnih koordinata nezavisnih varijabli ispitivane klase 1/0,5 mm – grupa „TP“.

Tablica 4 – 98 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“

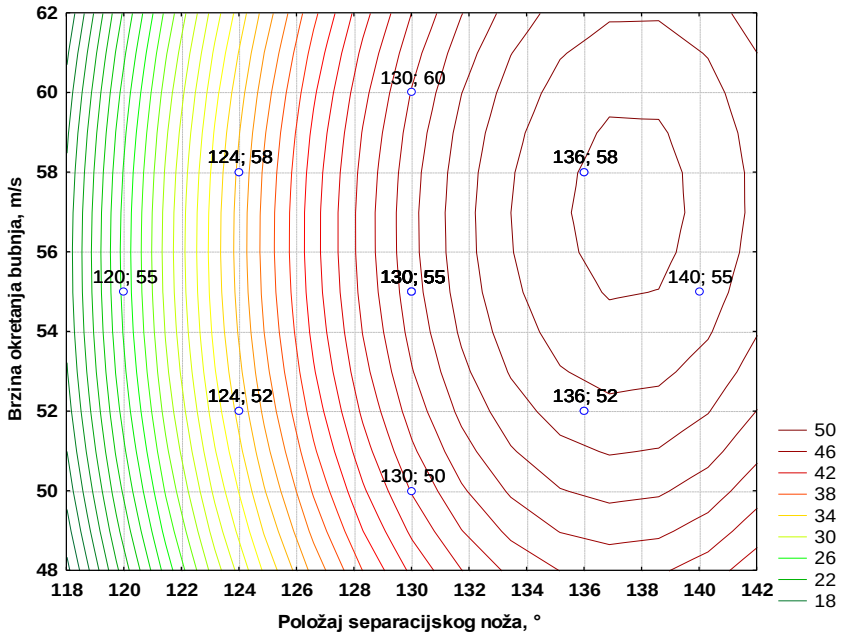
Nezavisna varijabla *(Factor)*	Analiza varijance (*ANOVA*); Zavisna varijabla: Maseno iskorištenje, % 2^{**} (3 – 0) *Centralno složen plan* (3 faktora, 1 blok, 17 pokusa)				
	SS	df	MS	F	P
(1) Položaj separac. noža, ° (L)	713,0779	1	713,0779	75,42214	0,000054
(2) Brzina okretanja bubnja, m/s (L)	4,9201	1	4,9201	0,52040	0,494056
(3) Napon na elektrodi, kV (L)	0,2337	1	0,2337	0,02472	0,879501
Položaj separac. noža, ° (Q)	94,2611	1	94,2611	9,96999	0,015983
Brzina okretanja bubnja, m/s (Q)	3,2587	1	3,2587	0,34467	0,575582
Napon na elektrodi, kV (Q)	3,2587	1	3,2587	0,34467	0,575582
1L by 2L	0,1653	1	0,1653	0,01749	0,898522
1L by 3L	58,9155	1	58,9155	6,23148	0,041215
2L by 3L	0,2080	1	0,2080	0,02200	0,886266
Pogreška *(Eror)*	66,1814	7	9,4545		
Total SS	939,6525	16			



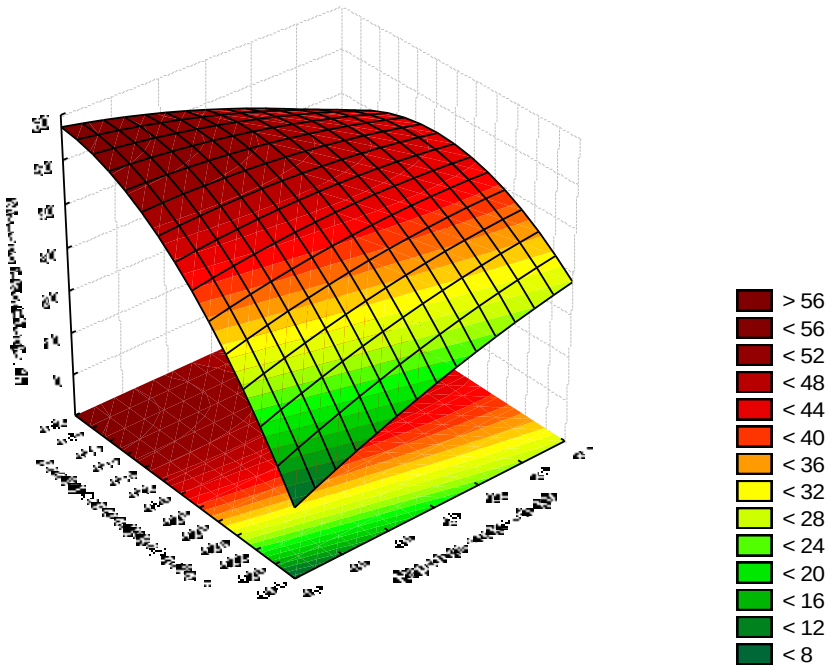
Grafikon 4 – 32 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“



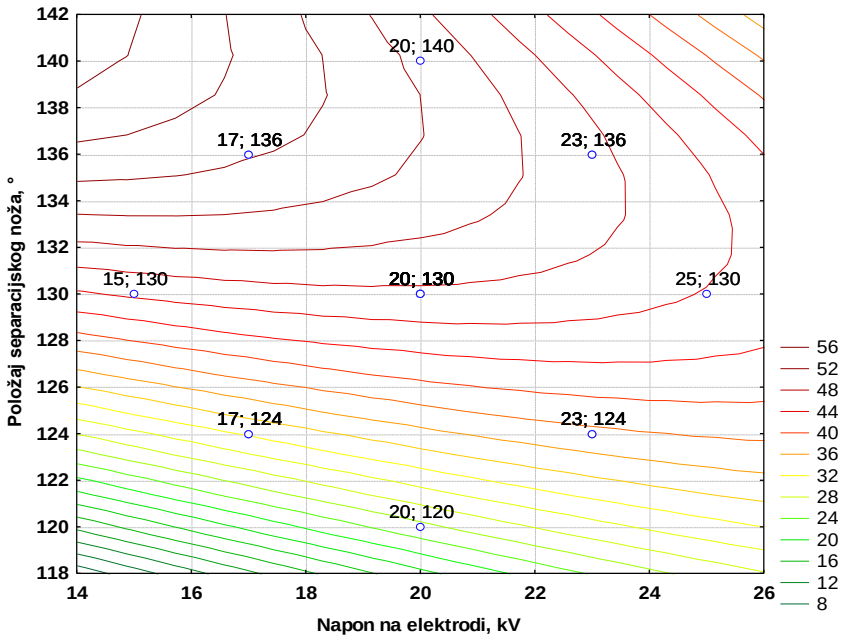
Slika 4 – 230 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



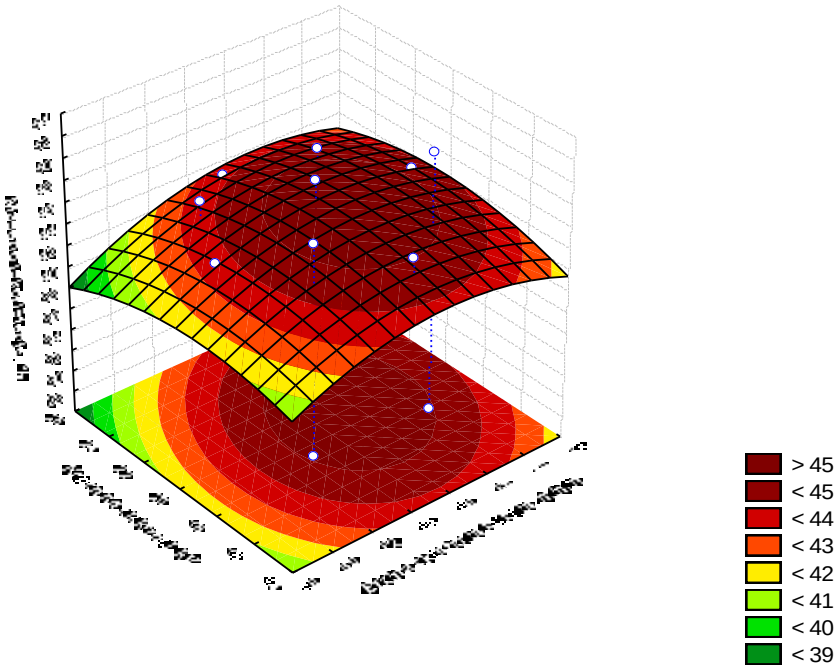
Slika 4 – 231 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“



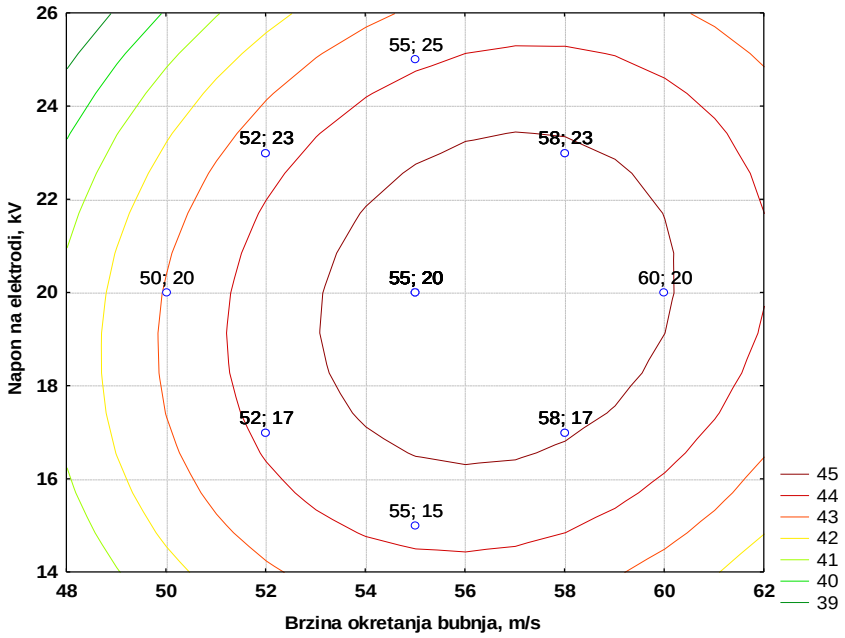
Slika 4 – 232 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 233 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i naponu na elektrodi – grupa „TP“



Slika 4 – 234 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“



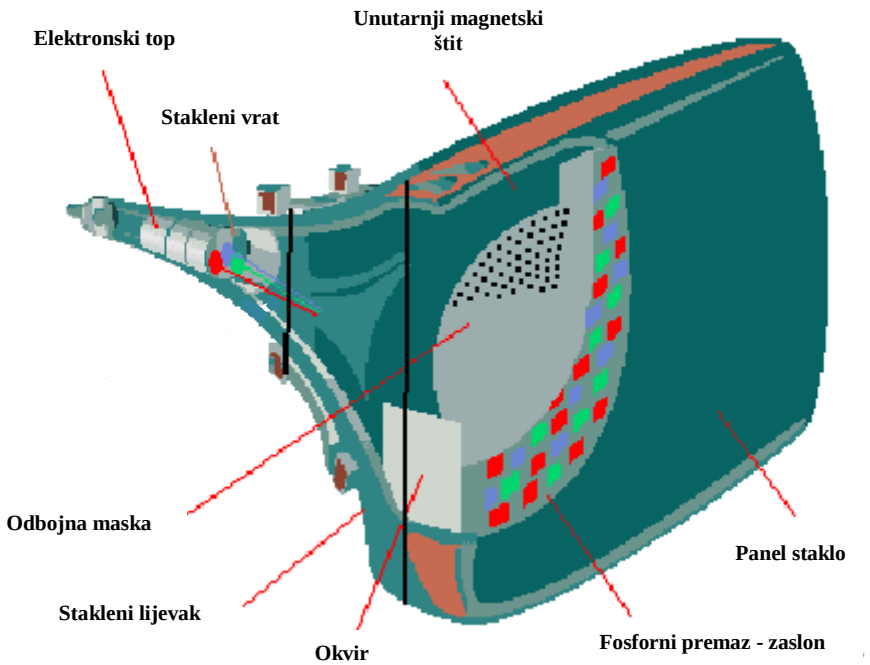
Slika 4 – 235 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“

4.7. DIJELOVI TELEVIZIJSKOG APARATA KOJI NISU OBUHVAĆENI ISPITIVANJEM

Određeni dijelovi televizijskog aparata nisu bili predmetom ispitivanja u ovom radu, te je nakon ručne demontaže za njih završen put ispitivanja u laboratoriju. To su katodne cijevi, drvena i plastična kučišta, kondenzatori i određeni metalni dijelovi. U ovom poglavlju rada biti će nešto više riječi o tim dijelovima televizijskog aparata.

Katodna cijev

Katodna cijev sa toplom katodom ili *CRT* postoji u dvije osnovne izvedbe kao monokromatska, izvedena iz jednog dijela i druga, u boji izvedena iz dva dijela spajanjem prednjeg panel stakla sa fosfornim premazom i stražnjeg ljevkastog dijela sa elektronskim topom. Katodna cijev predstavlja gotovo 2/3 ukupne težine cijelog uređaja i nakon ručne demontaže obrađuje se u posebnim uvjetima zbog štetnih tvari koje se trebaju u potpunosti prikupiti u pogonu za reciklažu, stoga su i izuzete iz postupaka obrade u ovom radu.



Slika 4 – 236 Sastavni dijelovi katodne cijevi – *CRT* televizijskog aparata (TVHISTORY.TV, 2011)

Glavni materijali koji se dobivaju recikliranjem katodnih cijevi su olovo, fosfor, staklo i željezo. Velika koncentracija olova ima svoju svrhu jer okolinu štiti od zračenja X-zraka koje ispaljuje elektronski top.

Kod televizijskog aparata koji su se proizvodili nakon 2005. godine zbog odredbi RoHS Direktive olovni oksid PbO sadržan u prednjem dijelu ekrana (*Panel, engl.*) je zamijenjen manje štetnim barij oksidom BaO, no i dalje se približno od 70 do 85% olova nalazi pomiješano sa mekanom staklovinom unutar spoja tzv. okvira (*Frit, engl.*) koji dva dijela katodne cijevi spaja u jednu cjelinu, zatim ljevkasti stakleni dio (*Cone, engl.*) koji sadrži od 19 do 23 % PbO, a plašt oko elektronskog topa (*Neck, engl.*) sadrži oko 5% olova. Unutar stakla zarobljeno olovo nije samo po sebi štetno, no problem postaje olovna prašina koja nastaje prilikom drobljenja i mljevenja takvog stakla.

Prednje panelsko staklo se na mjestu okvira gdje je spojeno u jednu cjelinu, odvaja od stražnjeg ljevkastog staklenog dijela rezanjem, a potom se sa unutrašnje strane panel stakla usisava kao što je vidljivo na slici 4 – 23 i prikuplja fosforni (P) prah koji je štetan jer sadrži i kadmij (Cd), a ima i zapaljivo svojstvo. Nakon odvajanja prednjeg panelskog stakla, koje predstavlja težinski i do 2/3 stakla cijelog uređaja, iz katodne cijevi se izvlači metalna rešetka koja služi kao odbojna maska za osiguravanje pravilnog rasporeda elektronskih zraka emitiranih iz elektronskog topa, a koje udaraju u pripadajuće fosforne točkice crvene, zelene ili plave boje na zaslonu. Vađenjem elektronskog topa i krupnog željeza staklo ide na drobljenje (slika 4 – 238) i prosijavanje gdje se dodatno podvrgava magnetskoj separaciji, a potom suhim ili mokrim postupcima za odvajanje štetnih tvari.

Slika 4 – 237 Prikaz posebnog dijela pogona za recikliranje katodnih cijevi
(Handbuch zur Sammlung und Verwertung Elektro- und Elektronikaltgeräten in Österreich)

Obzirom da se na neka tržišta (SAD i EU od 2008. godine) više ne smiju stavljati televizijski aparati s katodnom cijevi, opao je i interes za recikliranjem i korištenjem olovnog stakla u svrhu izrade novih katodnih cijevi te je trebalo pronaći nove načine zbrinjavanja takvog stakla.

Za moguću oporabu stakla od televizijskih aparata potrebno je dokazati da sadržaj štetnih tvari u eluatu neće prelaziti granične vrijednosti propisane za odlagalište neopasnog otpada prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (N.N. 117/2007.)

Rješenje se nazire u upotrebi takvog stakla sukladno Zakonu o otpadu u smislu iskorištavanja svih materijala koji imaju vrijedna svojstva. Za sada je u Hrvatskoj poznata upotreba krupnijih frakcija pri izradi nasipa od zemljanog materijala u omjeru 80:20 (zemlja: staklo) sukladno OTU ("Opći tehnički uvjeti za radove na cestama", Hrvatska uprava za ceste, Zagreb, 2001. Knjiga I i II) ili izradi betonskih blokova, opeke ili crjepova.

Slika 4 – 238 Usitnjeno olovno panel staklo sa katodne cijevi

Kao sirovina u proizvodnji betonskih blokova u EU primjenjivane su tri kategorije stakla:

a) **Pročišćeno, drobljeno staklo – ključni broj otpada: 19 12 05**
b) **Djelomično drobljeno, nepročišćeno grubo staklo, bez željeza – ključni broj otpada: 16 02 15***
c) **Ekrani monitora / televizora – ključni broj otpada 16 02 15***

Olovo odnosno olovna prašina je kao teški metal problem za zbrinjavanje zbog prodiranja u tlo i miješanje sa podzemnim vodama čime šteti ljudskom zdravlju i ne smije se odlagati na odlagališta komunalnog otpada već ga se tretira kao opasni otpad ključnog broja 19 02 05* - muljevi od fizikalno/kemijske obrade koji sadrže opasne tvari, moraju se posebno i trajno zbrinuti na odlagalištu za opasni otpad.

Iz podataka dobivenih izradom studije pod nazivom "Characterization of Lead Leachability from Chatode Ray Tubes Using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure" koju je za U.S. EPA izradio Department of Environmental Engineering Sciens, University of Florida, dobivena je prosječna količina olova od 18,5 mg/l olova po *CRT*. Kako je propisana količina 5,0 mg/l olova, količina je višestruko premašena i time ugrožava ljudsko zdravlje.

Prema istraživanjima Narodnog sveučilišta u Hanoy-u, Vijetnam olovno staklo iz CRT uređaja može se primijeniti i u keramičkoj industriji. Neke tvrtke u EU proizvode cigle kojima se postiže ušteda energije ali i zaštita od zračenja, primjenjuje se i u proizvodnji staklene vune, ravnog prozorskog stakla s primjenom u radioaktivnoj grani medicine (okna prostorije za snimanje rendgenom) i staklenih vlakana.

Drvena kučišta

Otpadna drvena kućišta (slika 4 – 239) kojima je dodijeljen ključni broj otpada 03 01 05, izrađena su od iverice koja je tretirana ljepilom i plastificirana izvana, a s vremenom je došlo i do kontaminacije štetnim tvarima poput kroma, olova, žive, sumpora, nikla, cinka i slično, tako da se ovakav materijal ne smije koristiti za kompostiranje niti odlaganje na odlagalištu. Kako se energetska vrijednost otpadne iverice kreće između 13 000 i 15 000 kJ/kg (PRILOG 1) najpoželjniji način zbrinjavanja je spaljivanje čime se može dobiti toplinska odnosno električna energija. Kod spaljivanja trebaju biti korišteni filtri i stroge mjere za pročišćavanje nastalih emisija u zrak.

Slika 4 – 239 Drveno kučište nakon demontaže

Plastična kućišta

Razvojem plastomernih materijala dizajnerima je dana mogućnost da televizijski aparati odnosno njihova kučišta dobe različite forme i oblike. Dodatna prednost široko primjenjivih polimernih materijala je mala gustoća (1,0 - 1,1 kg/m^3) čime se smanjila i masa cijelog uređaja. Za recikliranje je vrlo važna mogućnost ponovne upotrebe čistih polimera koji se u obliku granulata mogu ponovnim zagrijavanjem rastaliti i izlijevati u željene oblike.

Svaki proizvođač koristi vlastitu smjesu polimera ali u većini slučajeva za kučišta televizijskih aparata upotrebljava se amorfni kopolimer ABS akrilnitril/butadien/stiren gustoće 1,04 g/cm^3 sa različitim omjerima u sastavu. Ovaj materijal pokazuje dobra svojstva poput; čvrstoće, stabilnost, kemijsku otpornost, izolacijska svojstva i dr. Moguće ga je oblikovati injektiranjem, puhanjem, ekstrudiranjem, valjanjem u plohe na toplo ili hladno.

Dodatkom PS (polistirena) ili PC (polikarbonata) ABS-u smanjena je krtost tj. povećana savitljivost i otpornost na udar odnosno smanjeno je pucanje mase nakon oblikovanja. Najčešća boja je crna i tamnosiva a može se postići niski ili visoki sjaj. Kod kombinacije PC/ABS (gustoće 1,10 g/cm^3) postignuta je otpornost na alkohol, vodu, naftu i soli no ne i na alkale, alifatske ugljikovodike i klorirane ugljikovodike. Uz primjenu otapala moguće je i premazivanje bojom ili metalima.

a) b)

Slika 4 – 240 Plastično kučište; a) dijelovi i b) drobljena plastika

Stražnji dijelovi kučišta televizijskih aparata sa katodnom cijevi izloženi su velikom zagrijavanju zbog grijanja unutar katodne cijevi i stoga su u polimere miješani bromirani inhibitori gorenja BFRs **(***Brominated flame retardants, engl.*) koji su RoHS Direktivom zamijenjeni manje štetnim tvarima bez primjene antimona i fosfora. Nažalost i mala količina plastike sa inhibitorima gorenja može kontaminirati cijelu količinu i tada takva plastika nije pogodna za dobivanje nove plastike jer se na temperaturama iznad 400 °C oslobađaju otrovni dioksini i difurani štetni po zdravlje.

Stražnji dijelovi kučišta se nakon demontaže odvajaju i nakon usitnjavanja, se dobiveni granulat, otprema u spalionicu na spaljivanje pri temperaturama iznad 1.200 °C uz stroge mjere pročišćavanja dimnih plinova. Granule plastike su dobro gorivo jer imaju energetsku vrijednost od 22 MJ/kg što je vrlo blizu energetske vrijednosti ugljena (ACRR, 2012).

Kondenzatori

Prema odredbama RoHS Direktive svi elektrolitski kondenzatori koji sadrže opasne tvari, promjera i visine veće od 25 mm (slika 4 – 241) moraju se ručno demontirati i posebno zbrinjavati kao opasni otpad.

Slika 4 – 241 Elektrolitski kondenzatori ∅ + 25 mm i visine + 25 mm

Metalni dijelovi

Ručnom demontažom moguće je u početnoj fazi izdvojiti veće komade željeznih, ili aluminijskih metalnih držača ili limova (slika 4 – 242) čime se dobiva kvalitetna sekundarna sirovina a uz to smanjujemo količinu materijala koji se sitni.

a) b) c)

Slika 4 – 242 a) Željezni držači, b) mrežice zvučnika od aluminija i c) aluminijski limovi

5. DISKUSIJA REZULTATA

Obzirom na svojstva materijala i uređaje u kojima su izvođeni testovi ovisno o fazi ispitivanja, mijenjala se i korisna odnosno nekorisna komponenta materijala. Nakon odvajanja oslobođene komponente u jednom ispitivanju dio nekorisne komponente postao bi korisna komponenta, a odvajanje nizom oplemenjivačkih postupaka nastojalo se izdvojiti što je moguće više čistih produkata. Iz dobivenih rezultata trebalo bi biti moguće odrediti radne uvjete u kojima dolazi do optimalnih uvjeta separacije na pojedinom uređaju kao i najvišu moguću kvaliteta koncentrata odnosno maseno iskorištenje ovisno o radnim parametrima i međudjelovanju istih.

Za razliku od magnetske i gravitacijske separacije, za druge separacijske postupke (zračna i elektrostatička koncentracija) je plan testiranja napravljen uz upotrebu statističkog planiranja eksperimenata, prema centralno složenim planom.

Rezultati analize varijance za zavisne varijable (kvaliteta koncentrata i maseno iskorištenje) prikazane su u tablicama ali i grafikonima, odnosno regresijskim plohama ovisnosti. Značajnost utjecaja nezavisne varijable, njihovih kvadrata i njihovog međudjelovanja na zavisnu varijablu određena je na temelju vrijednosti "p" koja se nalazi u posljednjem stupcu tablica analize varijance. Što je p veći, veća je vjerojatnost da je pogrešno odbaciti osnovnu hipotezu. Pri tome je uobičajeno hipotezu odbaciti uz vjerojatnost pogreške manju od 5 % ($p < 0,05$), odnosno za $p < 0,05$ prihvaća se da promatrani faktor ima značajan utjecaj na zavisnu varijablu (Pfaff & Salopek, 2004; StatSoft®, 2008). Procjene veličine utjecaja prikazane su u drugom stupcu *(Effect)* tablica, a značenje tih vrijednosti je sljedeće: što je vrijednost *Effect* po apsolutnoj vrijednosti veća, veći je utjecaj promatrane nezavisne varijable na zavisnu, dok njen negativni predznak znači da se porastom vrijednosti nezavisne varijable smanjuje vrijednost zavisne, i obrnuto.

5.1. GRUPA „ZVUČNICI“

Zvučnici kao sastavni dio audio sustava u televizijskom aparatu sadržavaju željezo, bakar, aluminij, karton, papir, tekstil i gumu. Zbog najvećeg sadržaja željeza (99 %) zvučnici su izdvojeni kao posebna skupina za ispitivanje, a primjenom određenih oplemenjivačkih

postupaka trebalo je osloboditi i odvojiti ostale materijale koji su također interesantni kao sekundarna sirovina, a u prvom redu se misli na bakar i aluminij te u nešto manjoj mjeri plastika. Papir, karton, guma i tekstil u ovom ispitivanju smatrani su nekorisnom komponentom iako svoju primjenu nalaze u spalionicama gdje se koriste za dobivanje toplinske (električne) energije, zatim u cementnoj industriji (gume) i sl..

Nakon primarnog i sekundarnog sitnjenja obzirom da dio tekstila nije prošao kroz rešetku s veličinom otvora od 4 mm u reznom mlinu, već se zadržao u bubnju mlina 0,27 grama materijala smatrano je nekorisnom komponentom i u postupku granulometrijske analize pridodano je klasi + 4 mm. Sastav klase 4/3,15 mm bio je vrlo sličnog sastava kao i klase +4 mm. Ove dvije klase nakon sitnjenja imale su maseni udio od 1,33 % i zbog male mase i specifičnog sastava nisu uključene u daljnje ispitivanje. U tablici 4 – 2 vidljivo je da nakon izdvajanja tih dviju klasa preostalo 98,67 % materijala za daljnje ispitivanje. Najveći maseni udio (62,62 %) nakon sitnjenja imala je klasa 2/1 mm u kojoj se očekivao i najveći udio bakra i aluminija nakon usitnjavanja žičanih svitaka koji se nalaze unutar zvučnika. Maseni udio ostalih dviju klasa zajedno (1/0,5 i -0,5 mm) iznosio je približno 30 % s podjednakom zastupljenošću. U ove dvije klase očekivao se najveći udio nekorisne komponente i manji udio sitnijih zrna metala i prašine.

Separacija u zračnoj struji - klasa 3,15/2 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 5 do 4 – 7, te grafikona 4 – 1 i slika 4 – 30 do 4 – 35 za kvalitetu koncentrata proizlazi sljedeće:

- Vrijednost p (tablica 4 – 6) za brzinu zraka kao radni parametar je neznatno manja od 0,05, a najznačajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata ima visina pregrade sa razinom značajnosti od p = 0,020303, a drugi po značaju parametar je položaj usipnog otvora, odnosno udaljenost ulaza materijala od izvora zračne struje i/ili pregrade p = 0,038906.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 6, visina pregrade ima najveći utjecaj dok položaj usipnog otvora sa značajnijim utjecajem od brzine zraka imaju negativni učinak, a međudjelovanje visine pregrade i udaljenosti

usipnog otvora ima najvišu vrijednost. Kvadrati nezavisnih varijabli nemaju veći utjecaj.

- Na osnovi prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 30 do 4 – 35, moguće je odrediti područja vrijednosti radnih parametara kod kojih je dobivena najviša kvaliteta koncentrata. Kvaliteta koncentrata od 100 %, uz iskorištenje od gotovo 74 % postiže se sa visinom pregrade 136 mm, udaljenošću ulaznog otvora od 20 mm i brzinom zraka 7,5 m/s, što je vidljivo u tablici 4 – 5, (test br. 8).

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 8 i 4 – 9, te grafikona 4 – 2 i slika 4 – 36 do 4 – 41 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima visina pregrade sa razinom značajnosti p = 0,00008, zatim brzina zraka p = 0,00094 i na kraju položaj ulaznog otvora p = 0,000943.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 8, visina pregrade ima najveći utjecaj dok je brzina zraka utjecajnija od položaja ulaznog otvora ali obje imaju negativni učinak. Kvadrati nezavisnih varijabli i međudjelovanje varijabli nemaju veći utjecaj.
- Na osnovi prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, iz slike 4 – 36 do 4 – 41, moguće je odrediti područja vrijednosti radnih parametara kod kojih je dobiveno najbolje maseno iskorištenje. Maseno iskorištenje od 80,15 % postiže se sa visinom pregrade 160 mm, udaljenošću usipnog otvora 35 mm i brzinom zraka 9,5 m/s (test br.12, tablica 4 – 5), pri kvaliteti koncentrata od 99,17 %.

Separacija klase 2/1 mm u zračnoj struji

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 10 do 4 – 12, te grafikona 4 – 3 i slika 4 – 42 do 4 – 47 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Niti jedan radni parametar nema značajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata no međudjelovanje visine pregrade i brzine zraka sa razinom značajnosti p = 0,1394 odnosno međudjelovanje visine pregrade i položaja usipnog otvora p = 0,1859 najbliže su kriteriju za prihvaćanje značajnosti utjecaja.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 11, potvrđuje se navedeno, a udaljenost usipnog otvora od izvora zračne struje i kvadrat te varijable imaju negativan učinak što upućuje da povećanjem udaljenosti smanjujemo kvalitetu koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slika 4 – 42 do 4 – 47, vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 97,97 %, uz iskorištenje od 63,36 % postiže se sa visinom pregrade 136 mm, udaljenošću usipnog otvora 20 mm i brzinom zraka 7,5 m/s (test br. 8, tablica 4 – 10).

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 13 i 4 – 14, te grafikona 4 – 4 i slika 4 – 48 do 4 – 53 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Glede značajnosti utjecaja na maseno iskorištenje, ni ovdje nema značajnijeg utjecaja pojedine varijable, a najbliže kriteriju za prihvaćanje su međudjelovanje visine pregrade i položaja usipnog otvora sa razinom značajnosti od p = 0,1311 odnosno međudjelovanje visine pregrade i brzina zraka sa p = 0,1944.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 13, visina pregrade i njeno međudjelovanje sa drugim varijablama ima najveći utjecaj dok položaj usipnog otvora i njen kvadrat imaju negativni učinak što znači da se njenim povećanjem smanjuje maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 48 do 4 – 53, vidi se da je najveće maseno iskorištenje od 66,25 % uz kvalitetu koncentrata od 97,43 % dobiveno pri visini pregrade 160 mm, udaljenošću usipnog otvora 35 mm i brzinom zraka 9,5 m/s (test br. 12, tablica 4 – 10).

Separacija u zračnoj struji - klasa 1/0,5 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 15 do 4 – 17, te grafikona 4 – 5 i slika 4 – 54 do 4 – 59 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Niti jedan radni parametar nema značajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata no međudjelovanje brzine zraka i položaja usipnog otvora sa razinom značajnosti p = 0,0168 ima znatan utjecaj, a u manjoj mjeri visine pregrade sa p = 0,059 najbliže je kriteriju za prihvaćanje značajnosti utjecaja.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 16, potvrđuje se navedeno, jer od pojedinačnih varijabli visina pregrade ima najveći utjecaj dok varijable brzina zraka i udaljenost otvora imaju negativni predznak pa njihovim povećanjem smanjujemo kvalitetu koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 54 do 4 – 59 vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 85,12 % uz iskorištenje od 68,66 % postiže se sa visinom pregrade 160 mm, udaljenošću usipnog otvora 35 mm i brzinom zraka 9,5 m/s (test br. 12, tablica 4 – 15)

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 18 i 4 – 19, te grafikona 4 – 6 i slika 4 – 60 do 4 – 65 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Glede značajnosti utjecaja na maseno iskorištenje sve tri varijable i kvadrat visine pregrade imaju značajan utjecaj ali najveći utjecaj sa p = 0,00008 ima visina pregrade, potom sa p = 0,00019 dolazi brzina zraka, zatim položaj usipnog otvora sa p = 0,00164 i na kraju kvadrat varijable visine pregrade sa p = 0,0406 također ima značajni utjecaj.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 18, visina pregrade ima najveći utjecaj dok linearne varijable brzina zraka i položaj usipnog otvora imaju negativni učinak što znači da se njihovim povećanjem smanjuje maseno iskorištenje.

- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 60 do 4 – 65, vidi se da je maseno iskorištenje od 68,66 % postignuto je u istom testu u kojem je dobivena i najviša kvaliteta koncentrata (test br. 12, tablica 4 – 15), pri visini pregrade od 160 mm, udaljenosti usipnog otvora od 35 mm i brzini zraka od 9,5 m/s.

Separacija u zračnoj struji - klasa -0,5 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 20 do 4 – 22, te grafikona 4 – 7 i slika 4 – 66 do 4 – 71 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata ima međudjelovanje brzine zraka i položaja ulaznog otvora s razinom značajnosti p = 0,0014, pa visina pregrade sa p = 0,015, a zatim brzina zraka sa p = 0,0196, te kvadrat brzine zraka sa p = 0,0323.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 21, potvrđuje se navedeno, jer visina pregrade ima zasebno najveći utjecaj dok linearna varijabla brzina zraka i njen kvadrat imaju negativni učinak pa njihovim povećanjem smanjujemo kvalitetu koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 66 do 4 – 71, vidi sa da se najviša kvaliteta koncentrata od 81,50 % postiže se sa visinom pregrade 136 mm, udaljenošću usipnog otvora 20 mm i brzinom zraka 7,5 m/s (test br. 8, tablica 4-20), pri čemu maseno iskorištenje iznosi 67,07 %.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 23 i 4 – 24, te grafikona 4 – 8 i slika 4 – 72 do 4 – 77 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Glede značajnosti utjecaja na maseno iskorištenje sve tri varijable i međudjelovanje visine pregrade sa brzinom zraka imaju značajan utjecaj ali najveći utjecaj sa p = 0,00007 ima visina pregrade, potom sa p = 0,00017 dolazi brzina zraka i položaj usipnog otvora sa p = 0,00818. Međudjelovanje varijabli visina pregrade i brzina zraka sa p = 0,0222 također ukazuje na značajni utjecaj.

- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 23, visina pregrade ima najveći utjecaj dok brzina zraka i položaj usipnog otvora imaju negativni učinak što znači da bi se njihovim povećanjem smanjilo maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 72 do 4 – 77, vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 68,82 % postiže se sa visinom pregrade 160 mm, udaljenošću usipnog otvora 35 mm i brzinom zraka 9,5 m/s (test br 12, tablica 4 – 20).

Rezimirajući navedeno za zračni separator može se zaključiti da u većini slučajeva na kvalitetu koncentrata najveći utjecaj ima visina pregrade, pa udaljenost ulaznog otvora od izvora zračne struje, a najmanji povećanje brzine zraka. Povišenjem pregrade povećava se kvaliteta koncentrata, dok se povećanjem udaljenosti ulaznog otvora od izvora zračne struje i/ili povećanjem brzine zračne struje kvaliteta koncentrata smanjuje. Najviša kvaliteta koncentrata odnosno najveći udio korisne komponente u koncentratu kod svih klasa postignut je u testovima br. 8 pri sljedećim vrijednostima radnih varijabli: visina pregrade 136 mm, udaljenost usipnog otvora 20 mm i brzina zraka 7,5 m/s. Izuzetak je klasa 1/0,5 mm kod koje kvaliteta koncentrata u testu br. 8 (tablica 4 – 15) iznosi 84,24 %, dok je u testu br. 12 nešto viša (85,12 %). Najviše maseno iskorištenje kod svih klasa dobiveno je u testovima br. 12, odnosno postiže se sa visinom pregrade od 160 mm, udaljenošću usipnog otvora od 35 mm i brzinom zraka od 9,5 m/s.

Uspoređujući četiri testirane klase međusobno, najbolji rezultat postignut je separiranjem najkrupnije klase 3,15/2 mm (tablica 4 – 5), pri čemu je u testu br. 8 postignuta kvaliteta koncentrata od 100 % uz iskorištenje od 73,97 %, te u testu br. 12 gdje je postignuto maksimalno iskorištenje od 80,15 % uz kvalitetu koncentrata od 99,17 %. Temeljem takvih rezultata može se reći da je pri toj veličini zrna postignut dovoljan raščin (oslobađanje međusobno spojenih komponenti) te da je moguće izvesti kvalitetnu separaciju korisne komponente od jalovine tj. papira, tekstila i gume. Temeljem ostalih rezultata (tablice 4 – 10, 4 – 15 i 4 – 20) generalno se može reći da se sa smanjenjem veličine zrna smanjuje i kvaliteta koncentrata. Testiranjem klase 2/1 mm dobiven je najkvalitetniji koncentrat (97,97 % i 97,43 %), klase 1/0,5 mm manje kvalitetan (85,12 %), a klase -0,5 mm najnekvalitetniji (81,50 %), pri čemu su najbolja dobivena iskorištenja dobivena u testovima s njakvalitetnijim koncentratom za sve tri klase približno jednaka (od 66 % do 69 %).

Magnetska separacija

Visokointenzivnom suhom magnetskom separacijom testirane su tri klase: 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm. Rezultati testiranja (tablica 4 – 26) pokazali su da kod klase 2/1 mm nema značajnog odstupanja dobivenih rezultata jer maseni udio magnetske komponente (koncentrata) „varira“ u rasponu od 0,51 % do 0,55 %, što je praktično isti rezultat. Što se tiče rezultata dobivenog testiranjem nešto sitnije klase 1/0,5 mm, opaža se povećanje sadržaja magnetske komponente (od 0,44 % do 0,62 %) s povećavanjem vremena doziranja (od 1 do 4 minute). Moglo bi se reći da su praktično ovakvi rezultati približno jednaki rezultatima dobivenim testiranjem najkrupnije klase 2/1 mm. Treba napomenuti da je tijekom testiranja primijećeno da je uzorak po strukturi "pahuljast" i moguće je "zarobljavanje" magnetične čestice unutar nakupine nemagnetičnih čestica pa je za postizanje boljeg rezultata poželjno što ravnomjernije doziranje tijekom dužeg perioda. Kada se razmotre rezultati dobiveni testiranjem najsitnije klase -0,5 mm, vidi se da su oni značajno bolji od rezultata dobivenih testiranjem preostalih dviju krupnijih klasa. Udio magnetske komponente iznosio je preko 12 %, te je uočljiv vrlo blagi trend povećanja sadržaja magnetske komponente s povećanjem vremena doziranja uzorka. Može se reći da je magnetskom separacijom najviše magnetične komponente dobiva iz najsitnije klase -0,5 mm.

Testiranjem istih uzoraka (tablica 4 – 26) u mokrom, niskointenzivnom magnetskom separatoru postignuti su sljedeći rezultati. Dobiveni udio magnetske komponente u najkrupnijoj klasi 2/1 mm iznosio je približno trostruko više (od 1,58 % do 1,73 %) nego u suhoj magnetskoj separaciji (od 0,51 % do 0,55 %). Može se primijetiti trend povećanja sadržaja magnetske komponente s produljivanjem vremena testiranja. Za klasu 1/0,5 mm se može reći da su rezultati praktično jednaki (od 0,53 % do 0,62 %) onima iz suhe magnetske separacije (od 0,44 % do 0,62 %). I ovdje je najbolji rezultat dobiven pri najduljem vremenu testiranja. Kao i kod suhe separacije, najbolji rezultati (od 12,38 % do 13,00 %) postignuti su testiranjem najsitnije klase -0,5 mm, a također je prisutan blagi trend povećanja sadržaja magnetske komponente s produljenjem vremena testiranja.

Usporedbom suhe visokointenzivne i mokre niskointenzivne magnetske separacije, generalno se može reći da mokra daje znatno bolje rezultate pri separiranju najkrupnije klase 2/1 mm, nešto bolje pri separiranju najsitnije klase -0,5 mm, dok su rezultati separiranja klase 1/0,5 mm praktično jednaki.

Gravitacijska koncentracija

Gravitacijskom koncentracijom na koncentracijskom stolu pokušalo se nakon izdvajanja željeza mokrom magnetskom separacijom iz preostalog uzorka (tablica 4 – 27) separirati bakar od plastike i gume. Testovi su izvedeni uz promjenu samo jedne radne varijable – nagiba ploče koncentracijskog stola (tablica 4 – 28). Nakon testiranja pri tri različita nagiba ploče (3°, 6° i 9°) analizirani su dobiveni produkti u tri klase: 2/1 mm, 1/0,5 mm i -0,5 mm. Analiza rezultata pokazala je da se maseno iskorištenje smanjuje sa smanjenjem nagiba ploče stola za klasu 2/1 mm, dok za druge dvije klase nema pravila (zabilježen je i porast i pad). Glede kvalitete koncentrata može se reći da u sve tri klase dolazi do povećanja kvalitete koncentrata sa smanjenjem nagiba ploče stola.

Najbolji rezultati glede kvalitete koncentrata sa sadržajem korisne komponente (bakar s primjesama aluminija) od 99,12 % do 99,87 % za sve tri klase dobiveni su pri najmanjem nagibu ploče stola od 3°, ali uz niska iskorištenja u rasponu od 12,39 % do 34,14 %, ovisno o veličini zrna (tj. klasi). S obzirom na malo iskorištenje, trebalo bi preraditi međuprodukt (tj. jalovinu grubog stupnja separacije) kako bi se u drugom separacijskom koraku izdvojilo još korisne komponente iz sirovine koja bi inače nakon grubog stupnja separacije završila na odlagalištu, odnosno budući da je nekorisna komponenta tekstil i guma, na spaljivanju.

5.2. GRUPA „OTKLONSKI SVITCI, KABELI, KONEKTORI I ŽICE“

Grupa „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“ je skupina materijala koja je obrađena posebno zbog većeg sadržaja žičanog materijala tj. većeg sadržaja bakra kojeg se nastojalo izdvojiti od ostalih materijala. U ovu grupu spadaju otklonski svitci demontirani s katodne cijevi, te kabeli i žice sa držačima i konektorima koji povezuju razne komponente unutar televizijskih aparata.

Osnovna zadaća je bila postići oslobađanje bakrene žice od izolacijskog materijala odnosno kod svitaka bakrenu žicu osloboditi od metalnog odljevka koji se montira na katodnu cijev, kao i oslobađanje aluminija iz konektora koji služe za spajanje elektroničkih komponenti, tako da su očekivani materijali bakar, željezo, aluminij kao korisna komponenta, a plastika i guma kao nekorisna komponenta.

Nakon primarnog i sekundarnog sitnjenja u drobilici sa neovisno rotirajućim pločicama i rešetkom s otvorima veličine od 5 mm, dio materijala koji je zaostao u bubnju je odstranjen i prosijan na situ s veličinom otvora od 4 mm, nakon čega su iz odsjeva odvojeni krupniji komadi metala, dok je ostatak usitnjen u reznom mlinu RETSCH 2000 sa rešetkom s otvorima promjera 4 mm. Sav dodatno usitnjeni materijal homogeniziran je s prosjevom sijanja, te je provedena granulometrijska analiza, a njezini rezultati prikazani su u tablici 4 – 29. Najveći maseni udio od 52,68 % ima klasa 2/1 mm u kojoj se očekuje i najveći udio bakra nakon usitnjavanja žica i otklonskih svitaka. U klasi 4/2 mm koja ima maseni udio 14,95 %, u potpunosti je došlo do oslobađanja korisne od nekorisnih komponenti iako je relativno širok raspon u veličini zrna unutar klase. U klasama 1/0,5 i -0,5 mm koje zajedno imaju maseni udio od 32,37 %, očekivana je najveća prisutnost nekorisne komponente uz veliki udio zrna i prašine korisne komponente.

Separacija u zračnoj struji - klasa 4/2 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 31 do 4 – 33, te grafikona 4 – 9 i slika 4 – 83 do 4 – 88 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Značajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata nema niti jedna varijabla zasebno.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 32, potvrđuje se navedeno, jer kvadrat visine pregrade ima zasebno najveći negativni utjecaj dok sama varijabla ima pozitivni učinak, pa će se vrijednost varijable kretati oko sredine između maksimalne i minimalne vrijednosti, a uzimajući u obzir negativni predznak dviju ostalih varijabli njihovim povećanjem smanjujemo kvalitetu koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 83 do 4 – 88, vidi se da je najvišu kvalitetu koncentrata od 100 % moguće postići u različitim radnim uvjetima (testovi 1, 12 i 13, tablica 4 – 31), pri čemu je najviše iskorištenje od 99,74 % dobiveno u testu br. 13. Može se reći da su i ostala dva testa u kojima je dobivena kvaliteta koncentrata od 100 % gotovo jednako dobri jer su dobivena iskorištenja (99,13 % u testu br. 1 i 99,61 % u testu br. 12) neznatno niža od najboljeg testa. Najpovoljniji uvjeti za separaciju su pri visini pregrade od 140 mm, brzini zračne struje od 6 m/s i pri udaljenosti ulaznog otvora od 35 mm o izvora zračne struje (test br. 13, tablica 4 – 31)

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 34 i 4 – 35, te grafikona 4 – 10 i slika 4 – 89 do 4 – 94 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Sve tri varijable, te kvadrat položaja usipnog otvora i na kraju međudjelovanje brzine zraka sa položajem usipnog otvora imaju značajan utjecaj ali najveći utjecaj sa p = 0,0011 ima brzina zraka, potom sa p = 0,0023 dolazi visina pregrade i kvadrat položaja usipnog otvora sa p = 0,0085. Međudjelovanje varijabli brzina zraka i položaj usipnog otvora sa p = 0,0423 također ukazuje na značajni utjecaj.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 34, visina pregrade ima visok utjecaj dok brzina zraka i kvadrat položaja usipnog otvora imaju negativni učinak tako da bi se njihovim povećanjem smanjilo maseno iskorištenje.

- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 89 do 4 – 94, vidi sa da je najviše maseno iskorištenje od 99,74 % pri kvaliteti koncentrata od 100 % postignuto u testu br. 13.
- Kvaliteta koncentrata u svim testovima klase 4/2 mm bila viša od 99 %, dok se iskorištenje kretalo u rasponu od 93,05 % do 99,74 %.

Separacija u zračnoj struji - klasa 2/1 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 36 do 4 – 38, te grafikona 4 – 11 i slika 4 – 95 do 4 – 100 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Visina pregrade i brzina zraka imaju najznačajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata i to visina pregrade sa razinom značajnosti p = 0,0249 odnosno brzina zraka p = 0,0355.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 37, visina pregrade ima najveći utjecaj dok brzina zraka sa značajnijim utjecajem od kvadrata visine pregrade imaju negativni učinak. Kvadrati nezavisnih varijabli i međudjelovanje brzine zraka i položaj usipnog otvora nemaju veći utjecaj.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 95 do 4 – 100, vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 100 % postiže sa visinom pregrade 152 mm, udaljenošću usipnog otvora 20 mm i brzinom zraka 7,5 m/s (test br.8, tablica 4 – 36), pri čemu je dobiveno i maksimalno iskorištenje od 99,01 %.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 39 i 4 – 40, te grafikona 4 – 12 i slika 4 – 101 do 4 – 106 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima visina pregrade sa razinom značajnosti p = 0,04559 dok druge varijable nemaju veći utjecaj.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 39, visina pregrade ima najveći utjecaj dok brzina zraka sa značajnijim utjecajem od međudjelovanja visine pregrade i položaja usipnog otvora imaju negativni učinak, što znači da bi se njihovim povećanjem smanjilo maseno iskorištenje.

- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 101 do 4 – 106, vidi se da je najviše maseno iskorištenje od 99,01 % dobiveno pri visini pregrade od 152 mm, 35 mm udaljenosti usipnog otvora od izvora zračne struje i brzini zraka od 7,5 m/s pri čemu je dobivena kvaliteta koncentrata od 100 %.
- Kvalieta koncentrata je u svim testovima varirala od 98,67 % do 100 %, a maseno iskorištenje od 88,42 % d o 99,01 %.

Separacija klase 1/0,5 mm u zračnoj struji

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 41 do 4 – 43, te grafikona 4 – 13 i slika 4 – 107 do 4 – 112 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Niti jedna varijabla nema značajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata no položaj usipnog otvora i njen kvadrat najbliže su kriteriju za prihvaćanje značajnosti utjecaja.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 42, potvrđuje se navedeno, jer visina pregrade ima najmanji utjecaj dok brzina zraka i udaljenost otvora imaju negativni učinak pa njihovim povećanjem smanjujemo kvalitetu koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 108 do 4 – 113, vidi se da je najviša kvaliteta koncentrata od 100 % postignuta u šest testova (1, 4, 6, 8, 12, 13), a u testu br. 8 (tablica 4 – 41) je i najviše postignuto iskorištenje od 99,21 % pri visini pregrade od 152 mm, udaljenosti ulaznog otvora od 20 mm i brzini zraka od 7,5 m/s.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 44 i 4 – 45, te grafikona 4 – 14 i slika 4 – 113 do 4 – 118 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Glede značajnosti utjecaja na maseno iskorištenje samo položaj usipnog otvora ima značajan utjecaj sa p = 0,0274. Kvadrat položaja usipnog otvora i brzina zraka ukazuje na utjecaj, a bitno je i to da imaju negativan učinak.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 44, položaj ulaznog otvora i njen kvadrat imaju najveći utjecaj dok brzina zraka ima negativni učinak pa bi se njihovim povećanjem smanjilo maseno iskorištenje, a visina pregrade ima pozitivan učinak.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 113 do 4 – 118, vidi se da je najviše maseno iskorištenje od 99,21 % postignuto u testu br. 8 sa visinom pregrade od 152 mm, udaljenošću ulaznog otvora od 20 mm i brzinom zraka 7,5 m/s uz kvalitetu koncentrata od 100 %.
- Kvaliteta koncentrata varirala je u rasponu od 76,11 % do 100 %, a maseno iskorištenje od 69,63 % do 99,21 %.

Separacija klase -0,5 mm u zračnoj struji

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 46 do 4 – 49, te grafikona 4 – 15 i slika 4 – 119 do 4 – 124 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Niti jedan radni parametar nema značajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata no položaj usipnog otvora i njihov kvadrat najbliže su kriteriju za prihvaćanje značajnosti utjecaja.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 47, potvrđuje se navedeno, jer visina pregrade i brzina zraka imaju vrijednost procjene jednaku nuli, a njihov kvadrat ima vrlo mali značaj dok udaljenost otvora i njen kvadrat imaju također mali značaj ali s negativnim učinkom.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 119 do 4 – 124, vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 100 % postiže u svim testovima, neovisno o vrijednosti radnih parametara.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 49 i 4 – 50, te grafikona 4 – 16 i slika 4 – 125 do 4 – 130 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Glede značajnosti utjecaja na maseno iskorištenje visina pregrade ima značajan utjecaj sa p = 0,0014 i položaj usipnog otvora sa p = 0,04285. Kvadrat varijable položaj usipnog otvora i varijabla brzina zraka ukazuje na utjecaj, a bitno je i to da imaju negativan učinak.
- Gledajući procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 49, sa povećanjem visine pregrade i smanjenjem položaja usipnog otvora, te brzine zraka zbog negativnog učinka postiže se najviše maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 125 do 4 – 130, vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 90,73 % postiže sa visinom pregrade 160 mm, udaljenošću usipnog otvora 35 mm i brzinom zraka 9,5 m/s.
- Kao potvrda značajnosti utjecaja položaja usipnog otvora, promatrajući tablicu 4 – 46, može se usporediti minimalna i maksimalna vrijednost varijable udaljenost otvora od izvora zračne struje. Promatrajući pokuse 15 i 16 dvije prve varijable ostaju jednake i imaju središnju vrijednost, dolazimo do razlike u masenom iskorištenju od 16,22 % ukoliko usipni otvor maksimalno približimo pregradi.

Rezimirajući navedeno za zračno separiranje otklonskih svitaka, kabela, žica i konektora dolazi se do zaključka da za postizanje visoke kvalitete koncentrata niti jedna varijabla pojedinačno, neovisno o klasi materijala, nema većeg značaja dok međudjelovanje visine pregrade i položaj usipnog otvora može najviše utjecati na kvalitetu koncentrata. Povećanje udaljenosti usipnog otvora iznad 35 mm odnosno približavanje istog pregradi, povećava gubitak korisne komponente. Na primjer kod udaljenosti od 50 mm kod svih klasa iskorištenje je bilo manje dok su sa 60 mm ostvareni najveći gubici tj. maseno iskorištenje je bilo najniže kod sitnijih klasa 1/0,5 mm gdje je pri 35 mm iznosilo 93,83 %, a pri 60 mm pada na 69,39 % te kod -0,5 mm sa 72,99 % pada na 66,42 %. Na to dodatno može utjecati veća brzina zraka iznad 9,5 m/s kao i visina pregrade manja od 140 mm. Kvaliteta koncentrata u svim testovima svih testiranih klasa uglavnom se kretala od 99 % do 100 %.

Najveći utjecaj na maseno iskorištenje ima visina pregrade, a kvadrati brzine zraka i položaja usipnog otvora imaju uglavnom negativni učinak. Određujući područje utjecaja na nivo-linijama regresijske plohe smanjenjem položaja usipnog otvora ispod 35 mm i smanjenjem brzine zraka ispod 7,5 m/s povećava se maseno iskorištenje uz najnižu visinu pregrade 140 mm. Najbolji rezultati dobiveni su separiranjem klase 4/2 mm jer kvaliteta koncentrata u svim testovima bila viša od 99 %, uz maseno iskorištenje od 93 % do preko 99 %, zatim klase 2/1 mm sa jednakom kvalitetom koncentrata i iskorištenjima od 88 % do 99 %, klase 1/0,5 mm s kvalitetom koncentrata od 76 % do 100 % i iskorištenjima od 70 % do 99 % i klase -0,5 mm s kvalitetom koncentrata od 100 %, ali najslabijim iskorištenjima od 66 % do 91 %.

Elektrostatička separacija klase 4/2 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 52 do 4 – 54, te grafikona 4 – 17 i slika 4 – 131 do 4 – 136 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- **P**oložaj separacijskog noža ima najznačajniji utjecaj na kvalitetu sa razinom značajnosti p = 0,000006.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 53, napon na elektrodi ima veći utjecaj od brzine okretanja bubnja, a njihovo međudjelovanje ima negativni učinak što znači da se njihovim povećanjem smanjuje kvaliteta koncentrata. Kvadrati nezavisnih varijabli su negativnog predznaka ali nemaju veći utjecaj.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 131 do 4 – 136, vidi se da je najviša kvaliteta koncentrata od 98,21 % dobivena u testu br. 12 (tablica 4 – 52) pri nagibu separacijskog noža od 135°, brzinom okretanja bubnja od 63 m/min i naponom na elektrodi od 20 kV. Drugi najbolji test je test br. 4 s kvalitetom koncentrata od 97 % i iskorištenjem od 74,3 %, zatim test br. 3 s postignutom kvalitetom koncentrata od 97 % i iskorištenjem od 67,6%, te test br. 9 s kvalitetom koncentrata od 96 % i iskorištenjem od 72,6 %. Svi ostali testovi rezultirali su znatno manjom kvalitetom koncentrata i masenim iskorištenjem.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 55 i 4 – 56, te grafikona 4 – 18 i slika 4 – 137 do 4 – 142 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima položaj separacijskog noža sa razinom značajnosti p = 0,000001, a nakon njega međudjelovanje položaja separacijskog noža sa brzinom okretanja bubnja p = 0,02104.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 55, položaj separacijskog noža ima najveći utjecaj na maseno iskorištenje, dok su međudjelovanje separacijskog noža i brzine okretanja bubnja sljedeći po razini značajnosti na maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 137 do 4 – 142, vidi se da je test br. 12 (tablica 4 – 52) s najvišom kvalitetom koncentrata ujedno i test s najvišim masenim iskorištenjem od 82,50 %, a postiže se sa nagibom separacijskog noža od 135°, brzinom okretanja bubnja od 63 m/min i naponom na elektrodi od 20 kV. To su ujedno i najbolji uvjeti za separaciju klase 4/2 mm.

Elektrostatička separacija klase 2/1 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 57 do 4 – 59, te grafikona 4 – 19 i slika 4 – 143 do 4 – 148 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Položaj separacijskog noža ima najznačajniji utjecaj na kvalitetu sa razinom značajnosti p = 0,00005.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 58, napon na elektrodi ima manji utjecaj od brzine okretanja bubnja, a njihovo međudjelovanje ima negativni učinak što znači da se njihovim povećanjem smanjuje kvaliteta koncentrata. Kvadrati nezavisnih varijabli su negativnog predznaka ali nemaju veći utjecaj.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike, 4 – 143 do 4 – 148, vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 99,64 % postiže sa nagibom separacijskog noža 129°, brzinom okretanja bubnja 71 m/min i naponom na elektrodi

23 kV, a dobivena je u testu br. 9 (tablica 4 – 57). Vrlo visoke kvalitete koncentrata (97 %) dobivene su još i u testovima br. 4 i 12.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 60 i 4 – 61, te grafikona 4 – 20 i slika 4 – 149 do 4 – 154 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima položaj separacijskog noža sa razinom značajnosti p = 0,000021.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 60, položaj separacijskog noža ima najveći utjecaj, dok sve ostale varijable po razini značajnosti bitno ne utječu na maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 149 do 4 – 154, vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 70,20 % postiže sa nagibom separacijskog noža 135°, brzinom okretanja bubnja 63 m/min i naponom na elektrodi 20 kV, a dobiveno je u testu br. 12 (tablica 4 – 57) uz kvalitetu koncentrata od 97,83 % što je najbolji rezultat postignut separacijom klase 2/1 mm. Naime, iako je kvaliteta koncentrata u testu br. 9 nešto viša (99,64 %), maseno iskorištenje manje je oko 8 % (62,50 %).

Elektrostatička separacija klase 1/0,5 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 62 do 4 – 65, te grafikona 4 – 21 i slika 4 – 155 do 4 – 160 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Položaj separacijskog noža ima najznačajniji utjecaj na kvalitetu sa razinom značajnosti p = 0,000006.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 63, napon na elektrodi ima veći utjecaj od brzine okretanja bubnja, a njihovo međudjelovanje ima negativni učinak što znači da se njihovim povećanjem smanjuje kvaliteta koncentrata. Kvadrati nezavisnih varijabli su negativnog predznaka ali nemaju veći utjecaj.

- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 155 do 4 – 160, vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 98,79 % postiže sa nagibom separacijskog noža 120°, brzinom okretanja bubnja 63 m/min i naponom na elektrodi 20 kV (test br.17, tablica 4 – 62).

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 65 i 4 – 66, te grafikona 4 – 22 i slika 4 – 161 do 4 – 166 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima položaj separacijskog noža sa razinom značajnosti p = 0,000001.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 65, položaj separacijskog noža ima najveći utjecaj na maseno iskorištenje, dok su međudjelovanje separacijskog noža i brzine okretanja bubnja sljedeći po razini značajnosti na maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 161 do 4 – 166, vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 81,80 % postiže se sa nagibom separacijskog noža 120°, brzinom okretanja bubnja 63 m/min i naponom na elektrodi 20 kV, pri čemu je dobivena i najviša kvaliteta koncentrata (98,79 %), pa se može zaključiti da su ovo najbolji uvjeti za separaciju klase 1/0,5 mm. Nešto slabiji rezultat dobiven je u testu br.12 (tablica 4 – 62) kvaliteta koncentrata od 94,91 % i iskorištenje od 79,30 %, dok su svi ostali testovi dali značajno slabije rezultate.

Elektrostatička separacija klase -0,5 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 67 do 4 – 69, te grafikona 4 – 23 i slika 4 – 167 do 4 – 172 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Položaj separacijskog noža ima najznačajniji utjecaj na kvalitetu sa razinom značajnosti p = 0,010338.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 68, nakon položaja separacijskog noža međudjelovanje položaja noža i brzine okretanja bubnja najviše utječe na kvalitetu koncentrata dok brzina okretanja bubnja ima manji utjecaj. Kvadrati nezavisnih varijabli su negativnog učinka ali nemaju veći utjecaj.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 167 do 4 – 172, moguće je odrediti područja vrijednosti radnih parametara kod kojih je dobivena najviša kvaliteta koncentrata. Najviša kvaliteta koncentrata od 84,19 % postiže se sa nagibom separacijskog noža od 135°, brzinom okretanja bubnja od 63 m/min i naponom na elektrodi od 20 kV (test br. 12, tablica 4 - 67).

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 70 i 4 – 71, te grafikona 4 – 24 i slika 4 – 173 do 4 – 178 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima položaj separacijskog noža sa razinom značajnosti p = 0,000007.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 70, položaj separacijskog noža ima najveći utjecaj, dok su međudjelovanje separacijskog noža i napona na elektrodi sljedeći po razini značajnosti na maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 173 do 4 – 178, moguće je odrediti područja vrijednosti radnih parametara kod kojih je dobiveno najbolje maseno iskorištenje. Najviše maseno iskorištenje od 49 % postiže se sa nagibom separacijskog noža od 135°, brzinom okretanja bubnja od 63 m/min i naponom na elektrodi od 20 kV, uz najviše dobivenu kvalitetu koncentrata (84,19 %), pa se može zaključiti da su to najpovoljniji uvjeti za separaciju klase -0,5 mm (test br. 8, tablica 4 – 67).

Rezimirajući rezultate elektrostatičke separacije može se zaključiti da je kvaliteta koncentrata dobivenog korištenjem svojstva vodljivosti materijala rezultirala viskom kvalitetom koncentrata za sve klase, a najveći značaj ima maksimalni položaj separacijskog noža od 135° jer sa smanjenjem nagiba opada i kvaliteta koncentrata. Veći napon na elektrodi također doprinosi kvaliteti koncentrata dok brzina okretanja bubnja dobiva na značaju sa smanjenjem veličine zrna odnosno kod klasa 1/0,5 i -0,5 mm (veća brzina poboljšava kvalitetu koncentrata).

Međudjelovanje položaja separacijskog noža i brzine okretaja bubnja uz pojedinačno najveći značaj položaja separacijskog noža bitno utječu na maseno iskorištenje. Razlika u odnosu na kvalitetu koncentrata je mnogo izraženija ali najveće maseno iskorištenje kod svih klasa postiže se sa maksimalnim nagibom separacijskog noža od 135°, te srednjom brzinom okretanja bubnja od 63 m/min i srednjim naponom na elektrodi od 20 kV. Sa smanjenjem položaja nagiba separacijskog noža značajno opada i maseno iskorištenje dok veća brzina okretanja bubnja i veći napon na elektrodi daju bolje maseno iskorištenje.

S aspekta veličine zrna, najbolje rezultate daje najkrupnija klasa 4/2 mm (kvaliteta koncentrata od 98,21 % i iskorištenje od 82,5 %), nešto lošije klase 2/1 mm i 1/0,5 mm s kvalitetama koncentrata od 98 % i 95 %, te iskorištenjima od 70 % i 79 %, a najslabije klasa -0,5 mm s kvalitetom koncentrata od 84 % i iskorištenjem od 49 %. Dakle, sa smanjenjem veličine zrna opada i efikasnost elektrostatičke separacije.

Magnetska separacija

Nakon separacije u zračnoj struji i elektrostatčke separacije, provedena je i magnetska separacija s ciljem izdvajanja eventualno zaostale magnetske komponente. Visokointenzivnom suhom magnetskom separacijom testirane su četiri klase: 4/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm. Testiranje klase 4/2 mm pokazalo je porast (od 6,13 % do 9,24 %) udjela magnetske komponente s produljenjem vremena doziranja. Isti trend je zabilježen u klasi 2/1 mm (porast od 15,96 % do 17,30 %). Testiranjem klase 1/0,5 mm pokazalo se da udio magnetske komponente „varira“ u rasponu od približno 51,5 % do 53,3 %, neovisno o vremenu

doziranja, a slično i kod najsitnije klase -0,5 mm imamo „varira“ u rasponu od 54 % do 56 % neovisno o vremenu doziranja.

Niskointenzivna mokra separacija provedena je nakon suhe visokointenzivne separacije. Pokazala je slične trendove uz nešto bolje rezultate pri separiranju krupnijih klasa. Pri separaciji krupnije klase zabilježen je trend povećanja udjela magnetske komponente (od 7,2 % do 17,7 %) s produljenjem vremena doziranja. Klasa 2/1 mm također je pokazala trend povećanja udjela magnetske komponente (od 17,5 % do 19,1 %) s povećanjem vremena doziranja. Kod klase 1/0,5 mm također nešto se povećao udio magnetske komponenta (od 47,04 % do 49,7 %) s produljenjem vremena doziranja, dok se to ne može reći za najsitniju klasu -0,5mm gdje imamo negativan prirast (od 47,92 % do 44,36 %) udjela magnetske komponente s porastom vremena doziranja.

Opći zaključak bi mogao biti da za dvije krupnije klase (4/2 mm i 2/1 mm) bolje rezultate daje niskointenzivna mokra magnetska separacija, za klasu 1/0,5 mm su rezultati približno podjednaki, a za najsitniju klasu -0,5 mm bolji rezultati postižu se suhom visokointenzivnom magnetskom separacijom.

Razmatrajući rezultate dobivene u oba postupka magnetske separacije za grupu „OSKKŽ“ gdje se udio izdvojene magnetske komponente kreće kod krupnijih klasa 4/2 i 2/1 mm od približno 10 % do 20 %, a kod sitnijih klasa 1/0,5 i -0,5 mm od približno 45 % do 56 %, može se zaključiti da bi se uključivanjem magnetske separacije kao prve faze neposredno nakon sijanja, postiglo znatno smanjenje količine ulaznog materijala za daljnje faze recikliranja, a time i ušteda energije i vremena u tim fazama.

5.3. GRUPA „TISKANE PLOČICE“

Ova skupina materijala sa stajališta značaja recikliranja vrlo je interesantna zbog velike koncentracije prije svega bakra kao vodljive komponente, aluminija, željeza, mesinga, olova, kositra te srebra i drugih plemenitih metala. Temeljna zadaća je nakon odvajanja metalnih okvira i trafo-a, te kondenzatora + 25 mm, ostvariti oslobađanje vodljive strukture i elektroničkih komponenti od izolacijske podloge koja je ovisno o proizvođaču celuloza impregnirana sa fenolnom smolom odnosno staklena vlakna impregnirana epoksidnom smolom.

Nakon primarnog drobljenja i odvajanja aluminijske folije iz kondenzatora i krupnijih komada metala, te sekundarnog drobljenja preostalog materijala u drobilici sa rešetkom veličine otvora 2 mm, napravljena je granulometrijska analiza izlaznog materijala iz sekundarne drobilice, a za daljnja ispitivanja uzete su klasa 2/1 mm čiji je udio 31,04 % i klasa 1/0,5 mm čiji je udio 28 % u izlaznom materijalu. Naime, u probnom radu sa klasom -0,5 mm uočen je gubitak materijala uslijed taloženja finog praha na elektrodi i unutarnjem dijelu kućišta čime je u pitanje dovedena točnost rezultata provedenih testova sa tom klasom.

Magnetska separacija

Rezultati testiranja klase 2/1 mm u visokointenzivnom suhom magnetskom separatoru pokazala su blago povećanje (od 12,7 % do 13,9 %) udjela magnetske komponente s povećanjem vremena doziranja. Testiranje klase 1/0,5 mm također je pokazalo blago povećanje udjela magnetske komponente (od 10,5 % do 11,94 %) s promjenom vremena doziranja. Najsitnija klasa pokazala je neznatno povećanje udjela magnetske komponente (od 28,39 % do 28,85 %) s povećanjem vremena doziranja.

Mokra niskointenzivna magentska separacija klase 2/1 mm pokazuje neznatan porast (od 11,26 % do 11,82 %) s povećanjem vremena doziranja. Dobiveni rezultat nešto je lošiji od onog dobivenog suhom magnetskm separacijom. Testiranje klase 1/0,5 mm pokazuje trend porasta (od 10,52 % do 11,78 %) s povećanjem vremena doziranja. Dobiveni rezultat približno je jednak rezultatu suhe visokointenzivne magnetske separacije. Testiranje klase -0,5 mm također pokazuje trend povećanja udjela magnetske koponente (od 22,1 % do

24,56 %) s povećanjem vremena doziranja, a rezultat je lošiji od rezultata dobivenog suhom separacijom.

Može se zaključiti da je suha visokointenzivna magnetska separacija učinkovitija od mokre niskointenzivne magnetske separacije u slučaju separiranja tiskanih pločica.

Zračna separacija klase 2/1 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 78 do 4 – 80, te grafikona 4 – 25 i slika 4 – 188 do 4 – 193 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Varijabla položaj usipnog otvora i njen kvadrat imaju najznačajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata i sa razinom značajnosti p = 0,008413 odnosno p = 0,029679.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 79, položaj usipnog otvora ima veći utjecaj od kvadrata položaja usipnog otvora. Oba oblika varijable položaj usipnog otvora kao i međudjelovanje sa brzinom zraka imaju negativni učinak čime bi povećanjem njihovih vrijednosti došlo do smanjenja kvalitete koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 188 do 4 – 193 vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 100 % postiže se sa visinom pregrade 163 mm, udaljenošću usipnog otvora 20 mm i brzinom zraka 7,6 m/s (test br. 4, tablica 4 – 78). Osim testa br. 16 gotovo jednako dobri rezultati dobiveni su i svim ostalim testovima.

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 81 i 4 – 82, te grafikona 4 – 26 i slika 4 – 194 do 4 – 199 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima linearna varijabla položaj usipnog otvora i njen kvadrat, sa razinom značajnosti p = 0,008 odnosno p= 0,03125 dok druge varijable nemaju značajniji utjecaj.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 81, visina pregrade ima najveći utjecaj dok brzina zraka i međudjelovanja visine pregrade i

položaja usipnog otvora imaju negativni učinak, što znači da bi se njihovim povećanjem smanjilo maseno iskorištenje.

- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 194 do 4 – 199, vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 99,45 % postiže sa visinom pregrade 163 mm, udaljenošću usipnog otvora 35 mm i brzinom zraka 7,6 m/s, no i iskorištenja svih ostalih testova su vrlo visoka.
- Jedina iznimka odstupanja od ovako dobrih rezultata glede kvalitete koncentrata (82,69 %) i masenog iskorištenja (82,21 %) zabilježena je u testu br. 16. Ono što je specifično za taj test jest da je to jedini iz skupine testova izveden pri maksimalnoj udaljenosti (60 mm) od izvora zračne struje i to bi mogao biti razlog lošijih rezultata, jer je i statistička analiza pokazala da varijabla položaj ulaznog otvora ima značajan utjecaj na obje zavisne varijable.

Zračna separacija klase 1/0,5 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 83 do 4 – 85, te grafikona 4 – 27 i slika 4 – 200 do 4 – 205 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Varijabla položaj usipnog otvora i njen kvadrat imaju najznačajniji utjecaj na kvalitetu koncentrata i sa razinom značajnosti p = 0,001003 odnosno p = 0,007624.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 84, položaj usipnog otvora ima veći utjecaj od kvadrata položaja usipnog otvora. Položaj usipnog otvora kao i međudjelovanje sa brzinom zraka imaju negativni učinak čime bi povećanjem njihovih vrijednosti došlo do smanjenja kvalitete koncentrata.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 200 do 4 – 205, vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 99,94 % postiže sa visinom pregrade 163 mm, udaljenošću usipnog otvora 20 mm i brzinom zraka 6,4 m/s (test br. 8, tablica 4 – 83), međutim i u svim ostalim testovima dobiveni su vrlo kvalitetni koncentrati (sadržaj korisne komponente od 95 % ili više).

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 86 i 4 – 87, te grafikona 4 – 28 i slika 4 – 206 do 4 – 211 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Glede značajnosti utjecaja na maseno iskorištenje položaj usipnog otvora ima značajan utjecaj imaju položaj usipnog otvora sa p = 0,00096, te kvadrat varijable položaj usipnog otvora sa p = 0,007689.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 86, položaj usipnog otvora i njen kvadrat imaju najveći utjecaj dok varijable brzina zraka i visina pregrade imaju negativni učinak čime bi se njihovim povećanjem smanjilo maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 206 do 4 – 211 vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 99,11 % postiže sa visinom pregrade 163 mm, udaljenošću usipnog otvora 20 mm i brzinom zraka 6,4 m/s (test br. 8), međutim i u svim ostalim testovima su dobivena visoka iskorištenja (93,6 % ili viša). Obzirom da je kvaliteta koncentrata najviša pri najvišem iskorištenju, može se reći da su ovo najpovoljniji uvjeti za separaciju klase 1/0,5 mm. Jednako kao i za kvalitetu koncentrata, i ovdje je iznimka test br. 16 s iskorištenjem od 80,83 % koji je izveden s maksimalnom udaljenošću (60 mm) ulaznog otvora od izvora zračne struje.

Rezimirajući navedeno za zračno separiranje tiskanih pločica dolazi se do zaključka da položaj usipnog otvora može najviše utjecati na kvalitetu koncentrata. Povećanje udaljenosti usipnog otvora iznad 20 mm odnosno približavanje istog pregradi rezultira povećanjem gubitka korisne komponente odnosno smanjenjem kvalitete koncentrata na što dodatno može utjecati veća brzina zraka (iznad 7,6 m/s) kao i visina pregrade manja od 163 mm. Sa smanjenjem veličine zrna potrebno je smanjivati i brzinu zraka tj. za klasu 1/0,5 mm sa manjim brzinama zraka u području od 6 od 6,4 m/s postižemo višu kvalitetu koncentrata.

Maseno iskorištenje ima nešto niže vrijednosti i opada sa porastom kvalitete koncentrata. Najveći značaj ima visina pregrade, a kvadrati varijabli brzina zraka i položaj usipnog otvora imaju uglavnom negativni učinak. Određujući područje utjecaja na nivo-linijama regresijske plohe smanjenjem položaja usipnog otvora na 20 mm i smanjenjem brzine zraka na 6,4 m/s povećava se maseno iskorištenje ako visinu pregrade podižemo na 163 mm.

Elektrostatička separacija klase 2/1 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 89 do 4 – 91, te grafikona 4 – 29 i slika 4 – 212 do 4 – 217 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Položaj separacijskog noža ima najznačajniji utjecaj na kvalitetu sa razinom značajnosti p = 0,039007.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 90, napon na elektrodi ima veći utjecaj od brzine okretanja bubnja koja ima negativni učinak, međudjelovanje položaja separacijskog noža i brzine okretanja bubnja imaju pozitivni učinak dok ostala dva međudjelovanja imaju negativni učinak što znači da se njihovim povećanjem smanjuje kvaliteta koncentrata. Kvadrati nezavisnih varijabli su negativnog učinka ali nemaju veći utjecaj.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 212 do 4 – 217 vidi se da je najviša kvaliteta koncentrata 99,83 % dobivena u testovima br. 3 i 15, s time da se onaj pod brojem 15 može smatrati uspješnijim zbog višeg iskorištenja. Ovaj koncentrat postiže se sa nagibom separacijskog noža na 130°, brzinom okretanja bubnja od 55 m/min i naponom na elektrodi od 15 kV

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 92 i 4 – 93, te grafikona 4 – 30 i slika 4 – 218 do 4 – 224 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima položaj separacijskog noža sa razinom značajnosti p = 0,007953.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 92, položaj separacijskog noža ima najveći utjecaj, dok ostale nezavisne varijable bitno ne utječu na maseno iskorištenje. Povećanje brzine okretanja bubnja i napona na elektrodi dodatno smanjuje maseno iskorištenje.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 218 do 4 – 223 vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 63,50 % postiže se sa nagibom separacijskog noža na 136°, brzinom okretanja bubnja 58 m/min i naponom na elektrodi 17 kV (test br. 4). Dakle, iz tablice 4 – 90 je vidljivo da je moguće

postizanje približno jednako dobrih rezultata separacije (obje zavisne varijable) pri različitim uvjetima separacije.

Elektrostatička separacija klase 1/0,5 mm

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 95 do 4 – 97, te grafikona 4 – 31 i slika 4 – 224 do 4 – 229 za kvalitetu koncentrata može se zaključiti sljedeće:

- Položaj separacijskog noža i njegov kvadrat imaju najznačajniji utjecaj na kvalitetu sa razinom značajnosti p = 0,000268 odnosno p = 0,01066.
- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 96, najveći utjecaj ima položaj separacijskog noža dok napon na elektrodi ima veći utjecaj od brzine okretanja bubnja, a međudjelovanje položaja separacijskog noža i napona na elektrodi ima negativni učinak, što znači da se njihovim povećanjem smanjuje kvaliteta koncentrata. Ostali kvadrati nezavisnih varijabli su negativnog učinka ali nemaju veći utjecaj.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 224 do 4 – 229 vidi se da se najviša kvaliteta koncentrata od 100 % postiže sa nagibom separacijskog noža 140°, brzinom okretanja bubnja 55 m/min i naponom na elektrodi 20 kV (test br.12, tablica 4 – 95). Isto tako, moguće je identičnu kvalitetu koncentrata postići smanjenjem nekih vrijednosti, točnije sa nagibom separacijskog noža na 130°, brzinom okretanja bubnja 55 m/min i naponom na elektrodi 15 kV, no uz nešto niže iskorištenje (test br. 15, tablica 4 – 95).

Na temelju prikazanih rezultata iz tablica 4 – 98 i 4 – 99, te grafikona 4 – 32 i slika 4 – 231 do 4 – 236 za maseno iskorištenje može se zaključiti sljedeće:

- Najznačajniji utjecaj na maseno iskorištenje ima položaj separacijskog noža, njegov kvadrat ali i međudjelovanje sa naponom na elektrodi sa razinom značajnosti p = 0,000054 odnosno p = 0,015983 i konačno p = 0,041215.

- Prema vrijednosti procjene veličine utjecaja u drugom stupcu tablice 4 – 97, položaj separacijskog noža i kvadrat varijable imaju najveći utjecaj, a međudjelovanjem separacijskog noža i napona na elektrodi također se u manjoj mjeri utječe na maseno iskorištenje i to na način da se njihovim povećanjem smanjuje maseno iskorištenje zbog negativnog učinka vrijednosti.
- Iz prikaza regresijskih ploha odnosno nivo-linija regresijskih ploha, slike 4 – 230 do 4 – 235, vidi se da se najviše maseno iskorištenje od 52,55 % postiže se sa nagibom separacijskog noža na 136°, brzinom okretanja bubnja 58 m/min i naponom na elektrodi 17 kV (test br. 4, tablica 4 – 95).

Rezimirajući rezultate elektrostatičke separacije može se zaključiti da se za sve testirane klase postižu visoke kvalitete koncentrata, a najveći značaj ima položaj separacijskog noža (smanjenjem nagiba opada i kvaliteta koncentrata). Veći napon na elektrodi također doprinosi kvaliteti koncentrata dok brzina okretanja bubnja nema neko veće značenje na kvalitetu koncentrata.

Međudjelovanje položaja separacijskog noža i napona na elektrodi uz pojedinačno najveći značaj položaja separacijskog noža bitno utječu na maseno iskorištenje. Razlika u odnosu na kvalitetu koncentrata je mnogo izraženija jer maseno iskorištenje klase 2/1 i 1/0,5 mm pada ispod 50 % dok se najveće maseno iskorištenje kod obje klasa postiže se sa maksimalnim nagibom separacijskog noža od 136° do 140°, te brzini okretanja bubnja od 55 do 58 m/min kao i sa nižim naponom na elektrodi od 20 kV. Ukoliko smanjimo položaj nagiba separacijskog noža značajno opada i maseno iskorištenje, a ako k tome povećamo i brzinu okretanja bubnja i povećamo napon na elektrodi to će rezultirati smanjenjem masenog iskorištenja.

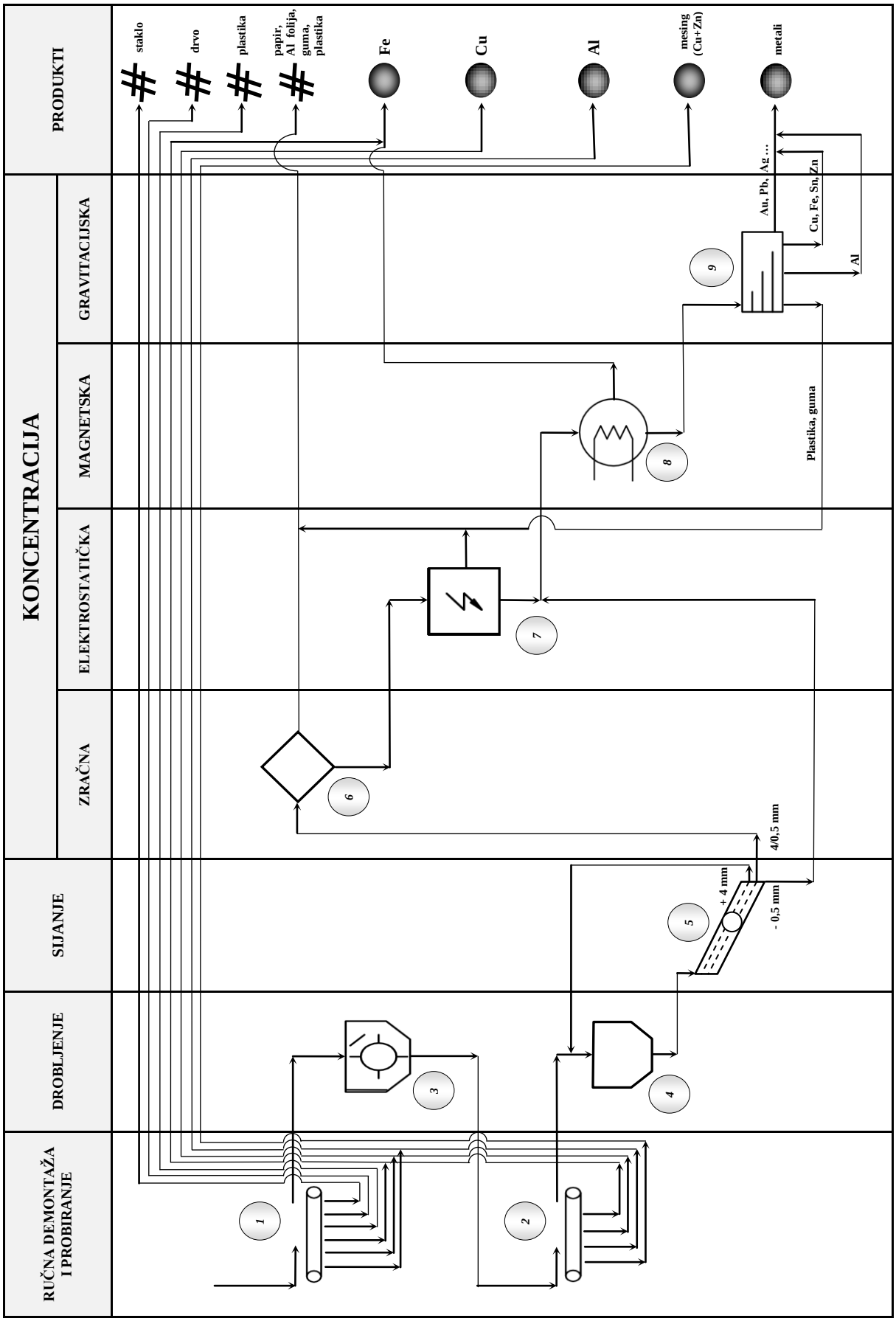
6. PRIJEDLOG SHEME TEHNOLOŠKOG PROCESA RECIKLIRANJA ELEKTRONIČKOGA OTPADA

Odabir odgovarajuće kombinacije postupaka za recikliranje prije svega ovisi o značajkama elektroničkoga otpada, vrsti najzastupljenijih materijala koje je potrebno izdvojiti te zahtjevima za kvalitetom odnosno čistoćom dobivenog proizvoda. Proces mora biti što jednostavniji s mogućnošću izmjene toka materijala i eventualnim uključivanjem drugih postupaka. Važno je da su uključeni postupci što jeftiniji uz maksimalno udovoljavanje postavljenim uvjetima. Po mogućnosti treba izbjegavati mokre postupke zbog potrebe za pročišćavanjem vode i eventualnim odvodnjavanjem gotovih proizvoda, no ukoliko to nije moguće tada sustav treba biti zatvoren uz recirkuliranje tehnološke vode.

Najčešći materijali koji se kao gotovi proizvodi (sekundarne sirovine) izdvajaju recikliranjem elektroničkoga otpada su bakar, željezo, aluminij, olovo, mesing, kositar i plastika. Kapacitet postrojenja za recikliranje mora biti usklađen s planiranom godišnjom proizvodnjom, odnosno prikupljenim količinama električnog i elektroničkog otpada.

Na temelju provedenih ispitivanja u laboratoriju, dobivenih rezultata i zaključaka izloženih u eksperimentalnom dijelu i diskusiji disertacije, predložena je tehnološka shema recikliranja koja uključuje ručnu demontažu i probiranje, postupke drobljenja, sijanja, zračne, magnetske, elektrostatičke i gravitacijske koncentracije. Segregacijska shema recikliranja prikazana je na slici 6 – 1.

U eksperimentalnom dijelu disertacije televizijski aparati su nakon ručnog rasklapanja podijeljeni u tri grupe materijala za testiranje („Z“ „OSKKŽ“ i „TP“), zbog jedinstvenih značajki svake od navedenih grupa. Tehnološka shema recikliranja mogla bi se koncipirati za svaku od prethodno spomenutih grupa materijala. Ovakav pristup bi pri praktičnoj provedbi rezultirao većim investicijama, povećanim prostornim zahtjevima potrebnim za smještaj tri linije, a iskorištenje kapaciteta tih linija zasigurno ne bi bilo zadovoljavajuće. Stoga je pri koncipiranju tehnološke sheme razmatrana mogućnost da se sve grupe materijala istovremeno prerađuju u istoj liniji za recikliranje. Također, postoji mogućnost deponiranja izdvojenih grupa materijala (slično kao u eksperimentalnom dijelu disertacije) i recikliranja jedne po jedne na istoj liniji, ali s promijenjenom vrijednošću radnih parametara pojedinih oplemenjivačkih uređaja, ovisno o značajkama grupe materijala koja se reciklira.



Slika 6 – 1 Tehnološka shema procesa recikliranja elektroničkoga otpada

Proces recikliranja svih električnih i elektroničkih uređaja u pravilu započinje njihovom ručnom demontažom, pri čemu se ručnim probiranjem (*1*) izdvajaju veće komponente i grupe prema značajkama zastupljenosti materijala. U ovoj fazi ručnim probiranjem izdvajaju se kučišta (drvena ili plastična) koja se naknadno samo usitne, zatim katodne cijevi (nisu bile obuhvaćene testiranjem u disertaciji) odnosno staklo koje se podvrgava posebnom postupku u sigurnim uvjetima, te eventualno krupniji komadi željeza, bakra ili aluminija, ukoliko ima takvih dijelova. U ovoj fazi mogu se izdvojiti pojedine grupe materijala (jedna su zvučnici, druga otklonski svitci, kabeli, konektori i žice, a treću čine tiskane pločice) koje su bile obuhvaćene testiranjem u disertaciji. Svaku od ovih grupa materijala, kao što je već ranije spomenuto, moguće je reciklirati i zasebno. Nakon ručne demontaže i probiranja velikih komada slijedi primarno sitnjenje u udarnoj drobilici (*3*) s veličinom izlaznog otvora od približno 30 mm. Primarno drobljenje provodi se sa svrhom postizanja raščina, odnosno oslobađanja međusobno spojenih komponenti, koje bi se kasnije mogle izdvajati.

Izdrobljeni materijal dolazi na probirnu traku (*2*) na kojoj se ručnim probiranjem izdvajaju komadi željeza, bakra, aluminija i mesinga krupniji od 25 mm. Materijal koji nije izdvojen ručnim probiranjem s probirne trake (*2*) odlazi na sekundarno sitnjenje u drobilicu s rotirajućim pločicama (*4*). Svrha sekundarnog sitnjenja je postizanje raščina za komade otpada kod kojih nakon primarnog drobljenja još uvijek ima međusobno spojenih različitih komponenti, dakle kod kojih nakon primarnog sitnjenja još uvijek nije postignut raščin. Naime, provedena testiranja u eksperimentalnom dijelu ove disertacije pokazala su da se najbolji rezultati u zračnoj separaciji za sve grupe materijala postižu s krupnijim testiranim klasama (npr. 4/2 ili 3,15/2 mm), te da sa smanjenjem veličine zrna opada i efikasnost zračne separacije. Elektrostatička separacija dala je dobre rezultate s klasama krupnijim od 0,5 mm, a gravitacijska podjednake rezultate sa svim klasama. Magnetska separacija najbolje rezultate pokazala je u najsitnijoj klasi -0,5 mm. Dakle, temeljem nekoliko prethodnih konstatacija može se reći da se pri veličini zrna od 4 mm ili manjoj postiže dovoljno dobar raščin da se mogu dobiti koncentrati sa sadržajem korisne komponente i do 100 %, ovisno o podešenosti radnih parametara. Zbog toga bi ova drobilica (*4*) ispod rotora trebala imati rešetku s veličinom otvora od 5 mm.

Nakon sekundarnog sitnjenja izdrobljeni materijal odlazi na klasiranje sijanjem na vibracijsko sito (*5*) koje s prethodno spomenutom drobilicom radi u zatvorenom krugu. Ovo

sito ima dvije prosjevne površine s veličinama otvora od 4 mm i 0,5 mm, pa daje tri klase kao gotove proizvode. Odsjev sita je klasa +4 mm koja se vraća u drobilicu (*4*) na ponovno drobljenje. Klasa 4/0,5 mm odlazi na zračni separator, a klasa -0,5 mm u magnetski separator (zbog višestruko boljih rezultata ove klase dobivenih u magnetskoj separaciji u odnosu na sve krupnije klase, kao i zbog taloženja sitnih čestica klase -0,5 mm na ionizacijskoj elektrodi elektrostatičkog separatora).

U zračnom separatoru (*6*) iz klase 4/0,5 mm izdvajaju se papir, plastika, guma i aluminijska folija od ostalih metala, te se deponiraju kao gotovi proizvodi. Metali i keramika nakon zračne separacije odlaze u elektrostatički separator (*7*) u kojem se dodatno izdvaja eventualno zaostala guma, plastika i keramika (nevodljiva komponenta) u metalima (vodljiva komponenta) nakon zračne separacije. Nakon elektrostatičke separacije metali se spajaju s najsitnijom klasom -0,5 mm dobivenoj sekundarnim sitnjenjem i izdvojenoj kao prosjev vibracijskog sita (5) te zajedno odlaze u magnetski separator (8) u kojem se izdvaja željezo i deponira kao gotovi proizvod. Ostali materijal ("nemagnetska komponenta") odlazi na koncentracijski stol (*9*) na kojem se gravitacijskom separacijom, na temelju različite gustoće, separiraju pojedine čestice. Zbog razlike u gustoći na koncentracijskom stolu može se dobiti više proizvoda. Jedan od proizvoda mogu biti sitne čestice (iz klase -0,5 mm) gume i plastike čija gustoća (ovisno o vrsti) može varirati u rasponu od 0,9 do 1,4 kg/dm^3. Drugi proizvod mogao bi biti aluminij (gustoća oko 2,7 kg/dm^3). Treći proizvod mogli bi biti bakar (8,9 kg/dm^3), kositar (7,3 kg/dm^3) i cink (7,1 kg/dm^3), odnosno mesing koji je legura bakra i cinka (oko 8,5 kg/dm^3), te eventualno željezo (7,9 kg/dm^3) ukoliko se nije do kraja izdvojilo magnetskom separacijom. U četvrtom proizvodu mogli bi se dobiti metali najveće gustoće: zlato (19,3 kg/dm^3), olovo (11,3 kg/dm^3) i srebro (10,5 kg/dm^3).

Da bi se poboljšala čistoća dobivenih produkata, gravitacijska separacija može se provesti u više radnih stupnjeva (čišćenje koncentrata). Pri čišćenju koncentrata, koncentrat dobiven u prvom radnom stupnju ponovo prolazi proces separacije (drugi radni stupanj) s ciljem izdvajanja eventualno sadržanih nečistoća (nekorisne komponente) iz koncentrata pri čemu se povisuje sadržaj korisne komponente u koncentratu. Isto vrijedi za sve ostale koncentracijske (separacijske) postupke. Naravno da će sastav dobivenih konačnih produkata, osim o efikasnosti procesa recikliranja ovisiti i o vrsti (tj. sastavu) električne ili elektroničke opreme koja ulazi u proces recikliranja.

Ovako izdvojeni proizvodi, npr. bakar koji sadrži primjese materijala poput aluminija ili mesinga, ne utječu bitno na kvalitetu, ali umanjuju cijenu proizvoda na tržištu.

U cilju poboljšanja kvalitete gotovih proizvoda, osim separacije u više radnih stupnjeva (čišćenje koncentrata) mogu se upotrijebiti i drugi koncentracijski postupci, poput separacije u teškom mediju ili flotacije, koji nisu bili obuhvaćeni eksperimentalnim dijelom ove disertacije.

U cilju podizanja iskorištenja sirovine, može se provesti prerada međuprodukta, odnosno jalovina izdvojena u nekom od separacijskih postupaka još jednom (ili više puta) prolazi proces separacije u drugom radnom stupnju (prerada međuprodukta) s ciljem izdvajanja korisne komponente iz jalovine u koncentrat. Dakle, na taj način se dio korisne komponente sadržane u jalovini, koja bi kao nekoristan proizvod završila na odlagalištu, izdvaja u koncentrat i povisuje iskorištenje sirovine.

7. ZAKLJUČAK

Uspješnost recikliranja otpadne elektroničke i električne opreme primjenom uređaja i postupaka za oplemenjivanje mineralnih sirovina odnosno dobivanje odgovarajuće kvalitete sekundarnih sirovina u prvom redu ovisi o značajkama ulaznog materijala, zahtjevima kvalitete konačnog proizvoda (koncentrata) i značajkama primijenjenih oplemenjivačkih postupaka i uređaja, te vrijednostima radnih parametara tijekom separacije. Osnovna značajka materijala unutar televizijskih aparata s katodnom cijevi jest da nakon ručne demontaže i ručnog izdvajanja većih komponenti preostaje određeni dio unutar kojeg su zastupljeni različiti materijali povezani mehaničkim, termičkim ili kemijskim postupcima. Temeljna zadaća u recikliranju je separirati različite materijale sadržane u pojedinim proizvodima i na taj način proizvesti sekundarnu sirovinu koja će se (umjesto primarnih sirovina) koristiti za izradu novih proizvoda. Osnovni preduvjet bez kojeg nema uspješne separacije je postizanje raščina, odnosno oslobađanje međusobno spojenih različitih materijala (komponenti). Raščin se može postići sitnjenjem do veličine zrna pri kojoj više nema međusobno spojenih komponenti. Osim ovog osnovnog preduvjeta, drugi preduvjet koji treba biti ispunjen je da postoji dovoljna razlika barem u jednoj značajki (kao npr. gustoća, magnetična svojstva, vodljivost i sl.) materijala koje je potrebno razdvojiti, jer bez ove razlike nema ni uspješne separacije. Dakle, da bi proces recikliranja bio uspješan, potrebno je dobro poznavati značajke otpada koji se reciklira, te temeljem toga odlučiti koji separacijski postupak primijeniti. Nakon odluke o izboru separacijskog postupka i odgovarajućeg uređaja (separatora) potrebno je provesti testiranja u različitim uvjetima separacije (različitim vrijednostima radnih parametara) kako bi se odredili uvjeti u kojima se postižu najbolji rezultati. Nakon testiranja različitim postupcima mogu se donositi određeni zaključci i pristupiti koncipiranju tehnološke sheme prema kojoj bi se mogao reciklirati otpad. Shema recikliranja u pravilu obuhvaća sitnjenje zbog postizanja raščina, klasiranje u cilju dobivanja odgovarajuće veličine zrna pogodne za separaciju u odgovarajućim separatorima, te konačno jedan ili više separacijskih postupaka. Tijekom cijelog ovog prethodno opisanog postupka, u ovoj disertaciji određen je i utjecaj pojedinih radnih varijabli na pojedine separacijske postupke.

Za potrebe utvrđivanja mogućnosti recikliranja otpadne električne i elektroničke opreme primjenom uređaja kojima je primarna namjena oplemenjivanje mineralnih sirovina korišteni su televizijski aparati s katodnom cijevi različitih proizvođača, konstrukcijskih izvedbi, veličina i godina proizvodnje. Ovakvim izborom nastojalo se dobiti prosječni uzorak

televizijskih aparata za koje se u budućnosti može očekivati da će se pojavljivati kao izvor sekundarnih sirovina prikupljenih od strane sakupljača, budući da se danas uglavnom izrađuju televizijski aparati s LCD, LED, AMOLED i plazma ekranima. S vremenom će se postojeća postrojenja za recikliranje morati prilagoditi kako bi mogla nastaviti reciklirati uređaje koji su sada u upotrebi ili će tek doći na tržište, a količine i sastav komponenti takvih uređaja će se bitno razlikovati od današnjih.

Ručnom demontažom moguće je iz televizijskih aparata izdvojiti najveći dio metala i nemetala od kojih je izrađeno kučište, držači, zaštitni poklopac ili se pak radi o dekorativnom elementu na kučištu. Ostale dijelove televizijskog aparata potrebno je usitniti zbog postizanja raščina (oslobađanja međusobno spojenih različitih materijala), te nakon toga izdvajati odgovarajućim separacijskim postupcima.

Upotrebom udarne drobilice moguće je postići raščin (oslobađanje) i usitniti pojedine komponente koje je moguće izdvojiti iz daljnjih postupaka recikliranja da bi se izbjeglo njihovo „opterećivanje“. Drobilica s neovisno rotirajućim pločicama naročito je učinkovita za odvajanje izolacijske ovojnice od žica jer kombinacija udaranja neovisno rotirajućih pločica o žice, žica o nazubljenu oblogu unutar prostora drobljenja, te materijala o materijal, rezultira kidanjem izolacijskog sloja i oslobađanjem bakrene žice. Dakle, nema potrebe za dodatnim sječenjem žice, kao što je to slučaj kod većine reznih mlinova, a rešetka s veličinom otvora od 5 mm daje proizvod koji u potpunosti zadovoljava stupnjem oslobađanja od najmanje 95 %. Time se ostvaruje ušteda na dodatnom sitnjenju koje je inače potrebno pri upotrebi reznih mlinova, pa se može reći da je to bitno poboljšanje postupka sitnjenja. Pri sitnjenju tiskanih pločica potpuno odvajanje (korisne) vodljive komponente i elektroničkih dijelova od izolacijskog dijela pločice postignuto je s rešetkom s otvorima veličine od 2 mm. Nedostatak ove drobilice koji je uočen tijekom laboratorijskog rada jest da se nakon prestanka ulaza novog materijala u prostor drobljenja, između pločica i rešetke „vrti“ zaostali dio laganog materijala kao i krupniji komadi metala koji nisu dovoljno usitnjeni (podloške, vijak, matica i slično). U pogonskim uvjetima gdje je ulaz materijala kontinuiran, ovakvi nedostaci ne dolaze do izražaja. Naime, komade izolacijske plastike, laganu aluminijsku foliju i slične materijale koji su također sekundarna sirovina bilo je potrebno zajedno s krupnijim komadima metala izvaditi iz drobilice.

Nakon drobljenja je provedena granulometrijska analiza u cilju dobivanja informacije o zastupljenosti pojedinih klasa. U dvije grupe („Z“ i „OSKKŽ“) najzastupljenija klasa bila je 2/1 mm s masenim udjelima od 62 % i 53 %, a u trećoj grupi („TP“) najsitnija klasa -0,5 mm, dok je zastupljenost svih ostalih klasa bila približno jednaka.

Klase potrebne za provođenje separacijskih testova u trećoj fazi ispitivanja izdvojene su sijanjem. Plan testiranja separacije u zračnoj struji i elektrostatičke separacije za sve tri grupe materijala napravljen je uz upotrebu statističkog planiranja eksperimenata u programskom sustavu *Statistica (Version 8,* tvrtke *StatSoft)* prema centralno složenom dizajnu *(Central Composite Design)* koji uključuje 17 pokusa za svaku klasu na pojedinom uređaju. Analizom varijance utvrđen je najveći utjecaj pojedine nezavisne varijable odnosno međudjelovanje po dvije (od tri testirane) nezavisne varijable na jednu od dvije zavisne varijabli (kvaliteta koncentrata ili maseno iskorištenje) uz procjenu veličine tog utjecaja. Utjecaj pojedinih varijabli u gravitacijskoj i magnetskoj separaciji testiran je na način da je mijenjana vrijednost jedne varijable, dok su sve ostale držane konstantnim. Slijede zaključci proizašli temeljem rezultata dobivenih testiranjima svake od tri grupe materijala.

Zaključci koji proizlaze iz zračne separacije grupe materijala „Zvučnici“ su sljedeći:

- u većini slučajeva na kvalitetu koncentrata najveći utjecaj ima visina pregrade, zatim udaljenost ulaznog otvora od izvora zračne struje, a najmanji povećanje brzine zračne struje,
- povišenjem pregrade povećava se kvaliteta koncentrata, dok se povećanjem udaljenosti ulaznog otvora od izvora zračne struje i/ili povećanjem brzine zračne struje smanjuje kvaliteta koncentrata,
- najbolja kvaliteta koncentrata odnosno najveći udio korisne komponente u koncentratu kod svih klasa (3,15/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm) postignut je u testovima br. 8 pri sljedećim vrijednostima radnih varijabli: visina pregrade od 136 mm, udaljenost ulaznog otvora od 20 mm i brzina zraka od 7,5 m/s, a izuzetak je klasa 1/0,5 mm kod koje kvaliteta koncentrata u testu br. 8 (tablica 4 – 15) iznosi 84,24 %, dok je u testu br. 12 nešto viša (85,12 %),
- najviše iskorištenje kod svih klasa (3,15/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm) dobiveno je u testovima br. 12, odnosno postiže se s visinom pregrade od 160 mm, udaljenošću ulaznog otvora od 35 mm i brzinom zraka od 9,5 m/s,

- uspoređujući četiri testirane klase međusobno, najbolji rezultat postignut je separiranjem najkrupnije klase 3,15/2 mm (tablica 4 – 5), pri čemu je u testu br. 8 postignuta kvaliteta koncentrata od 100 % uz iskorištenje od 73,97 %, te u testu br. 12 gdje je postignuto maksimalno iskorištenje od 80,15 % uz neznatno smanjenje kvalitete koncentrata od 99,17%,
- može se zaključiti da je pri veličini zrna 3,15/2 mm postignut dovoljan raščin (oslobađanje međusobno spojenih komponenti) i da je moguće izvesti kvalitetnu separaciju korisne komponente od jalovine tj. papira, tekstila i gume,
- temeljem ostalih rezultata (tablice 4 – 10, 4 – 15 i 4 – 20) generalno se može reći da se sa smanjenjem veličine zrna smanjuje i kvaliteta koncentrata: testiranjem klase 2/1 mm dobiven je najkvalitetniji koncentrat (97,97 % i 97,43 %), klase 1/0,5 mm manje kvalitetan (85,12 %), a klase -0,5 mm najnekvalitetniji (81,50 %), pri čemu su najviša iskorištenja dobivena u testovima s najboljim koncentratom za sve tri klase približno jednaka (od 66 % do 69 %).

Zaključci koji proizlaze iz magnetske separacije grupe materijala „Zvučnici“ su sljedeći:

- rezultati dobiveni testiranjem najsitnije klase -0,5 mm su značajno bolji od rezultata preostalih dviju krupnijih klasa,
- vrlo blagi trend povećanja sadržaja magnetične komponente s povećanjem vremena doziranja uzorka,
- usporedbom suhe visokointenzivne i mokre niskointenzivne magnetske separacije, generalno se može reći da mokra daje znatno bolje rezultate pri separiranju najkrupnije klase 2/1 mm, nešto bolje pri separiranju najsitnije klase -0,5 mm, dok su rezultati separiranja klase 1/0,5 mm praktično jednaki.

Zaključci koji proizlaze iz gravitacijske separacije grupe materijala „Zvučnici“ su sljedeći:

- maseno iskorištenje smanjuje se sa smanjenjem nagiba ploče stola za klasu 2/1 mm, dok za druge dvije klase nema pravila (zabilježen je i porast i pad),
- glede kvalitete koncentrata može se reći da u sve tri klase (2/1, 1/0,5 i -0,5 mm) dolazi do povećanja kvalitete koncentrata sa smanjenjem nagiba ploče stola.

Zaključci koji proizlaze iz zračne separacije grupe materijala „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“ su sljedeći:

- za visoku kvalitetu koncentrata niti jedna varijabla pojedinačno (neovisno o klasi materijala) nema većeg značaja dok međudjelovanje visine pregrade i položaj ulaznog otvora može najviše utjecati na kvalitetu koncentrata,
- povećanje udaljenosti ulaznog otvora iznad 35 mm odnosno približavanje istog pregradi, povećava gubitak korisne komponente,
- najveći utjecaj na maseno iskorištenje ima visina pregrade, a kvadrati brzine zraka i položaja ulaznog otvora imaju uglavnom negativni učinak,
- najbolji rezultati dobiveni su separiranjem klase 4/2 mm jer je kvaliteta koncentrata u svim testovima bila viša od 99 %, uz maseno iskorištenje od 93 % do preko 99 %, zatim klase 2/1 mm s jednakom kvalitetom koncentrata i iskorištenjima od 88 do 99 %, potom klase 1/0,5 mm s kvalitetom koncentrata od 76 % do 100 % i iskorištenjima od 70 % do 99 % i konačno klase -0,5 mm s kvalitetom koncentrata od 100 %, ali i najnižim iskorištenjima od 66 % do 91 %.

Zaključci koji proizlaze iz elektrostatičke separacije grupe materijala „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“ su sljedeći:

- kvaliteta koncentrata je visoka za sve klase (4/2, 2/1, 1/0,5 i -0,5 mm),
- najveći utjecaj ima položaj separacijskog noža, a sa smanjenjem nagiba opada i kvaliteta koncentrata (pri 135° dobivene su maksimalne vrijednosti),
- viši napon na elektrodi također doprinosi povećanju kvalitete koncentrata dok brzina okretanja bubnja dobiva na značaju sa smanjenjem veličine zrna odnosno u klasi 1/0,5 i -0,5 mm - veća brzina uvjetno poboljšava kvalitetu koncentrata,
- međudjelovanje položaja separacijskog noža i brzine okretaja bubnja uz pojedinačno najveći značaj položaja separacijskog noža bitno utječe na maseno iskorištenje,
- smanjenjem položaja nagiba separacijskog noža značajno opada i maseno iskorištenje dok veća brzina okretanja bubnja i veći napon na elektrodi rezultiraju boljim masenim iskorištenjem,
- s aspekta veličine zrna, najbolje rezultate daje najkrupnija klasa 4/2 mm (kvaliteta koncentrata od 98,21 % i iskorištenje od 82,5 %), nešto lošije klase 2/1 mm i 1/0,5 mm s kvalitetama koncentrata od 98 % i 95 %, te iskorištenjima od 70 % i 79 %, a najslabije klasa -0,5 mm s kvalitetom koncentrata od 84 % i iskorištenjem od 49 %, prema tome, smanjenjem veličine zrna opada i efikasnost elektrostatičke separacije.

Zaključci koji proizlaze iz magnetske separacije grupe materijala „Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice“ su sljedeći:

- testiranje klase 4/2 mm visokointenzivnom suhom magnetskom separacijom pokazalo je porast (od 6,13 % do 9,24 %) magnetske komponente s produljenjem vremena doziranja. Isti trend zabilježen je i u klasi 2/1 mm (porast od 15,96 % do 17,30 %),
- testiranjem klase 1/0,5 mm pokazalo se da udio magnetske komponente „varira“ u rasponu od približno 51,5 % do 53,3 %, neovisno o vremenu doziranja, a slično i kod najsitnije klase -0,5 mm „varira“ u rasponu od 54 % do 56 % neovisno o vremenu doziranja,
- niskointenzivna mokra separacija provedena je nakon suhe visokointenzivne separacije, a pokazala je slične trendove uz nešto bolje rezultate pri separiranju krupnijih klasa,
- opći zaključak bi mogao biti da za dvije krupnije klase (4/2 mm i 2/1 mm) bolje rezultate daje niskointenzivna mokra magnetska separacija, za klasu 1/0,5 mm su rezultati približno podjednaki, a za najsitniju klasu -0,5 mm je bolje rezultate dala suha visokointenzivna magnetska separacija.

Zaključci koji proizlaze iz magnetske separacije grupe materijala „Tiskane pločice“ su sljedeći:

- testiranja klasa 2/1 mm i 1/0,5 mm u visokointenzivnom suhom magnetskom separatoru pokazala su blago povećanje magnetske komponente (od 12,7 % do 13,9 %, odnosno od 10,5 % do 11,94 %) s povećanjem vremena doziranja.
- testiranje najsitnije klase (-0,5 mm) u visokointenzivnom suhom magnetskom separatoru pokazalo je neznatno povećanje magnetske komponente (od 28,39 % do 28,85 %) s povećanjem vremena doziranja,
- testiranje klase 2/1 mm u niskointenzivnom mokrom magentskom separatoru pokazalo je neznatan porast (od 11,26 % do 11,82 %) magnetske komponente s povećanjem vremena doziranja,
- testiranje klasa 1/0,5 mm i -0,5 mm u niskointenzivnom mokrom magentskom separatoru pokazala su trend porasta magnetske komponente (od 10,52 % do 11,78 %, odnosno od 22,1 % do 24,56 %) s povećanjem vremena doziranja
- sveukupno, može se zaključiti da je suha visokointenzivna magnetska separacije dala

bolje rezultate od mokre niskointenzivne magnetske separacije u slučaju separiranja tiskanih pločica.

Zaključci koji proizlaze iz zračne separacije grupe materijala „Tiskane pločice“ su sljedeći:

- položaj ulaznog otvora može najviše utjecati na kvalitetu koncentrata,
- povećanje udaljenosti ulaznog otvora iznad 20 mm, odnosno približavanje otvora pregradi, povećava gubitak korisne komponente odnosno smanjenje kvalitete koncentrata,
- smanjenjem veličine zrna potrebno je smanjivati i brzinu zraka tj. za klasu 1/0,5 mm sa smanjenjem brzine zraka postižemo bolju kvalitetu koncentrata,
- maseno iskorištenje ima nešto niže vrijednosti i opada s porastom kvalitete koncentrata, a najveći značaj ima visina pregrade, dok kvadrati varijabli brzina zraka i položaja ulaznog otvora imaju uglavnom negativni učinak,
- smanjenjem brzine zraka na 6,4 m/s povećava se maseno iskorištenje.

Zaključci koji proizlaze iz elektrostatičke separacije grupe materijala „Tiskane pločice“ su sljedeći:

- postižu se visoke kvalitete koncentrata za sve testirane klase (2/1 i 1/0,5 mm), a najveći značaj ima položaj separacijskog noža (najbolji rezultati pri maksimalnom položaju od 136° do 140°),
- smanjenjem nagiba separacijskog noža opada i kvaliteta koncentrata,
- viši napon na elektrodi također doprinosi povećanju kvalitete koncentrata,
- brzina okretanja bubnja nema veće značenje s obzirom na kvalitetu koncentrata,
- međudjelovanje položaja separacijskog noža i napona elektrode, uz pojedinačno najveći značaj položaja separacijskog noža, bitno utječe na maseno iskorištenje,
- smanjenjem nagiba separacijskog noža značajno opada i maseno iskorištenje, a ako se uz to poveća i brzina okretanja bubnja te napon na elektrodi to će rezultirati dodatnim smanjenjem masenog iskorištenja.

Rezultati istraživanja prikazani u ovoj disertaciji potvrdili su hipotezu da se postupci koji se koriste u oplemenjivanju mineralnih sirovina mogu koristiti i za recikliranje električnog i elektroničkog otpada. Pravilni odabir i redoslijed tih postupaka uz optimalne vrijednosti radnih parametara pojedinih uređaja uključenih u predloženu tehnološku shemu omogućit će dobivanje kvalitetnih koncentrata koji imaju tržišnu vrijednost i mogu se koristiti kao sekundarna sirovina.

8. Literatura

1. Bedeković, G. Salopek, B. Sobota, I. (2008): *Učinkovitost separiranja metalnog otpada u magnetskom separatoru s vrtložnim strujama*, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, Vol. 20, 65 – 70.
2. Bedeković, G. Salopek, B. (2008): *Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz predmeta oplemenjivanje mineralnih sirovina 1*, RGN fakultet, Zagreb.
3. Bedeković, G. Salopek, B. (2010): *Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz predmeta oplemenjivanje mineralnih sirovina 2*, RGN fakultet, Zagreb.
4. Chancerel, P. Rotter, S. (2009): *Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment.* Waste Management 29, 2336 – 2352.
5. Cui, J. Zhang, L. (2008): *Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review*, Journal of Hazardous Materials 158, 228 – 256.
6. Dodbiba, G. Shibayama, A. Sadaki, J. Takemoto, N. Fujita, T. (2004): *Dry separation of Meterials from Waste Electrical Appliances*; REWAS, Volumen III., 2613 – 2622.
7. Guo, J. Guo, J. Xu, Z. (2008): *Recycling of non-metalic fractions from waste printed circuit boards: a rewiev*, Journal of Hazardous Materials. Doi: 10.1016/j.jhazamat.2009.02.104.
8. Havlik, T. Orac, D. Petranikova, M. Miskufova, A. Kukurugya, F. Takacova, Z. (2010): *Leaching of copper and tin from used printed circuit boards after thermal treatment*, Journal of Hazardous Materials 183, 866 – 873.
9. Heart, S. (2007): *Sustainable Management of Electronic Waste (e-waste)*, Clean 2007, 35(4), 305 – 310.
10. Hongzhou, L. Jia, L. Jie, G. Zhenming, X. (2008): *Movement behavior in electrostatic separation: Recycling of metal materials from waste printed circuit board*, Journal of materials processing technology 197, 101 – 108.
11. Long, L. Sun, S. Zhong, S. Dai, W. Liu, J. Song, W. (2010): *Using vacuum pyrolysis and mechanical processing for recycling waste printed circuit boards,* Journal of Hazardous Materials 177, 626 – 632.
12. Nnorom, I.C. Osibanjo, O. (2008): *Overveiw of electronic waste (e-waste) menagement practices and legislations, and their poor applications in the developing countries*. Resources Conservatin ad Recycling 52, 843 – 858.

13. Ogunniyi, I.O. Vermaak, M.K.G. (2009): *Investigation of froth flotation for beneficiation of printed circuit board comminution fines*, Minerals Engineering 22, 378 – 385.
14. Resende, L. V. Morais C. A. (2010): *Study of the recovery of rare earth elements from computer monitor scraps – Leaching experiments*, Minerals Engineering 23 277 –280.
15. Salopek B. Bedeković G. Sobota I. (2005): *The Comminution of Solid Waste*. Annual 2005 of the Croatian Academy of Engineering. 10, 139 – 150.
16. Salopek, B. Bedeković, G. Sobota, I. (2009): *Primjena elektrostatičkog separatora u separaciji plastike*, Zbornik radova znanstveno-stručnog skupa Tehnologije zbrinjavanja otpada i zaštite tla, Zadar, pp. 75 – 82.
17. Seebacher, H. Antrekowitsch, Prior, F. Leitner, T. (2004): *Recycling of Electronic scrap*, REWAS, Volumne III., 2623 – 2633.
18. Amar Tilmatine, A. Medles, K. Bendimerad, S-E. Boukholda, F. Dascalescu, L. (2009): *Electrostatic separators of particles: Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures*, Waste Management 29, 228 – 232
19. Trung, D. Q. Cam, B.D. Thao, T. T. Quang, C. X. and Huong, D.H. (2011): *Feasibility research of E-waste recycling processes in Vietnam: An investigation with CRT glass and PCBs at the small communities*, VNU University of Science, National University, Hanoi.
20. van Shaik, A. Reuter, M.A. (2010): *Dynamic modelling of E-waste recycling system performance based on product design*, Minerals Engineering 23, 192-210, ISSN 0892 – 6875.
21. van Shaik, A. Reuter, M.A. Richard, A., (2005): *A comparsion of the modelling and liberation in minerals processing of passenger vechicles*. In: Schlesinger, M.E. (Ed), EPD Congress 2005. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), pp. 1039 – 1052.
22. Veit, H.M. Diehl, T.R. Salami, A.P. Rodrigues, J.S. Bernardes, A.M. Teno ´ rio, J.A.S. (2005): *Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit boards scrap*, Waste Management 25, 67 – 74.
23. Veit, H.M. Bernardes, A.M. Ferreira, J.Z. Teno ´ rio, J.A.S. C´ elia de Fraga Malfatti, C. F. (2006): *Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy*, Journal of Hazardous Materials B137, 1704 – 1709.

24. Wu, J. Qin, Y. Zhou, Q. Xu., Z. (2009): *Impact of nonconductive powder on electrostatic separation for recycling crushed waste printed circuit board*, Journal of Hazardous Materials 164, 1352 – 1358.
25. Zhang, S. Forssberg, E. (1999): *Intelligent Liberation and classification of electronic scrap,* Powder Technology 105, 295 – 301.
26. Zia, K.M Bhatti, H.N. Bhatti I.A. (2007): *Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery*: A review, Reactive & Functional Polymers 67, 675 – 692.

OSTALO

27. 2002/95/EC, (2003): *Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment*. Official Journal of the European Union, February 13, L 37, 19 – 23.
28. 2002/96/EC, (2003): *Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Official Journal of the European Union, February 13, L 37, 24 – 38.
29. Agencija za zaštitu okoliša, (2011), *Izvješće o električnom i elektroničkom otpadu za 2010. godinu*, Zagreb.
30. Computer Zeitung (1997): *Grüne Rechnung*, Umwetlschutz, Nr. 50/11.12.97 p.6 ,1 – 6.
31. EMPA.CH (2005): Medienmitteilung, *Schrott als Chance – Rohstoffe aus Elektronikabfall*, Dübendorf / St. Gallen / Thun, 29. April 2005., Dostupno na web stranici: http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/36939/---/l=1
32. ESG edelmetall-Service GmbHCo.KG (2008): *Rückgewinnung von Edelmetallen aus Elektronikschrott* 1 – 16.
33. Hagelüken, C. (2007): *Metals Recovery from e-scrap in a global environment*, 6th session of OEWG Basel Convention, Geneva, 7. September, 2007, 6 – 13.
34. Hegeduš, H. (2004), Seminarski rad - *Kućni zaslonski uređaji*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstava, Zagreb.
35. INSTITUTE OF SCRAP RECYCLING INDUSTRIES, (2011): Rev 7/11. Dostupno na web stanici: http://www.isri.org/iMIS15_Prod/ISRI/_About/Scrap_Recyling_Industry/ISRI/_About/Scrap_Recycling_Industry.aspx?hkey=1c15f9cb-6f70-4130-a053-ceba7a327c7f

36. MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE (2001): Vol. 96/December, Dostupno na web stanici: http://www.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/pdf/vol96/vol96.pdf
37. UNITED NATIONS UNIVERSITY, 2008, *Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) – Final Report*, Study No. 07010401/2006/442493/ETU/G4
38. U.S. EPA, (1996): *Characterization of Municipal Solid Waste in the United States*, Update EPA530-R-97-015, Washington, D.C
39. ACRR, (2012): *Good Practice Guide On Waste Plastics Recycling, Table 2: Typical calorific values*, Belgium, Gulledelle, 100. Dostupno na web stranici: http://www.pvc.org/ upload/documents/ACRRReport.pdf
40. Handbuch zur Sammlung und Verwertung Elektro- und Elektronikaltgeräten in Österreich (2007).
41. FADIYANA LTD (2012): Equipment, Concentration-tables. Dostupno na web stranici http://fadiyanalimited.com/concentration-tables
42. W. GRANOWSKI PTY LTD (2012): Abrasive Cleaning & Recycling. Dostupno na web stranici: http://granowski.com.au/Equipment/Abrasive-Cleaning-and-Recycling.aspx
43. HITACH ZOSEN CORPORATION (2012): Research & Development, Material, Technologies of Hitz, Development of The High-purity Type Electrostatic Separator. Dostupno na web stranici: http:// www.hitachizosen.co.jp/english/technology/hitz-tech/ material.html
44. HOW PRODUCTS ARE MADE (2012): Dostupno na web stranici: http://www.madehow.com/Volume-3/Television.html#ixzz1jCGCnj3X
45. PENNSYLVANIA PA (2012): Dostupno na web stranici: http://www.portal.state.pa.us/ portal/server.pt?open=514&objID=589516&mode=2
46. A.H.S.W.D (2011): Dostupno na web stranici: http://www.athenshockingrecycle.org/ downloads/Recycling%20Factoids.pdf
47. E&T (2011): Disagreements stall WEEE Directive revision. Dostupno na web stranici: http://eandt.theiet.org/news/2011/dec/weee-directive.cfm
48. INDIUM CORPORATION (2008): Trail-of-toxic-e-waste. Dostupno na web stranici: http://blogs.indium.com/blog/an-interview-with-the-professor/trail-of-toxic-e-waste
49. BOLOJI (2012): Toxic E-waste: The New Age Contamination. Dostupno na web stranici: http://www.boloji.com/index.cfm?md =Content&sd=Articles&ArticleID=4481

9. Popis tablica

Tablica 4 – 1	Televizijski aparati prikupljeni za recikliranje	34
Tablica 4 – 2	Granulometrijski sastav preostalog materijala grupe „Z“ nakon sekundarnog sitnjenja……...	58
Tablica 4 – 3	Centralno složen plan (*Central Composite Design*) za tri nezavisne varijable	62
Tablica 4 – 4	Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli – grupa „Z“.	63
Tablica 4 – 5	Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u separatoru za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“ ……	65
Tablica 4 – 6	Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 3,15/2 mm – grupa „Z“…….....	66
Tablica 4 – 7	Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 3,15/2 mm – grupa „Z“……...	67
Tablica 4 – 8	Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje za klasu 3,15/2 mm – grupa „Z“.....	72
Tablica 4 – 9	Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 3,15/2 mm – grupa „Z“.....	73
Tablica 4 – 10	Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „Z“.....	77
Tablica 4 – 11	Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „Z“	78
Tablica 4 – 12	Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „Z“……	79
Tablica 4 – 13	Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“	83

Tablica 4 – 14 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“…… 84
Tablica 4 – 15 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatora za klasu 1/0,5 mm – grupa „Z“ 88
Tablica 4 – 16 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „Z“ 89
Tablica 4 – 17 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „Z“……. 90
Tablica 4 – 18 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“..... 94
Tablica 4 – 19 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“ 95
Tablica 4 – 20 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu -0,5 mm – grupa “Z”..... 99
Tablica 4 – 21 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „Z“……..……... 100
Tablica 4 – 22 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „Z“……... 101
Tablica 4 – 23 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „Z“……..……... 105
Tablica 4 – 24 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa “Z”..... 106
Tablica 4 – 25 Uvjeti izvođenja i rezultati testiranja u suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru – grupa „Z“…… 110
Tablica 4 – 26 Uvjeti izvođenja i rezultati testiranja u suhom niskointenzivnom magnetskom separatoru – grupa „Z“…… 112

Tablica 4 – 27 Prikaz masenog udjela pojedinih klasa i njihovog sastava u ulaznom uzorku za koncentracijski stol – grupa „Z“……... 113
Tablica 4 – 28 Rezultati separacije na koncentracijskom stolu – grupa „Z“….. 114
Tablica 4 – 29 Granulometrijski sastav materijala koji sadrži otklonske svitke, kabele, konektore i žice …….. 118
Tablica 4 – 30 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli – grupa „OSKKŽ“..... 119
Tablica 4 – 31 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“..... 120
Tablica 4 – 32 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“..... 121
Tablica 4 – 33 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“..... 122
Tablica 4 – 34 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ 126
Tablica 4 – 35 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“.. …….. 127
Tablica 4 – 36 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“..... 131
Tablica 4 – 37 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“..... 132
Tablica 4 – 38 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ 133
Tablica 4 – 39 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“..... 137

Tablica 4 – 40 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ …… 138
Tablica 4 – 41 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 142
Tablica 4 – 42 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 - grupa „OSKKŽ“..... 143
Tablica 4 – 43 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 144
Tablica 4 – 44 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 148
Tablica 4 – 45 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“…….. 149
Tablica 4 – 46 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ 153
Tablica 4 – 47 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ …….……. 154
Tablica 4 – 48 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“……... 155
Tablica 4 – 49 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – otklonski svici i kabeli …… 159
Tablica 4 – 50 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……..... 160
Tablica 4 – 51 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli za elektrostatički separator – grupa „OSKKŽ“ ……..……. 164
Tablica 4 – 52 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 4/2 mm –

grupa „OSKKŽ“ ……. 165
Tablica 4 – 53 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja kvalitete koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“..... 166
Tablica 4 – 54 Analiza varijance centralno složenog plana kvalitete koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“…… 167
Tablica 4 – 55 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“..... 171
Tablica 4 – 56 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ …… 172
Tablica 4 – 57 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ …….…. 176
Tablica 4 – 58 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“……..... 177
Tablica 4 – 59 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“……. 178
Tablica 4 – 60 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“……..... 182
Tablica 4 – 61 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ ……..…….. 183
Tablica 4 – 62 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ …….……. 187
Tablica 4 – 63 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 188

Tablica 4 – 64 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“…….. 189
Tablica 4 – 65 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenjeklase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 193
Tablica 4 – 66 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje – klasa 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……..... 194
Tablica 4 – 67 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektrostatičkom separatoru za klasu -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ …….…….…. 198
Tablica 4 – 68 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“……... 199
Tablica 4 – 69 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……. 200
Tablica 4 – 70 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 204
Tablica 4 – 71 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ …….. 205
Tablica 4 – 72 Uvjeti izvođenja pokusa u suhom visokointenzivnom magnetskom separatoru ……...……...… 210
Tablica 4 – 73 Uvjeti izvođenja pokusa u mokrom niskointezivnom magnetskom separatoru ……...……. 211
Tablica 4 – 74 Granulometrijski sastav materijala dobivenog sitnjenjem tiskanih pločica 217
Tablica 4 – 75 Uvjeti testiranja u suhom magnetskom separatoru – grupa „TP“ 219
Tablica 4 – 76 Uvjeti testiranja u mokrom niskointenzivnom magnetskom separatoru – grupa „TP“..... 221

Tablica 4 – 77 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli za zračni separator – grupa „TP“..... 223
Tablica 4 – 78 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 2/1 mm – grupa „TP“..... 224
Tablica 4 – 79 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 225
Tablica 4 – 80 Analiza varijance centralno složenog plana kvalitete koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 226
Tablica 4 – 81 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 230
Tablica 4 – 82 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 231
Tablica 4 – 83 Rezultati testiranja utjecaja visine pregrade, brzine zraka i udaljenosti ulaznog otvora u zračnom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 235
Tablica 4 – 84 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 236
Tablica 4 – 85 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 237
Tablica 4 – 86 Procjena utjecaja i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 241
Tablica 4 – 87 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 242
Tablica 4 – 88 Kodirane i stvarne vrijednosti nezavisnih varijabli za elektrostatski separator – grupa „TP“..... 246
Tablica 4 – 89 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode elektrostatičkog separatora za klasu 2/1 mm – grupa „TP“..... 247

Tablica 4 – 90 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“. 248
Tablica 4 – 91 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 249
Tablica 4 – 92 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“. 253
Tablica 4 – 93 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno Iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 254
Tablica 4 – 94 Rezultati testiranja utjecaja položaja separacijskog noža, brzine okretaja bubnja i napona ionizacijske elektrode na elektro-statičkom separatoru za klasu 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 258
Tablica 4 – 95 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 259
Tablica 4 – 96 Analiza varijance centralno složenog plana za kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 260
Tablica 4 – 97 Procjena utjecaja nezavisnih varijabli i koeficijenti u jednadžbi regresije drugog stupnja za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 264
Tablica 4 – 98 Analiza varijance centralno složenog plana za maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 265

10. Popis slika

Slika 2 – 1	Udio pojedinih vrsta električne i elektroničke opreme stavljene na tržište EU27 u 2005. godini …….....	7
Slika 2 – 2	Procjena udjela zbrinutog električnog i elektroničkog otpada u EU27 u 2005. godini prema vrsti uređaja u odnosu na procijenjenu količinu nastalog otpada ……..	9
Slika 2 – 3	Pogon za recikliranje elektroničkoga otpada u Švicarskoj…….....	15
Slika 2 – 4	Primjeri postupanja sa elektroničkim otpadom u Africi, Kini i Indiji ……..……...…....	16
Slika 2 – 5	Prikaz količina elektroničke opreme i uređaja stavljene na tržište RH…….....	17
Slika 2 – 6	Količine obrađenoga elektroničkoga otpada u RH ……...	19
Slika 2 – 7	Odnos količina elektroničke opreme stavljene na tržište i sakupljenoga/obrađenoga elektroničkoga otpada u RH …….....	20
Slika 3 – 1	Shematski prikaz tipičnog postrojenja za reciklažu televizijskih aparata	22
Slika 3 – 2	Prikaz unutrašnjosti udarne drobilice ……..……..	24
Slika 3 – 3	Primjer zračnog separatora – CFS separator ……...……..	26
Slika 3 – 4	Princip rada bubnjastog suhog magnetskog separatora …….....	27
Slika 3 – 5	Prikaz separiranja na elektrostatičkom separatoru ……	28
Slika 3 – 6	Stratifikacija zrna unutar žlijeba u ovisnosti o gustoći materijala ….....	29
Slika 3 – 7	Kretanje materijala na ploči koncentracijskog stola ……..….....	29
Slika 4 – 1	a) i b) Komponente potpuno demontiranih televizijskih aparata pripremljenih za ispitivanje……	35
Slika 4 – 2	Shematski prikaz horizontalne udarne drobilice IZ-0…….....	36
Slika 4 – 3	a) Udarna drobilica IZ-0 b) Veličina izlaznog otvora …….....	37
Slika 4 – 4	Postizanje raščina zvučnika a) Odvojeni papir, karton i tekstil b) Oslobođeni metalni dijelovi	37
Slika 4 – 5	Shematski prikaz udarne drobilice sa rotirajućim pločicama	38
Slika 4 – 6	Udarna drobilica sa rotirajućim pločicama	39
Slika 4 – 7	Rešetka sa otvorima ∅ 5 mm	39

Slika 4 – 8 Shematski prikaz reznog mlina ……..... 40
Slika 4 – 9 a) Laboratorijski rezni mlin RETSCH SM 2000 41
b) Rotor sa 6 diskova i izmjenjivim reznim pločicama 41
Slika 4 – 10 Rešetke za rezni mlin s veličinama otvora od 0,5 do 8,0 mm 41
Slika 4 – 11 a) Laboratorijsko vibracijsko sito Denver Dillon
b) Shematski prikaz ……..... 43
Slika 4 – 12 Johnesov djelitelj ……..... 44
Slika 4 – 13 a) Elektromagnetsko laboratorijsko sito *FRITSCH "Analysette 3"*
b) ims sito ∅ 200 mm sa pletenom mrežom pravokutnih otvora..... 45
Slika 4 – 14 Shematski prikaz laboratorijskog zračnog separatora..... 47
Slika 4 – 15 Model horizontalnog zračnog separatora ……..... 47
Slika 4 – 16 Shematski prikaz visokointenzivnog suhog magnetskog separatora……... 48
Slika 4 – 17 Laboratorijski suhi visokointenzivni magnetski separator ("Humboldt-Wedag") 49
Slika 4 – 18 Shematski prikaz mokrog niskointenzivnog magnetskog separatora 50
Slika 4 – 19 Laboratorijski mokri niskointenzivni magnetski separator *25T-СЭМ* ("завод имени Котлякова") 51
Slika 4 – 20 Pogled na Davis-ovu cijev sa zadržanim magnetičnim materijalom na staklenim stijenkama uz magnetske polove i nemagnetični materijal koji tone ..……...…… 51
Slika 4 – 21 Shematski prikaz elektrostatičkog separatora Eriez Magnetics HT – 150 52
Slika 4 – 22 Elektrostatički separator Eriez Magnetics HT – 150 53
Slika 4 – 23 Detalj unutrašnjosti separatora – separacijski prostor 53
Slika 4 – 24 Shematski prikaz koncentracijskog stola 54
Slika 4 – 25 Koncentracijski stol Wilfley 55
Slika 4 – 26 Zvučnici nakon odvajanja audio sustava 56
Slika 4 – 27 Sitnjenje zvučnika u udarnoj drobilici IZ-0 57
Slika 4 – 28 Ručno izdvojeno željezo nakon primarnog sitnjenja u udarnoj drobilici 57
Slika 4 – 29 Dijagram granulometrijskog sastava nakon sekundarnog

sitnjenja grupe „Z“……..... 59
Slika 4 – 30 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 69
Slika 4 – 31 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 69
Slika 4 – 32 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……..... 70
Slika 4 – 33 Nivo-linije regresijske plohe kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……..... 70
Slika 4 – 34 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 71
Slika 4 – 35 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 71
Slika 4 – 36 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“…… 74
Slika 4 – 37 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“…… 74
Slika 4 – 38 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……..... 75
Slika 4 – 39 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……..... 75
Slika 4 – 40 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i

brzini zraka – grupa „Z“……. 76
Slika 4 – 41 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 3,15/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 76
Slika 4 – 42 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 80
Slika 4 – 43 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 80
Slika 4 – 44 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……..... 81
Slika 4 – 45 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……..... 81
Slika 4 – 46 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 82
Slika 4 – 47 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 82
Slika 4 – 48 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“…… 85
Slika 4 – 49 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“…… 85
Slika 4 – 50 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“ 86
Slika 4 – 51 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog

otvora – grupa „Z“ 86
Slika 4 – 52 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 87
Slika 4 – 53 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 87
Slika 4 – 54 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 91
Slika 4 – 55 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 91
Slika 4 – 56 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“ 92
Slika 4 – 57 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“ 92
Slika 4 – 58 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mmo o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 93
Slika 4 – 59 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mmo o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 93
Slika 4 – 60 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 96
Slika 4 – 61 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 96
Slika 4 – 62 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog

otvora – grupa „Z“……. 97
Slika 4 – 63 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……. 97
Slika 4 – 64 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 98
Slika 4 – 65 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“……. 98
Slika 4 – 66 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 102
Slika 4 – 67 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 102
Slika 4 – 68 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mmo o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……. 103
Slika 4 – 69 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mmo o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……. 103
Slika 4 – 70 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mmo položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 104
Slika 4 – 71 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mmo položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 104
Slika 4 – 72 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „Z“……..... 107
Slika 4 – 73 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade –

grupa „Z“……..... 107
Slika 4 – 74 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mmo o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……. 108
Slika 4 – 75 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mmo o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „Z“……. 108
Slika 4 – 76 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja o položaju klase -0,5 mmo položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 109
Slika 4 – 77 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mmo položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „Z“ 109
Slika 4 – 78 Otklonski svitci, kabeli, konektori i žice …….. 115
Slika 4 – 79 Materijali izdvojeni ručnim prebiranjem nakon ručne demontaže komponenti…….. 116
Slika 4 – 80 Sitnjenje u udarnoj drobilici IZ-0 ……..…… 116
Slika 4 – 81 Razdvajanje materijala nakon usitnjavanja u udarnoj drobilici IZ-0 ……. 117
Slika 4 – 82 Granulometrijska krivulja za otklonske svitke, kabele, konektore i žice ……. 118
Slika 4 – 83 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……. 123
Slika 4 – 84 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……. 123
Slika 4 – 85 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 124

Slika 4 – 86 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 124
Slika 4 – 87 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 125
Slika 4 – 88 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 125
Slika 4 – 89 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase za 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“ ……...……..…... 128
Slika 4 – 90 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase za 4/2 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 128
Slika 4 – 91 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 129
Slika 4 – 92 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 129
Slika 4 – 93 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 130
Slika 4 – 94 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 130
Slika 4 – 95 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase za 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 134
Slika 4 – 96 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase za 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 134

Slika 4 – 97 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 135
Slika 4 – 98 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 135
Slika 4 – 99 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 136
Slika 4 – 100 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 136
Slika 4 – 101 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase za 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 139
Slika 4 – 102 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase za 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 139
Slika 4 – 103 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 140
Slika 4 – 104 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 140
Slika 4 – 105 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 141
Slika 4 – 106 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 141
Slika 4 – 107 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase za 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 145

Slika 4 – 108 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase za 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 145
Slika 4 – 109 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 146
Slika 4 – 110 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 146
Slika 4 – 111 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 147
Slika 4 – 112 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 147
Slika 4 – 113 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase za 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 150
Slika 4 – 114 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase za 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 150
Slika 4 – 115 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 151
Slika 4 – 116 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 151
Slika 4 – 117 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 152
Slika 4 – 118 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 152

Slika 4 – 119 Regresijska ploha ovisnosti masenog kvalitete koncentrata klase za -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 156
Slika 4 – 120 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase za -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 156
Slika 4 – 121 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase za -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 157
Slika 4 – 122 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase za -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 157
Slika 4 – 123 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase za -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 158
Slika 4 – 124 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase za -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 158
Slika 4 – 125 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase za -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 161
Slika 4 – 126 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase za -0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „OSKKŽ“……..... 161
Slika 4 – 127 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase za -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 162
Slika 4 – 128 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase za -0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otvora – grupa „OSKKŽ“……..... 162
Slika 4 – 129 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase za -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 163

Slika 4 – 130 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase za -0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „OSKKŽ“…….....…… 163
Slika 4 – 131 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 168
Slika 4 – 132 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 168
Slika 4 – 133 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 169
Slika 4 – 134 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 169
Slika 4 – 135 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa OSKKŽ“..... 170
Slika 4 – 136 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 170
Slika 4 – 137 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 173
Slika 4 – 138 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 173
Slika 4 – 139 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 174
Slika 4 – 140 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 174

Slika 4 – 141 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 175
Slika 4 – 142 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 4/2 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 175
Slika 4 – 143 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 179
Slika 4 – 144 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 179
Slika 4 – 145 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 180
Slika 4 – 146 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 180
Slika 4 – 147 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 181
Slika 4 – 148 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 181
Slika 4 – 149 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 184
Slika 4 – 150 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 184
Slika 4 – 151 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 185

Slika 4 – 152 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 185
Slika 4 – 153 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 186
Slika 4 – 154 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti maenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 186
Slika 4 – 155 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 190
Slika 4 – 156 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 190
Slika 4 – 157 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 191
Slika 4 – 158 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 191
Slika 4 – 159 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 192
Slika 4 – 160 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 192
Slika 4 – 161 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 195
Slika 4 – 162 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 195

Slika 4 – 163 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 196
Slika 4 – 164 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 196
Slika 4 – 165 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 197
Slika 4 – 166 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 197
Slika 4 – 167 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 201
Slika 4 – 168 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 201
Slika 4 – 169 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 202
Slika 4 – 170 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 202
Slika 4 – 171 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 203
Slika 4 – 172 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 203
Slika 4 – 173 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 206

Slika 4 – 174 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „OSKKŽ“..... 206
Slika 4 – 175 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 207
Slika 4 – 176 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „OSKKŽ“..... 207
Slika 4 – 177 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 208
Slika 4 – 178 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase -0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „OSKKŽ“..... 208
Slika 4- 179 Prikaz tri uzorka klase 1/0,5 mm nakon magnetske separacije – u gornjim posudama nalazi se nemagnetična (nekorisna) komponenta, a u donjim posudama magnetična (korisna) komponenta …….. 209
Slika 4 – 180 Tiskane pločice iz televizijskih aparata ...……..... 213
Slika 4 – 181 Sitnjenje u udarnoj drobilici IZ-0 214
Slika 4 – 182 Ručnim probiranjem izdvojeni limovi i pojedini veći komadi metala koji se odvajaju iz daljnjih postupaka usitnjavanja 215
Slika 4 – 183 Materijali odvojeni nakon primarnog sitnjenja u udarnoj drobilici – željezo, aluminij i kondenzatori +25 mm …… 215
Slika 4 – 184 Sekundarno sitnjenje tiskanih pločica u udarnoj drobilici sa rotirajućim pločicama ……..…….. 216
Slika 4 – 185 Tiskane pločice nakon sekundarnog sitnjenja…… 216
Slika 4 – 186 Aluminijska folija i veći komadi aluminija, mesinga, bakra i željeza nakon sijanja na vibracijskom situ Denver Dillon 217
Slika 4 – 187 Granulometrijska krivulja usitnjenih tiskanih pločica..... 218
Slika 4 – 188 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade –

grupa „TP“..... 227
Slika 4 – 189 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“..... 227
Slika 4 – 190 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 228
Slika 4 – 191 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 228
Slika 4 – 192 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“..... 229
Slika 4 – 193 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“..... 229
Slika 4 – 194 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“ 232
Slika 4 – 195 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“ 232
Slika 4 – 196 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 233
Slika 4 – 197 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 233
Slika 4 – 198 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“..... 234
Slika 4 – 199 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju usipnog otvora i brzini

zraka – grupa „TP“..... 234
Slika 4 – 200 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“ 238
Slika 4 – 201 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“ 238
Slika 4 – 202 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 239
Slika 4 – 203 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 239
Slika 4 – 204 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“..... 240
Slika 4 – 205 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“..... 240
Slika 4 – 206 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“ 243
Slika 4 – 207 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini zraka i visini pregrade – grupa „TP“ 243
Slika 4 – 208 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 244
Slika 4 – 209 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o visini pregrade i položaju usipnog otpora – grupa „TP“ 244
Slika 4 – 210 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini

zraka – grupa „TP“..... 245
Slika 4 – 211 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju usipnog otvora i brzini zraka – grupa „TP“..... 245
Slika 4 – 212 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 250
Slika 4 – 213 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 250
Slika 4 – 214 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 251
Slika 4 – 215 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 251
Slika 4 – 216 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 252
Slika 4 – 217 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 252
Slika 4 – 218 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 255
Slika 4 – 219 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 255
Slika 4 – 220 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 256
Slika 4 – 221 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o naponu na elektrodi i brzini

okretanja bubnja – grupa „TP“..... 256
Slika 4 – 222 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 257
Slika 4 – 223 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 2/1 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 257
Slika 4 – 224 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 261
Slika 4 – 225 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 261
Slika 4 – 226 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 262
Slika 4 – 227 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 262
Slika 4 – 228 Regresijska ploha ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 263
Slika 4 – 229 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti kvalitete koncentrata klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 263
Slika 4 – 230 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 266
Slika 4 – 231 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o brzini okretanja bubnja i položaju separacijskog noža – grupa „TP“..... 266
Slika 4 – 232 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i

napona na elektrodi – grupa „TP“..... 267
Slika 4 – 233 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o položaju separacijskog noža i napona na elektrodi – grupa „TP“..... 267
Slika 4 – 234 Regresijska ploha ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 268
Slika 4 – 235 Nivo-linije regresijske plohe ovisnosti masenog iskorištenja klase 1/0,5 mm o naponu na elektrodi i brzini okretanja bubnja – grupa „TP“..... 268
Slika 4 – 236 Sastavni dijelovi katodne cijevi – CRT televizijskog aparata ...… 269
Slika 4 – 237 Prikaz posebnog dijela pogona za recikliranje katodnih cijevi …. 270
Slika 4 – 238 Usitnjeno olovno panel staklo sa katodne cijevi ……... 271
Slika 4 – 239 Drveno kučište nakon demontaže ……. 273
Slika 4 – 240 Plastično kučište; a) dijelovi i b) drobljena plastika ……. 274
Slika 4 – 241 Elektrolitski kondenzatori ∅ + 25 mm i visine + 25 mm ……. 275
Slika 4 – 242 a) Željezni držači, b) mrežice zvučnika od aluminija i c) aluminijski limovi ……. 275
Slika 6 – 1 Tehnološka shema procesa recikliranja elektroničkoga otpada … 306

11. Popis grafikona

Grafikon 4 – 1 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 3,15/2 mm – grupa „Z“……..... 68

Grafikon 4 – 2 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 3,15/2 mm – grupa „Z“……..... 73

Grafikon 4 – 3 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „Z“……..... 79

Grafikon 4 – 4 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „Z“ 84

Grafikon 4 – 5 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „Z“……..... 90

Grafikon 4 – 6 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „Z“…….. 95

Grafikon 4 – 7 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „Z“……... 101

Grafikon 4 – 8 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „Z“..... 106

Grafikon 4 – 9 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ 122

Grafikon 4 – 10 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 127

Grafikon 4 – 11 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ 133
Grafikon 4 – 12 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 138
Grafikon 4 – 13 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“..... 144
Grafikon 4 – 14 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje mase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 149
Grafikon 4 – 15 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ 155
Grafikon 4 – 16 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 160
Grafikon 4 – 17 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ 167
Grafikon 4 – 18 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje – klasa 4/2 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 173
Grafikon 4 – 19 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“..... 179
Grafikon 4 – 20 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje – klasa 2/1 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 184
Grafikon 4 – 21 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ 189

Grafikon 4 – 22 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje – klasa 1/0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 194
Grafikon 4 – 23 Procjena veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ 200
Grafikon 4 – 24 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje – klasa -0,5 mm – grupa „OSKKŽ“ ……... 205
Grafikon 4 – 25 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 226
Grafikon 4 – 26 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 231
Grafikon 4 – 27 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 237
Grafikon 4 – 28 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“ 242
Grafikon 4 – 29 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 249
Grafikon 4 – 30 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 2/1 mm – grupa „TP“..... 254
Grafikon 4 – 31 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na kvalitetu koncentrata klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 260
Grafikon 4 – 32 Procjene veličine utjecaja radnih parametara i njihovih međudjelovanja na maseno iskorištenje klase 1/0,5 mm – grupa „TP“..... 265

12. Popis priloga

PRILOG 1	Izvješće o fizikalno kemijskim svojstvima otpadnih drvenih kučišta televizijskog aparata …….……	354
PRILOG 2	Prikaz rezultata spektrometrijske analize ingota od tiskanih pločica ……...	355
PRILOG 3	Izvješće o kemijskoj analizi tiskanih pločica …….	356

13. Prilozi

CEMTRA d.o.o.
za kontrolu i ekološku zaštitu
Zagreb

Naručitelj ispitivanja **SPECTRA-MEDIA d.o.o.**
10000 Zagreb, Gradišćanska 20

Analiza broj: 165

Vrsta otpada (po KO): otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja
Ključni broj (po KO): 03 01 05 piljevina, strugotine, otpaci od rezanja drva, drvo, iverice i furnir koji nisu navedeni pod 03 01 04

Oznaka uzorka za analizu: **PLOČE IVERICE (od starih televizora)**

Izgled: iverica
Uzorak: 10.03.2008.
Izvješće: 10.04.2008.

ISPITIVANJE FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA OTPADA ZA TERMIČKU OBRADU

Određivanje	Metoda ispitivanja	Mjerna jed.	Rezultat
Toplinska vrijednost, gornja	DIN 51900	kJ/kg	14695,9
Toplinska vrijednost, donja	DIN 51900		13226,0
Sadržaj vode	DIN 51777	%	15,8
Pepeo 800 °C	DIN 38409	%	1,23
Ukupni klor (halogeni)	DIN 51408	%	1,80
Sadržaj sumpora	DIN 51408	%	0,012
Kadmij,Cd	DIN 38406	mg/kg	<0,1
Krom, Cr	DIN 38406	mg/kg	15,9
Živa, Hg	DIN 38406	mg/kg	<0,1
Nikal,Ni	DIN 38406	mg/kg	21,0
Olovo, Pb	DIN 38406	mg/kg	33,0
Bakar, Cu	DIN 38406	mg/kg	7,9
Cink, Zn	DIN 38406	mg/kg	30,7

CEMTRA d.o.o.
ZAGREB, Vlaška 67

Stručni suradnik
Mr.sci.Vesna Soukup, dipl.ing.kem.

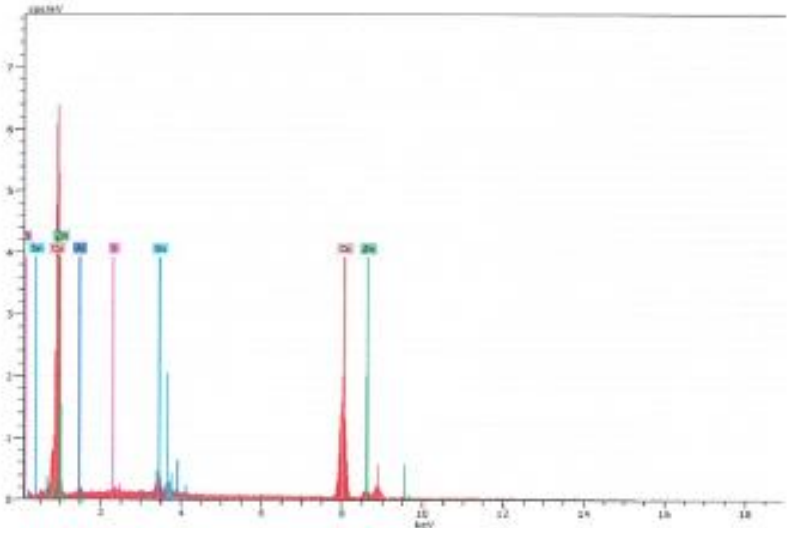
1700

Stranica 4 od 4

PRILOG 1 Izvješće o fizikalno kemijskim svojstvima otpadnih drvenih kučišta televizijskog aparata

Spectrum: Komp-poz1-1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Cu	29	K-series	77.33	80.16	81.83	2.2
Zn	30	K-series	7.96	8.25	8.18	0.3
Sn	50	L-series	9.12	9.46	5.17	0.3
Al	13	K-series	1.28	1.32	3.18	0.1
S	16	K-series	0.78	0.81	1.64	0.1
		Total:	96.47	100.00	100.00	



PRILOG 2 Prikaz rezultata spektrometrijske analize ingota od tiskanih pločica

ASSAY EXCHANGE CERTIFICATE

Date: 18.08.2009 Page: 1 / 1

umicore
Precious Metals
Refining

SPECTRA MEDIA d.o.o.
Ms. Susanna Omazic
GRADISCANSKA 20
10000 ZAGREB, HRVATSKA
CROATIA

Hoboken,18 August 2009

Lot	147971
Your Reference	
Contract	125092000
Material	MIXED CIRCUIT BOARDS
Date WSR	28.07.2009
NDW(Kg)	20.336,0000
AG(g/t)	414
AU(g/t)	19,6
PD(g/t)	13,0
CU(%)	14,65
NI(%)	0,34
BE(%)	0,0000

Yours Faithfully,

Sylvie Lacourt Marc Castelyns

n.v. Umicore s.a.
A.Greinerstraat 14
B-2660 Hoboken
www.preciousmetals.umicore.com

Tel +32 3 821 71 11
Fax +32 3 821 71 00
e-mail preciousmetals@umicore.com
Registered office : Broekstraat 31 rue du Marais - B -1000 Brussels

VAT BE 0401.574.852
RPM/RPR Brussel

PRILOG 3 Izvješće o kemijskoj analizi tiskanih pločica

14. Popis oznaka i simbola

1. In – indij
2. Ru – rutenij
3. Bi - bizmut
4. mBod – miliBod (bezdimenzionalna jedinica)
5. kn/kg – kuna po kilogramu
6. m^3/kg – metara kubnih po kilogramu
7. χ - magnetska susceptibilnost (m^3/kg)
8. μ - magnetska permeabilnost (m^3/kg)
9. mm – milimetar
10. % - posto
11. kg – kilogram
12. g – gram
13. o/min – okretaja u minuti
14. kW – kilovata
15. Hz – hertza
16. V – volt
17. A - amper
18. cosφ – faktor snage
19. D – promjer
20. Š – širina
21. U – napon (V)
22. I – jakost struje (A)
23. kg/h – kilograma na sat
24. α - nagib (°)
25. l/min – litara u minuti
26. µm – mikron
27. cum. – kumulativno
28. K_k – kvaliteta koncentrata (%)
29. m_k - masa korisne ili nekorisne komponente u koncentratu (kg)
30. K - masa koncentrata (kg)
31. I_m – maseno iskorištenje (%)
32. U - masa ulazne sirovine (kg)

33. m/s – metara u sekundi
34. h – visina pregrade (mm)
35. v - brzina strujanja zraka (m/s)
36. d - udaljenost usipnog otvora (mm)
37. h_o – središnja vrijednost nezavisne varijable – visina pregrade (mm)
38. v_o – središnja vrijednost nezavisne varijable – brzina strujanja zraka (m/s)
39. d_o – središnja vrijednost nezavisne varijable – udaljenost usipnog otvora (mm)
40. c_h - korak između vrijednosti pojedine varijable za visinu pregrade (mm)
41. c_v - korak između vrijednosti pojedine varijable za brzinu strujanja zraka (m/s)
42. c_d - korak između vrijednosti pojedine varijable za udaljenost usipnog otvora (mm)
43. x' – kodirana vrijednost varijable
44. x – stvarna vrijednost varijable
45. x_1, x_2, x_3 – nezavisne varijable
46. Y – zavisna varijabla
47. b_0 – konstanta *(Intercept)*,
48. b_1, b_2, b_3 – koeficijenti koji opisuju linearni utjecaj nezavisnih varijabli x_1, x_2 i x_3 na zavisnu varijablu Y,
49. b_{11}, b_{22}, b_{33} – koeficijenti koji opisuju krivolinijski (kvadratni) utjecaj nezavisnih varijabli x_1, x_2 i x_3 na zavisnu varijablu Y,
50. b_{12}, b_{13}, b_{23} – koeficijenti koji opisuju međudjelovanje nezavisnih varijabli x_1, x_2 i x_3 na zavisnu varijablu Y.
51. R – koeficijent korelacije
52. R^2 – kvadrat koeficijenta korelacije
53. Adj – prilagođena vrijednost koeficijenta korelacije
54. (L) – linearni utjecaj nezavisne varijable
55. (Q) – utjecaj kvadrata nezavisne varijable
56. min – minuta
57. min^{-1} – u minuti
58. kA/m – kiloamper po metru
59. m_{ul} – masa ulaza (kg)
60. U_{ul} – udio u ulazu (%)
61. m_j – masa jalovine (nekorisne komponente – kg)
62. U_k – udio koncentrata (kg)
63. t – vrijeme

64. mk_k – masa korisne komponente u koncentratu (kg)
65. mk_j – masa jalovine u koncentratu (kg)
66. ° - stupanj (0 – 360°)
67. m/min – metara u minuti
68. kV - kilovolt
69. α - nagib separacijskog noža (°)
70. ω - brzina okretanja bubnja (m/min)
71. U – napon na ionizacijskoj elektrodi (kV)
72. α_o - središnja vrijednost nezavisne varijable - nagib separacijskog noža (°)
73. ω_o - središnja vrijednost nezavisne varijable - brzina okretanja bubnja (m/min)
74. U_o - središnja vrijednost nezavisne varijable - napon na ionizacijskoj elektrodi (kV)
75. c_α - korak između vrijednosti pojedine varijable za nagib separacijskog noža (°)
76. c_ω - korak između vrijednosti pojedine varijable za brzina okretanja bubnja (m/min)
77. c_U - korak između vrijednosti pojedine varijable za napon na ionizacijskoj elektrodi (kV)
78. PbO – olovni oksid
79. BaO – barij oksid
80. Cu – bakar
81. Fe – željezo
82. Al – aluminij
83. Sn – kositar
84. Pb – olovo
85. Ag - srebro
86. Au - zlato
87. P – fosfor
88. Cd – kadmij
89. mg/l – miligrama po litri
90. kJ/kg – kilojoula po kilogramu
91. MJ/kg – megajoula po kilogramu
92. kg/m^3 – kilograma po metru kubnom
93. g/cm^3 – grama po centimetru kubnom
94. °C – stupanj Celzija
95. ∅ - fi

15. Popis kratica

1. WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) – otpadna električna i elektronička oprema
2. UNU (*United Nation University*) – Sveučilište pri Ujedinjenim narodima
3. AZO – Agencija za zaštitu okoliša
4. IT (*informatic technology, engl.*) – informatička tehnika
5. CRT (*canon ray tube, engl.*) – katodna cijev
6. HD (*high definition, engl.*) – visoka rezolucija
7. LCD (*liquid cristal display, engl.*) – sučelje od tekućih kristala
8. RRR-system (*Reduce – Reuse – Recycle, engl.*) – sustav Smanjiti – Ponovno upotrijebiti – Reciklirati
9. FP (*flat-panel, engl.*) – ravna ploha
10. EMPA – *(*Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe*)*
11. PDEPA (*Pennsylvania Department of Environmental Protection*) – Pensilvanijski ured za zaštitu okoliša
12. FEPA (*Federal Environmental Protection Agency*) – Savezna agencija za zaštitu okoliša
13. LCA (*Life Cycle Assessment, engl.*) – procjena životnog ciklusa
14. RoHS – (*Restriction of Hazardous Substances*) – ograničenje upotrebe štetnih tvari
15. CBS (*Columbia Broadcasting System*) – televizijska postaja u SAD
16. FR (*fire retardants, engl.*) – inhibitori gorenja
17. HDTV – (*High-Definition Television, engl.*) – televizor visoke rezolucije
18. LED (*light-emitting diode, engl.*) – svjetlosna dioda
19. OTU - "Opći tehnički uvjeti za radove na cestama"
20. BFRs **(***Brominated flame retardants, engl.*) – bromirani inhibitori gorenja
21. ACRR - *Association of Cities and Regions for Recycling – Udrženje gradova i regija za recikliranje*
22. ABS - akrilnitril/butadien/stiren
23. PS - polistiren
24. PC - polikarbonat

Životopis

Rođen je 28. studenog 1971. g. u Berlinu, SR Njemačka a osnovnu školu polazio je u Ferdinandovcu nakon čega je u Varaždinu upisao i 1990. g. maturirao u Školskom centru za obrazovanje "Naftnih-geoloških-rudarskih i metalskih kadrova" kao geološki tehničar. Nakon odsluženja vojnog roka upisao je Dodiplomski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirao je 7. srpnja 1998. g. stekavši zvanje Diplomirani inženjer rudarstva, smjer geotehnika. Stručni ispit za obavljanje poslova na rukovodnim radnim mjestima u rudarstvu polaže 2002. g. i dobiva dozvolu za nadzemna miniranja (2002. g.)

Dosadašnje zaposlenje:

1999. – 2002. Voditelj geomehaničkog laboratorija na A.C. Rijeka – Zagreb – dionica "Karlovac – Vukova Gorica", Konstruktor-Inženjering d.d. Split

2002. – 2003. Voditelj gradilišta na A.C. Rijeka – Zagreb – dionica "Vukova Gorica – Bosiljevo 1", Strabag-Hrvatska d.o.o., Zagreb

2003. – 2005. Tehnički voditelj kamenoloma, K.S. Kamenolom d.o.o., Čavle

2005. – danas Viši inspektor zaštite okoliša, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode

Poslijediplomski studij rudarstva, smjer zaštita okoliša upisuje 2004. g., na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu a 2009. g. prelazi na Doktorski studij.

Trenutno, kao viši inspektor zaštite okoliša u Ministarstvu zaštite okoliša i prirode obavlja poslove provođenja zakona i propisa koji imaju svrhu poboljšanja odnosa svih dionika prema svim sastavnicama okoliša. Stalnom edukacijom i sudjelovanjem na raznim međunarodnim seminarima i treninzima doprinosi usvajanju europskih pravnih stečevina na području zaštite okoliša.

Po narodnosti je hrvat, živi u Zagrebu, oženjen je i ima dva sina.

Popis objavljenih radova

Znanstveni radovi:

Fuk, B. (2012): Separacija otpadnih tiskanih pločica u elektrostatičkom separatoru, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, Vol. 25, 93 – 99.

Stručni radovi:

Fuk, B. (2009): Reciklirati ili spaliti električni i elektronički otpad? Zbornik radova znanstveno-stručnog skupa Tehnologije zbrinjavanja otpada i zaštite tla, Zadar, pp. 103 – 115.