

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

Nikolina Milovac, Ozren Grozdanić

**ANALIZA UTJECAJA RADNIH UVJETA DEIZOHEKSANIZERA
POSTROJENJA IZOMERIZACIJE RAFINERIJE NAFTE SISAK
NA OKTANSKI BROJ IZOMERAT – BENZINA**

Zagreb, 2012.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za reakcijsko inženjerstvo i katalizu pod vodstvom dr. sc. Igora Dejanovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2011./2012.

POPIS OZNAKA

B	maseni protok proizvoda dna, kg/h
d	promjer, m
F_n	molarni protok pojenja, kmol/h
$h_{F,n}$	specifična entalpija pojenja koje ulazi na pliticu n , kJ/kmol
$h_{L,n-1}$	specifična entalpija kapljevite smjese s plitice $n-1$, kJ/kmol
$h_{V,n}$	specifična entalpija pare na plitici n , kJ/kmol
$h_{V,n+1}$	specifična entalpija pare na plitici $n+1$, kJ/kmol
H ₂ /HC	molarni omjer vodik/sirovina
$K_{i,n}$	koeficijent raspodjele komponente i na plitici n
L_n	protok kapljevine s plitice n , mol/h
L_{n-1}	protok kapljevine s plitice iznad plitice n , mol/h
L'_n	protok kapljevine s plitice n u izlazni tok kolone, mol/h
LHSV	prostorna volumna brzina sirovine, h ⁻¹
\dot{m}_{dno}	maseni protok donjeg izlaza, kg/h
\dot{m}_{pojenje}	maseni protok u pojenju, kg/h
\dot{m}_{struja}	maseni protok u struji tvari, kg/h
\dot{m}_{vrh}	maseni protok vršnog izlaza, kg/h
mas%	maseni postotak
MOB	motorni oktanski broj
N	broj plitica
N_f	pojna plitica
p	tlak, bar
p_{dno}	tlak na dnu, barg
p_{vrh}	tlak na vršnom izlazu, barg
Δp	pad tlaka kroz kolonu, bar
Δp_{isp}	pad tlaka kroz isparivač, bar
r	iscrpak
R	opća plinska konstanta, 8,314 kJ/(kmolK)
R/R _{min}	stvarni refluksni omjer/minimalni refluksni omjer
Q_d	toplinska dužnost kondenzatora, kW
Q_n	toplina dovedena na pliticu n ili odvedena s nje, kJ/h
Q_r	toplinska dužnost isparivača, kW
S	maseni protok bočnog proizvoda, kg/h
T	temperatura, °C
T_{ulaz}	temperatura pojenja, °C
vol%	volumni postotak
V_{bok}	volumni protok bočnog izlaza, m ³ /h
V_{dno}	volumni protok donjeg izlaza, m ³ /h
V_{vrh}	volumni protok vršnog izlaza, m ³ /h
V_n	maseni protok pare s plitice ispod plitice n , kg/h
V_{n+1}	maseni protok pare s plitice ispod plitice n , kg/h

V'_n	protok pare s plitice n u izlazni tok kolone, kg/h
V/B	omjer protoka na plitici iznad pojne i protoka donjeg produkta
w_{bok}	maseni udio komponente u bočnom protoku, %
$w_{pojenje}$	maseni udio komponente u pojnoj smjesi, %
$x_{i,n}$	udio kapljevite komponente i na plitici n
$x_{i,n-1}$	udio kapljevite komponente i na plitici iznad plitice n
$x_{L,n}$	specifična entalpija kapljevine na plitici, kJ/kmol
$y_{i,n}$	udio pare komponente i na plitici n
$y_{i,n+1}$	udio pare komponente i na plitici ispod plitice n
$z_{i,n}$	molni udio komponente i u pojenju na plitici n

SKRAĆENICE

DIH	deizoheksanizerska kolona
DIP	deizopentanizerska kolona

GRČKI SIMBOLI

$\alpha\alpha$	parametar Soave – Redlich – Kwong jednadžbe stanja
ρ	gustoća, g/L
v	specifični volumen, m ³ /kmol

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Procesi prerade nafte	2
2.2. Izomerizacija	4
2.3. Postrojenje za izomerizaciju u Rafineriji nafte Sisak	5
2.3.1. Deizopentanizer (DIP)	6
2.3.2. Sustav reaktora (PENEX)	6
2.3.3. Deizoheksanizer (DIH)	8
2.4. Destilacija i destilacijske kolone	8
2.5. <i>ChemCAD</i>	11
3. MATERIJALI I METODE	13
3.1. Materijali	13
3.2. Metode	14
3.2.1. Simulacija kolone	14
3.2.2. Analize osjetljivosti	18
4. REZULTATI	21
4.1. Rezultati dobiveni simulacijom realne kolone	21
4.2. Rezultati analiza osjetljivosti	24
4.3. Rezultati ispitivanja oktanskog broja izomerat - benzina	36
5. RASPRAVA	38
5.1. Simulacija kolone	38
5.2. Analize osjetljivosti	38
5.3. Oktanski broj	41
6. ZAKLJUČCI	43
7. POPIS LITERATURE	44
8. SAŽETAK	46
9. SUMMARY	47
PRILOZI	

1. UVOD

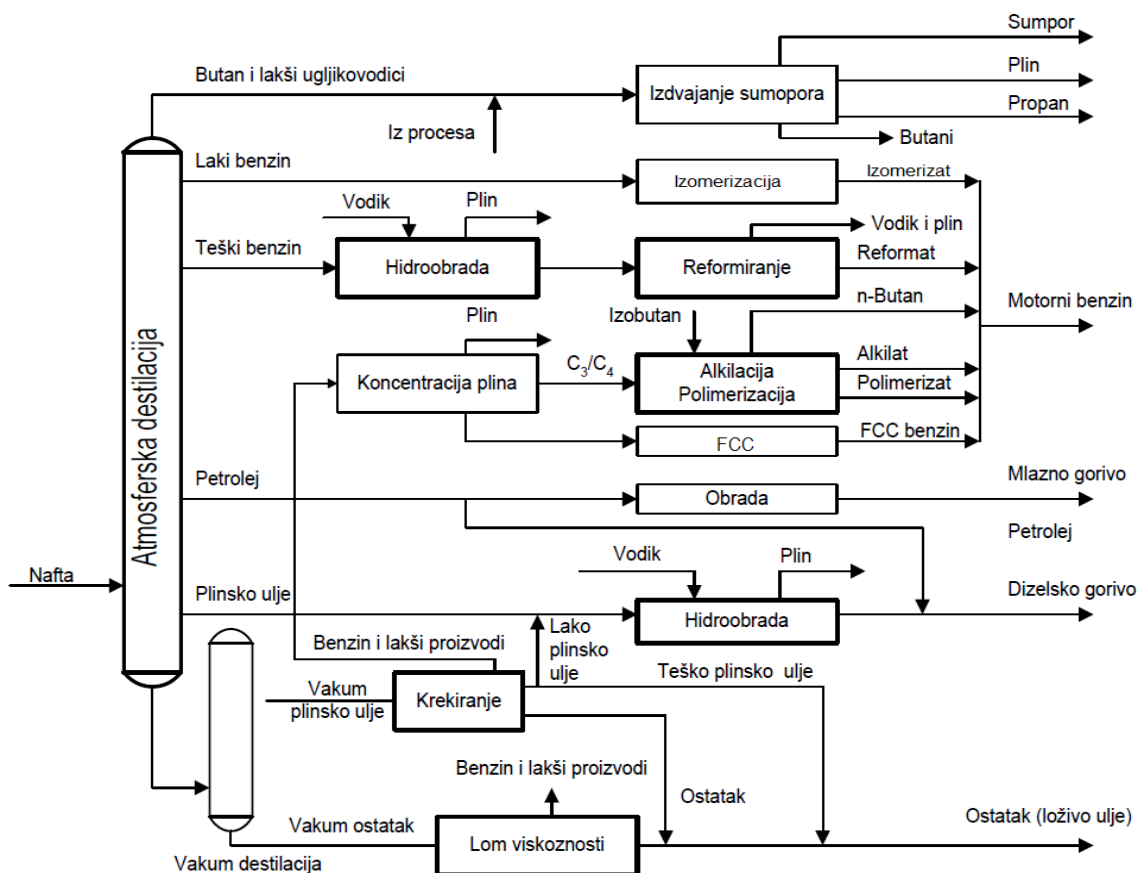
Motorni benzin služi kao pogonsko gorivo motora s unutarnjim izgaranjem u kojem se stlačena gorivna smjesa benzina i zraka inicijalno pali električnom iskrom. Benzin je smjesa naftnih ugljikovodika i u manjim udjelima aditiva. Najviše su zastupljeni niskomolekulni ravnolančani i razgranati parafini i olefini, zatim alkilirani ciklopentani, cikloheksani i benzen – općenito, ugljikovodici s pet do deset ugljikovih atoma. Da bi se dobio benzin kojeg je moguće primijeniti u motorima s unutrašnjim izgaranjem, potrebno je zadovoljiti određene uvjete u pogledu njegovog sastava, odnosno svojstava. Motorni benzin određenog sastava i svojstava dobiva se miješanjem različitih vrsta benzina dobivenih različitim procesima prerade nafte – *namješavanjem*¹⁻³. Jedan od procesa prerade je izomerizacija koja među ostalim uključuje odvajanje izomera heksana od n – heksana i viših ugljikovodika u destilacijskoj koloni koja se stoga naziva *deizoheksanizerom*.

Cilj ovog rada jest definirati utjecaje pojedinih radnih uvjeta na sastav proizvoda deizoheksanizera. Na temelju dobivenih rezultata i uz koreliranje sastava destilata s vrijednošću oktanskog broja izomerat – benzina, predložiti će se način rada kolone koji daje maksimalnu vrijednost oktanskog broja uz uvažavanje hidauličkog kapaciteta postojeće kolone.

2. OPĆI DIO

2.1. Procesi prerade nafte

Nafta je kapljevita do polučvrsta prirodna tvar koja se nalazi u Zemljinoj kori. Sastoji se od smjese različitih ugljikovodika, ali i organskih spojeva dušika, sumpora, kisika te u malim udjelima teških metala. Ovisno o podrijetlu i nalazištu, očituju se i razlike u sastavu nafte. Procesi njezine prerade mogu se podijeliti na primarne i sekundarne. Primarni procesi su oni procesi pri kojima ne dolazi do promjene veličine ni strukture prisutnih ugljikovodika. To su uglavnom razni separacijski procesi: destilacija, apsorpcija, adsorpcija, itd. Od primarnih procesa najvažnije su atmosferska i vakuum destilacija. Sekundarni procesi su konverzijski procesi, odnosno procesi u kojima dolazi do pretvorbe prisutnih ugljikovodičnih molekula radi povećanja udjela željenih produkata koji donose povećanje kvalitete konačnog proizvoda – motornog benzina. Glavna namjena konverzijskih procesa je pretvorba proizvoda višeg u proizvode nižeg vrelišta. Tipični konverzijski procesi su: izomerizacija, reformiranje, alkilacija, polimerizacija, oligomerizacija i krekiranje (slika 1). Osnovna funkcija konverzijskih procesa jest povećanje oktanskog broja^{1,4,5}.



Slika 1. Shematski prikaz procesa prerade nafte¹.

Oktanski broj jedan je od parametara određivanja kvalitete motornih benzina. Mjera je otpornosti benzina na detonantno izgaranje. Određuje se uspoređivanjem detonacijskih svojstava ispitivanog benzina sa svojstvima izgaranja referentne smjese izooktana i *n*-heptana (*n*-C7) poznatog sastava pri istom tlaku. Izooktanu (2,2,4-trimetilpentan) koji pokazuje izrazito dobra antidetonacijska svojstva dodijeljena je vrijednost oktanskog broja 100, a *n*-C7 pri čijoj kompresiji brzo dolazi do detonacije dodijeljena je vrijednost 0. Benzin s oktanskim brojem 90 ima istu otpornost na detonaciju pri određenoj kompresiji kao i smjesa 90% izooktana i 10% *n*-C7. Ovisno o uvjetima rada motora u kojima se oktanski broj ispituje, posebice brzini njihove vrtnje, razlikuju se tzv. *istraživački oktanski broj* – IOB (engl. *research octane number*, RON) dobiven mjerenjem pri maloj brzini vrtnje motora (600 okr/min) i *motorni oktanski broj*, MOB (engl. *motor octane number*, MON), dobiven pri velikoj brzini vrtnje motora (900 okr/min). U načelu je vrijednost IOB-a veća od vrijednosti MOB-a, pa se u najvećem broju slučajeva pod nazivom *oktanski broj* navodi IOB ili se iskazuje njihova prosječna vrijednost. Njihova razlika ne smije biti veća od desetak jedinica i označava osjetljivost goriva, odnosno smanjenu učinkovitost pri otežanim uvjetima rada motora. Vrijednost oktanskog broja motornih benzina je u području od 90 do 105, a po njoj se benzini najčešće najčešće razvrstavaju u regularni ili normalni benzin (OB=91) i super ili premium benzin (OB=95 ili 98).

Reformiranje je proces kojim dolazi do kemijske pretvorbe ugljikovodika u prisutnosti katalizatora reakcijama dehidrogenacije naftena (aromatizacije), dehidrociklizacije parafina, hidrokrekiranja parafina te izomerizacije parafina i naftena. Produkt reformiranja je tzv. *reformat* – benzin koji čini jednu od komponenti koje se namješavaju u svrhu dobivanja motornog benzina. Posebna vrsta reformiranja je i izomerizacija kojom se dobiva tzv. *izomerat* – benzin. Alkilacija je proces kojim se dobivaju visokorazgranati parafini višeg vrelišta, druga sastavnica motornog benzina, tzv. *alkilat* – benzin. Polimerizacija je proces kojim se iz plinovitih alkena dobivaju kapljevitte komponente motornih benzina vrlo visokih vrijednosti oktanskog broja, tzv. *polimer-benzin*. Oligomerizacija se od polimerizacije razlikuje u dužini molekula koje nastaju u procesu. Krekiranje podrazumijeva procese cijepanja ugljikovodika višeg vrelišta u ugljikovodike nižeg vrelišta. Najvažniji oblik krekiranja je katalitičko krekiranje (engl. *fluidized catalytic cracking*, FCC) koji podrazumijeva krekiranje težih destilacijskih frakcija u lakše u prisutnosti katalizatora u fluidiziranom sloju. Tijekom procesa zbiva se β -cijepanje, izomerizacija i prijenos vodika, a nastaje sastavnica motornog benzina, tzv. *FCC benzin*. Ukoliko se krekiranje provodi u prisutnosti vodika, radi se o hidrokrekiranju.

U namješavanju benzina s najvećim udjelom sudjeluju FCC – benzin (36 vol%) i reformat – benzin (36 vol%). FCC – benzin ima OB između 85 i 90, a reformat između 95 i 100. U nešto manjem udjelu sudjeluje alkilat – benzin (12 vol%) s OB-om između 95 i 100, dok su u najmanjim udjelima prisutni izomerat – benzin (5 vol%, OB između 85 i 90) i polimer – benzin (5 vol%, OB od 95 do 100) te primarni benzin (3 vol%, OB od 55 do 75).

2.2. Izomerizacija

Izomerizacijom dolazi do pretvorbe ravnolančanih alkana u njihove izomere, tzv. izomerat – benzin koji služi kao komponenta motornog benzina uz povećanje njegovog oktanskog broja. Sirovina je benzinska frakcija vrelišta do 80°C i sadrži pretežito *n*-pentan (*n*-C5) i *n*-heksan (*n*-C6).

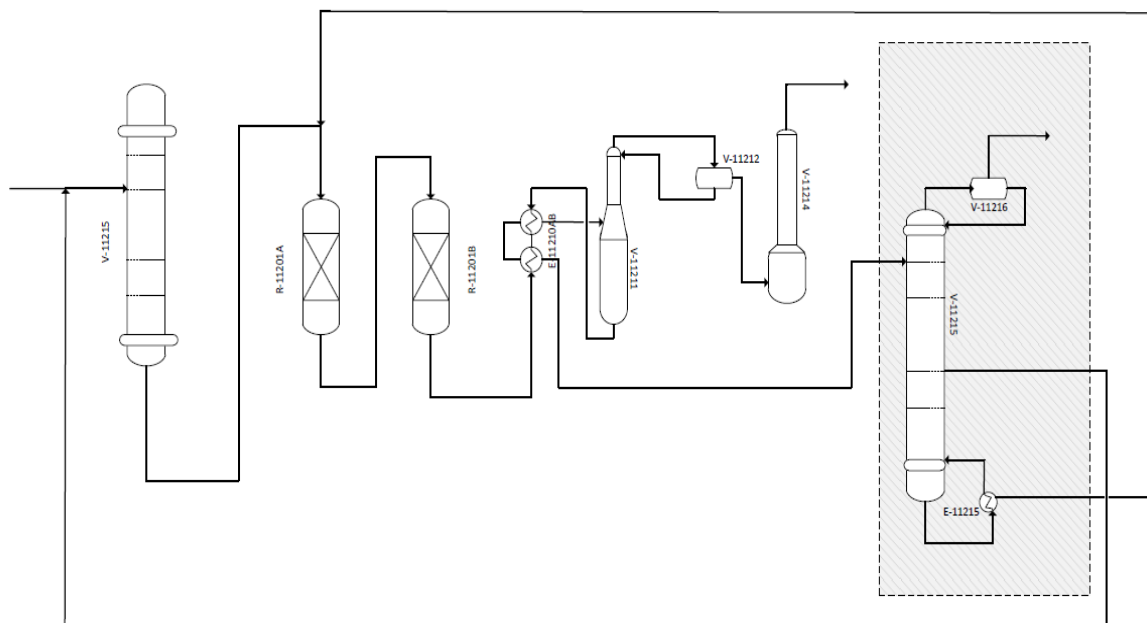
Izomeri su spojevi iste molekulske mase, ali različite strukturne formule koji sadrže jednak broj istovrsnih atoma. Razlike u strukturi uzrokuju razlike u kemijskim i fizikalnim svojstvima, pa tako izospojevi imaju veći OB u odnosu na ravnolančane ugljikovodike. Razlog tome jest činjenica da se vrelište molekula smanjuje s povećanjem njihovih razgranatosti jer molekule s više bočnih grana poprimaju oblik sličniji kugli. Tako dolazi do smanjenja njihove vanjske površine i dodirne plohe među molekulama, pa međumolekularne sile postaju slabije te mogu biti svladane kod niže temperature. Tablica 1 prikazuje vrijednosti IOB-a za ravnolančane i izospojeve alkana s pet i šest ugljikovih atoma. Vidljivo je da s razgranatošću molekule raste njen OB, a time i kvaliteta goriva.

Tablica 1. IOB sastavnica separacijske smjese u deizoheksanizerskoj koloni^{6,7}.

UGLJIKOVODIK	IOB
<i>n</i> -C5	62
<i>i</i> -pentan (<i>i</i> -C5)	99
ciklopentan	141
metilciklopentan	107
cikloheksan	110
<i>n</i> -C6	24,8
2-metilpentan (2-MP)	73,4
3-metilpentan (3-MP)	74,5
2,2-dimetilbutan (2,2-DMB)	91,8
2,3-dimetilbutan (2,3-DMB)	103,5
<i>n</i> -C7	0

2.3. Postrojenje izomerizacije u Rafineriji nafte Sisak

Postrojenje za izomerizaciju u Rafineriji nafte Sisak sastoji se od nekoliko glavnih dijelova: deizopentanizera, sustava reaktora, stabilizatora i deizoheksanizera⁸. PFD dijagram postrojenja prikazan je slikom 2. Iz sirovine koja se sastoji od smjese ugljikovodika s pet i šest ugljikovih atoma, u deizopentanizeru (DIP-u) prije ulaska u sustav reaktora izdvajaju se spojevi s manje od pet ugljikovih atoma i *i*-C5 (2-metilbutan). Ostatak sirovine ulazi u sustav od dva reaktora, gdje se u prisutnosti kiselog katalizatora uz dodatak klorida kao promotora njegove kiselosti događaju reakcije izomerizacije:



Slika 2. Pojednostavljeni PFD dijagram procesa izomerizacije.

Produkt procesa je smjesa čije su komponente (od najvećeg udjela prema najmanjem): 2,2-DMB, 2-MP, *i*-C5, 3-MP, *n*-C6, 2,3-DMB, *n*-C5, cikloheksan, metilciklopentan, ciklopentan, ugljikovodici sa sedam i više ugljikovih atoma (C7+) te kloridi. 2,2-DMB, 2,3-DMB, 2-MP i 3-MP nastaju izomerizacijom *n*-C6, *i*-C5 nastaje izomerizacijom *n*-C5, dok su ostale strukture rezultat popratnih reakcija kreiranja, dehidrogeniranja, ciklizacije, itd. Po izlasku iz reaktora, smjesa prolazi kroz sustav izmjenjivača topline te ulazi u stabilizator gdje dolazi do odvajanja katalizatora. Produkt vrha stabilizatorske kolone odlazi na obradu lužinom, a dno se uvodi u deizohexanizersku (DIH) kolonu. Ta kolona ima tri izlaza: u produktu vrha prevladavaju butanski izomeri heksana, u produktu boka pentanski izomeri, a produkt dna se vraća u reaktorski sustav budući da sadrži uglavnom neizreagirani *n*-C6 te C7+ ugljikovodike.

2.3.1. Deizopentanizer (DIP)

DIP kolona primarno izdvaja *i*-C5 od *n*-C5 i težih komponenti sirovine za postrojenje izomerizacije. Odnos *i*-C5 prema ukupnim pentanima u sirovini je približno od 40% do 45%, dok je taj odnos u izomeriziranom lakom benzinu je između 78% i 80%. *i*-C5 je inert u procesu izomerizacije budući da ne može dalje izomerizirati. Stoga se izdvaja u DIP koloni kako bi se smanjili pogonski troškovi⁹.

Vršni proizvod DIP kolone se primarno sastoji od *i*-C5 i lakših komponenti te se odvodi u spremnike za namješavanje benzina. Dno DIP kolone služi kao sirovina za reaktorski sustav izomerizacije. Uz odgovarajuću regulaciju na DIP koloni, postiže se maksimum oktanske vrijednosti u konačnom proizvodu izomerizacije. Za DIP se upotrebljavaju sitaste plitice ili češće, plitice s ventilima. Takve plitice su prilagodljive velikom rasponu kapaciteta. DIP je kolona od 80 plitica s pojenjem na plitici 41. Produkt vrha se hladi i otprema u skladište sirovine, a produkt dna prolazi kroz sušaće i ulazi u sustav reaktora. Pojenje ulazi protokom od približno 30 m³/h pri temperaturi od oko 60°C. Temperatura vršnog produkta je oko 65°C, a dna oko 95°C.

2.3.2. Sustav reaktora (PENEX)

Reaktorski sustav *PENEX* tvrtke *UOP* sastoji se od slijedećih glavnih komponenti: reaktorâ u kojima se događa izomerizacija, stabilizatora produkta, peraća lužine i sustavâ za

izmjenu topline između pojedinih komponenti. Proces je posebno projektiran za kontinuiranu katalitičku izomerizaciju pentana, heksana i njihove smjese. Te reakcije se zbivaju u atmosferi vodika, na katalizatoru s fiksnim slojem i uz radne uvjete koji potiču izomerizaciju, a smanjuju hidrokrekiranje. *PENEX* sustav se sastoji od dva reaktora s ukupnim potrebnim katalizatorom jednako raspodijeljenim na oba reaktora. Pojenje prvo ulazi u reaktor koji radi na nižim temperaturama, pa po izlasku iz njega smjesa odlazi u drugi reaktor. Ventili i cjevovodi omogućavaju promjenu procesnog toka reaktora i mogućnost njihovog pojedinačnog odvajanja u slučaju potrebe za zamjenom katalizatora uslijed deaktivacije. Deaktivacija je moguća zbog prisutnosti vode, a tokom zamjene postrojenje može raditi samo s jednim reaktorom uz blago smanjenje konverzije¹⁰. Osim toga, dva reaktora se koriste i zbog veće učinkovitosti, manje potrebe za hlađenjem (lakše se hlade dva manja reaktora od jednog većeg s obzirom da se radi o egzotermnim reakcijama) i smanjene ukupne potrošnje katalizatora. Procesne varijable koje će utjecati na rad postrojenja su: temperatura reaktora, prostorna volumna brzina sirovine (LHSV), molarni omjer vodik/sirovina (H₂/HC), tlak, promotor kiselosti te udio onečišćivača, odnosno nusprodukata⁸.

Sirovina iz DIP kolone, nakon uklanjanja sumpora i sušenja, spaja se s osušenim vodikom (promotorom izomerizacije) u sirovinskoj (napojnoj) posudi. Ta se smjesa zatim pumpa kroz sustav izmjene topline u prvi reaktor. Po izlasku iz njega produkt se hladi i kreće u drugi, dopunski (tzv. *LAG*) reaktor. U drugom reaktoru se postiže konačna konverzija sirovine, a produkt se dalje pumpa u stabilizator. Prolaskom kroz reaktore temperatura se povećava, pa je na ulazu u prvi reaktor temperatura oko 110°C, a na izlazu iz drugog reaktora oko 150°C.

Svrha stabilizatora je smanjenje tlaka para smjese, odnosno uklanjanje otopljenog vodika, klorovodika, metana, etana i propana iz kapljevite smjese. Pare iz vrha stabilizatorske kolone sadrže lake ugljikovodike i upućuju se na hlađenje u kondenzator, a nakon toga u sabirnu posudu stabilizatora⁸. Iz sabirne posude se dio produkta vraća u vrh kolone, a dio na obradu lužinom u skruber (perač plina). Produkt dna ove kolone je sirovina za deizoheksanizersku (DIH) kolonu. Stabilizatorska kolona sadrži 30 plitica, pojenje ulazi na 17. plitici pri 140°C. Temperatura vrha je oko 110°C, a dna 170°C. Sirovina ulazi na dnu skrubera. Osim sirovine u skruber ulazi i lužina (svježa lužina se spaja s lužinom koja izlazi iz dna skrubera) te kondenzat. Vrh skrubera se odvodi u sustav slatkog lož plina.

2.3.3. Deizoheksanizer (DIH)

DIH kolona uglavnom odvaja ugljikovodike s pet ugljikovih atoma, 2,2-DMB i 2,3-DMB od drugih izomera heksana i težih komponenti izomerata. Iako je moguća i izvedba postrojenja izomerizacije bez DIH kolone, njen dodatak omogućava oplemenjivanje produkta s vrijednošću IOB-a od 88 do 90 (zbog snižavanja omjera ugljikovodika s pet i šest ugljikovih atoma budući da se *n*-C5 ne vraća u reaktore)¹¹.

DIH kolona ima jedan ulaz i tri izlazne struje: destilat, bočni proizvod i proizvod dna. Vršni produkt, odnosno destilat DIH kolone se uglavnom sastoji od pentana i butanskih izomera heksana te se šalje u skladište za miješanje benzina. Bočni proizvod se obično šalje u skladište sirovine za DIP kolonu, a sastoji se uglavnom od metilpentana te nešto dimetilbutana. Produkt dna se vraća na ponovnu izomerizaciju.

Unutar DIH kolone koriste se plitice u obliku sita ili s ventilima. Tip tavana s ventilima je jednostavan za izradu i jeftin, a njegova djelotvornost je visoka. Procesne varijable koje će imati učinak na rad postrojenja su: sastav sirovine, tlak, ulazna temperatura, odnos refluks/sirovina, toplina isparivača, protok bočnog produkta¹¹.

Realna kolona ima 80 plitica. Pojna je plitica 25, a bočni tok izlazi sa 74. plitice. Sirovina ulazi na 82°C, vršni produkt se otprema na 70°C, bočni na 98°C, a produkt dna na 125°C.

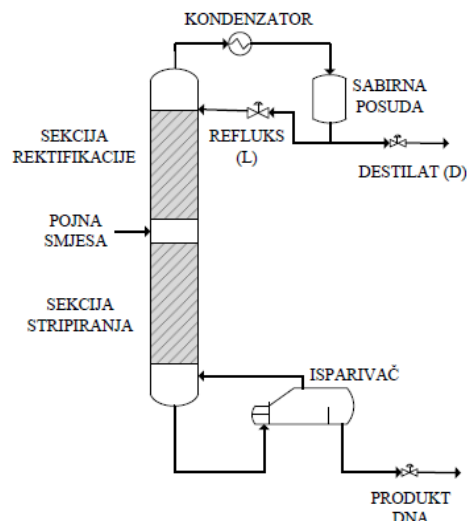
2.4. Destilacija i destilacijske kolone

Destilacija je toplinski separacijski proces u kojem se komponente iz smjese razdvajaju na temelju njihove različite hlapljivosti na određenim uvjetima, odnosno na osnovi različitih temperatura vrelišta. Hlapljivije (*lakše*) komponente izlaze na vrhu kolone u kojoj se proces odvija, a komponente višeg vrelišta (*teže*) izlaze na dnu. Dio produkta vrha može se hladiti (ukapljiti) kondenzatorom i vratiti u kolonu radi boljeg razdvajanja, dok se dio produkta dna prevodi u plinovito stanje isparivačem te se također vraća u kolonu. Destilacija je jedan od najčešćih, ali zbog svoje izvedbe ujedno i jedan od energetski i financijski najzahtjevnijih separacijskih procesa. Što je razlika u hlapljivosti komponenata veća, separacija je lakša te energetski i financijski manje zahtjevn¹².

Destilacijske kolone mogu biti šaržne ili kontinuirane. U prvom slučaju se pojna smjesa uvede u kolonu, započne se sa separacijom, a nakon dostizanja željenog stupnja

razdvajanja, uvodi se novo pojenje. Kod kontinuiranih kolona, dovod i odvod tvari se odvija neprestano. Kontinuirane kolone mogu s obzirom na vrstu pojenja raditi s dvokomponentnim ili višekomponentnim smjesama, a s obzirom na broj produkata, razlikujemo kolone s dvije izlazne struje ili više njih (bočni proizvodi)¹³.

Destilacijske kolone se sastoje od nekoliko osnovnih dijelova: osnovnog, cilindričnog tijela (u kojem se odvija separacija), unutrašnjih dijelova (plitica ili punila), isparivača (ili rebojlera; služi za isparavanje dijela produkta dna), kondenzatora (služi za ukapljivanje dijela produkta vrha) i posude za razdvajanje (ukoliko postoji povrat u kolonu iz isparivača) kao što je prikazano na slici 3. Omjer količine dijela produkta vrha koji se vraća u kolonu (refluks – L) iz posude za razdvajanje i ostatka (destilat – D) naziva se refluksni omjer (R) i vrlo je važan parametar u opisivanju svake destilacijske kolone¹⁴⁻¹⁶.



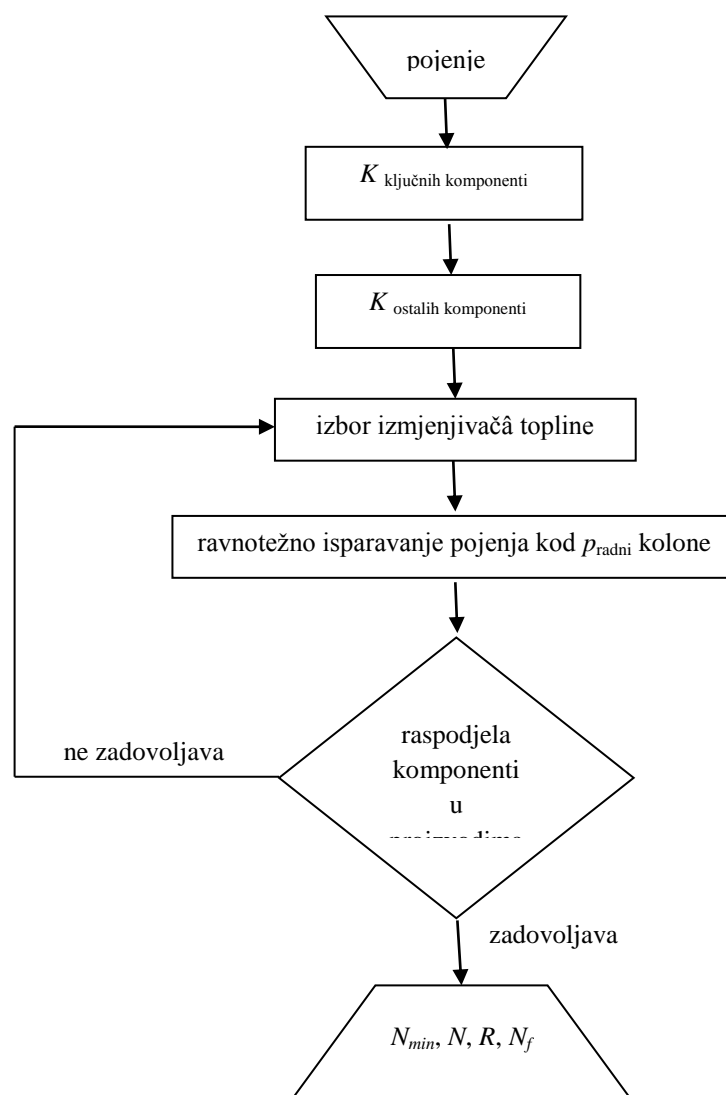
Slika 3. Shema destilacijske kolone i pratećih uređaja.

S obzirom na unutrašnju izvedbu kolone razlikujemo kolone s pliticama i punilima. Plitice ili tavani su horizontalne pregrade unutar kolone na kojima se zadržava kapljevina i pomoću kojih se osigurava bolji kontakt s plinom što rezultira boljom separacijom. Punila mogu biti nasipna ili strukturirana, a osiguravaju bolji kontakt različitih faza unutar kolone. Dio kolone u kojem se povećava udio hlapljivije komponente naziva se sekcija rektifikacije ili pojačavanja (dio kolone iznad pojenja), dok je sekcija stripiranja ili istjerivanja dio kolone u kojem raste udio težih komponenti smjese (dio kolone ispod pojenja)^{14,17}.

Prema složenosti, proračune procesa destilacije možemo podijeliti u dvije skupine: brze (približne) i stroge (rigorozne). Brzi proračuni se koriste za preliminarne proračune te za inicijalizaciju rigoroznih modela. Strogi proračun podrazumijeva proračun *pliticu po pliticu*,

odnosno proračun sastava pare i kapljevine u kontaktu na svakom pojedinom ravnotežnom stupnju. Prije bilo kakvog proračuna treba definirati sastav pojne smjese, željene iscrpke ključnih komponenata u proizvodima kolone i toplinsko stanje smjese. Proračun se zatim odvija u sljedećim koracima:

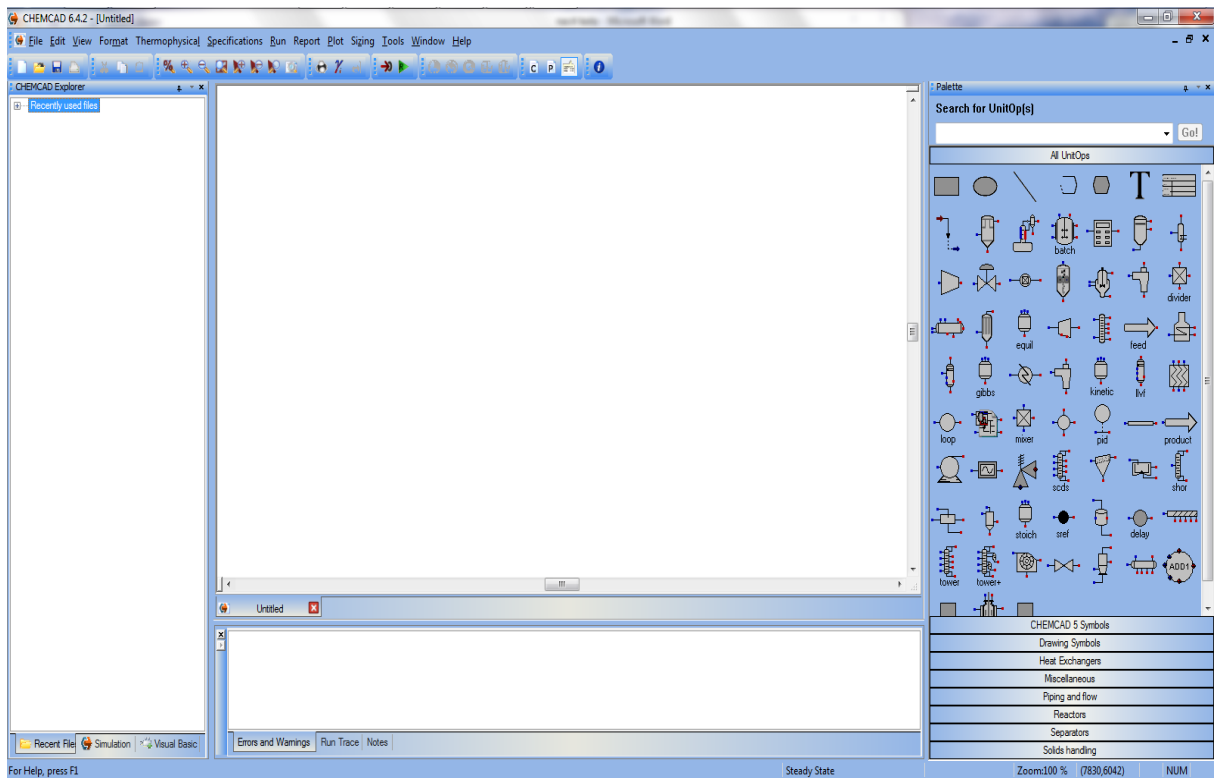
1. određivanje podataka o ravnoteži para – kapljevina
2. izbor radnih uvjeta kolone
3. izračunavanje idealnog broja plitica
4. dimenzioniranje kolone¹⁸.



Slika 4. Dijagram toka brzog proračuna destilacijske kolone.

2.5. ChemCAD

Programski sustav *ChemCAD* tvrtke *Chemstations Inc.* program je za simulaciju procesa kemijske industrije. Program se sastoji od sučelja za grafičko opisivanje procesa koje uključuje velik broj *pripremljenih* modela uređaja, baze podataka kemijskih spojeva, velikog broja ugrađenih termodinamičkih modela i podataka. U ovom je programu moguće simulirati kontinuirane, šaržne i polukontinuirane procese. Što se tiče destilacije, postoji više modela prema kojima se mogu simulirati procesi. Raspoloživi modeli destilacijskih kolona su *Shortcut*, *SCDS* i *Tower* modeli¹⁹.



Slika 5. Korisničko sučelje programskog sustava *ChemCAD*.

Shortcut model je brzi proračun (slika 5), a temelji se na Fenske – Underwood – Gilliland — Kirkbride (FUGK) sustavu jednadžbi. On polazi od definiranja pojenja i raspodjele ključnih komponenti iza čega slijedi procjena raspodjele ostalih komponenata, izbor kondenzatora i određivanja radnog tlaka, ravnotežno isparavanje pojenja kod radnog tlaka te izračunavanje raspodjele komponenti u proizvodima. Ako raspodjela nije zadovoljavajuća, proračun se vraća na korak izbora kondenzatora. U slučaju zadovoljavajuće raspodjele, pristupa se izračunavanju minimalnog broja plitica (N_{min}) jednadžbom prema Fenskeu, pa minimalnog refluksa (R_{min}) prema Underwoodu. Iza toga slijedi izračunavanje

pravog radnog omjera refluksa, pravog broja plitica (prema Gillilandu) te određivanje pojne plitice (Kirkbride). Na kraju se pristupa dimenzioniranju kolone i izmjenjivača topline^{19,20}.

Tower i *SCDS* modeli spadaju u rigorozne modele proračuna, što znači da se temelje na tzv. *MESH* (*mass – equilibrium – summation – enthalpy*) sustavu jednadžbi za svaku pliticu. Drugim riječima, na svaku pliticu se gleda kao jedan ravnotežni stupanj (na svakoj plitici se ostvaruje ravnoteža para – kapljevina) i na svakoj plitici se računaju bilanca mase, ravnoteža pare i kapljevine, suma molnih udjela prisutnih komponenti te bilanca energije. Jednadžbe 10 do 14 predstavljaju *MESH* jednadžbe razvijene za sustav prikazan na slici 6²¹.

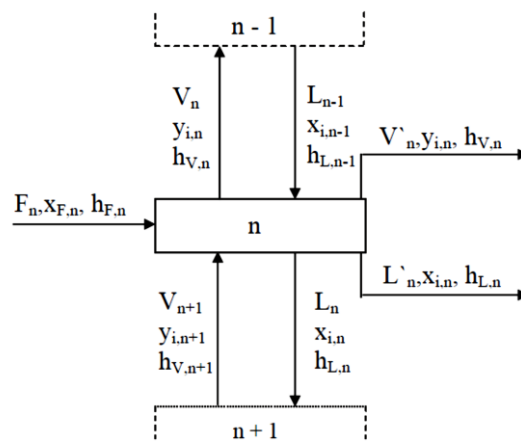
$$L_{n-1}x_{i,n-1} + V_{n+1}y_{i,n+1} + F_n z_{i,n} - (L_n + L'_n)x_{i,n} - (V_n + V'_n)y_{i,n} = 0 \quad (10)$$

$$y_{i,n} - K_{i,n}x_{i,n} = 0 \quad (11)$$

$$\sum y_{i,n} - 1 = 0 \quad (12)$$

$$\sum x_{i,n} - 1 = 0 \quad (13)$$

$$L_{n-1}h_{L,n-1} + V_{n+1}h_{V,n+1} + F_n h_{F,n} - (L_n + L'_n)x_{L,n} - (V_n + V'_n)h_{V,n} - Q_n = 0 \quad (14)$$



Slika 6. Pojna plitica s potrebnim podacima za razvijanje MESH jednadžbi²¹.

Ovaj proračun predstavlja sustav nelinearnih jednadžbi i rješava se iterativno. Za bi mu se pristupilo potrebno je imati informacije o pojenju (protok, sastav i stanje), broj stupnjeva (plitica) u koloni, brojeve pojne i izlaznih plitica plitice te pad tlaka u koloni.

3. MATERIJALI I METODE

Svrha ovog rada jest utvrditi utjecaj upravljačkih veličina na sastave proizvoda DIH kolone iz postrojenja za izomerizaciju Rafinerije nafte Sisak, INA d.d., što bi olakšalo rad na samom postrojenju u slučaju bilo kakvog odstupanja od trenutnog stanja. U tu svrhu izrađena je simulacija stvarne kolone u programu *ChemCAD* koja je zatim služila kao referentna za ostala ispitivanja. Zatim se pristupilo analizi osjetljivosti, tj. ispitivanju ovisnosti zavisnih varijabli o zadanoj promjeni jedne ili više nezavisnih varijabli. Naposljetku su dobiveni parovi vrijednosti protoka bočnog produkta i refluksnog omjera koji rezultiraju optimalnim radom kolone s obzirom na vrijednost oktanskog broja.

3.1. Materijali

Proračuni su temeljeni na podacima dobivenim iz Rafinerije nafte Sisak, INA d.d. U tablici 2 prikazani su radni uvjeti kolone. Sastavi pojenja i bočnog toka dobiveni redovitim analizom tokova tvari oko DIH kolone kao i gustoće komponenti smjese prikazani su u tablici 3. Nakon analize rezultata, model kolone je prilagođavan kako bi se dobili rezultati najbližiji realnom stanju.

Tablica 2. Radni uvjeti kolone.

temperatura pojenja (T_{ulaz})	82 °C
tlak na vršnom izlazu (p_{vrh})	1,26 barg
tlak na dnu (p_{dno})	1,78 barg
volumni protok bočnog izlaza (V'_{bok})	16,777 m ³ /h
volumni protok vršnog izlaza (V'_{vrh})	21,5159 m ³ /h
maseni protok vršnog izlaza (m'_{vrh})	13333 kg/h
volumni protok donjeg izlaza (V'_{dno})	0,8 m ³ /h
maseni protok donjeg izlaza (m'_{dno})	533 kg/h
pad tlaka kroz kolonu (Δp)	0,52 bar
pad tlaka kroz isparivač (Δp_{isp})	0,5 bar

U programskom sustavu *ChemCAD* korišteni su modeli *Shortcut* i *SCDS*. Dobiveni rezultati obrađeni su u programima *Microsoft Excel* i *SigmaPlot 12.0*.

Tablica 3. Sastavi pojne smjese i bočnog proizvoda, te gustoće komponenata smjese.

KOMPONENTA	$w_{pojenje}$, mas%	w_{bok} , mas%	ρ , gL ⁻¹
<i>i</i> -C5	15,419	0,097	621
<i>n</i> -C5	4,934	0,031	616
2,2-DMB	24,466	0,177	649
2,3-DMB	7,577	11,483	662
2-MP	21,893	41,093	660
3-MP	12,434	24,932	660
ciklopentan	1,116	0	750
metilciklopentan	1,528	2,959	660
<i>n</i> -C6	8,032	16,267	779
cikloheksan	2,201	2,816	811
C7+	0,4	0,116	621

3.2. Metode

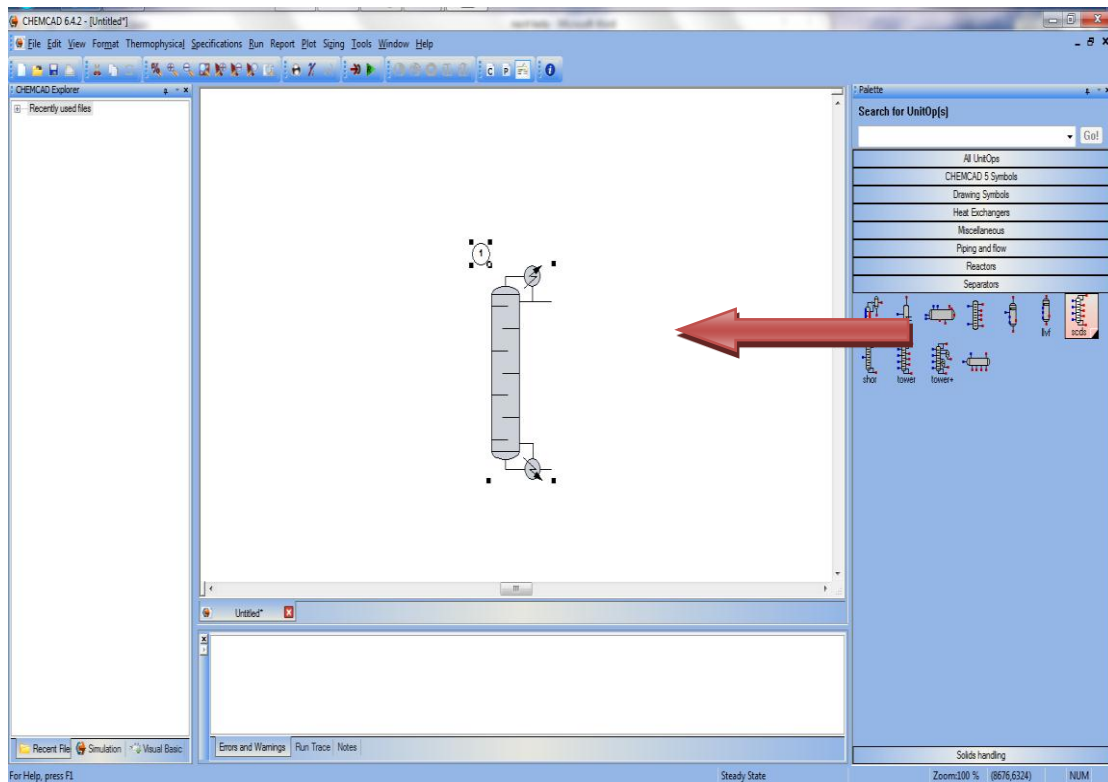
Nakon pregleda literature, prikupljanja i odabira potrebnih podataka, potrebno je izraditi bilancu tvari za promatrani sustav s kojom je moguće simulirati proces. S dobivenom simulacijom koja najbolje odgovara realnoj koloni i provode se analize osjetljivosti. Slijedi određivanje OB-a destilata na osnovi masenih udjela komponenti i IOB-a za pojedinu komponentu.

3.2.1. Simulacija kolone

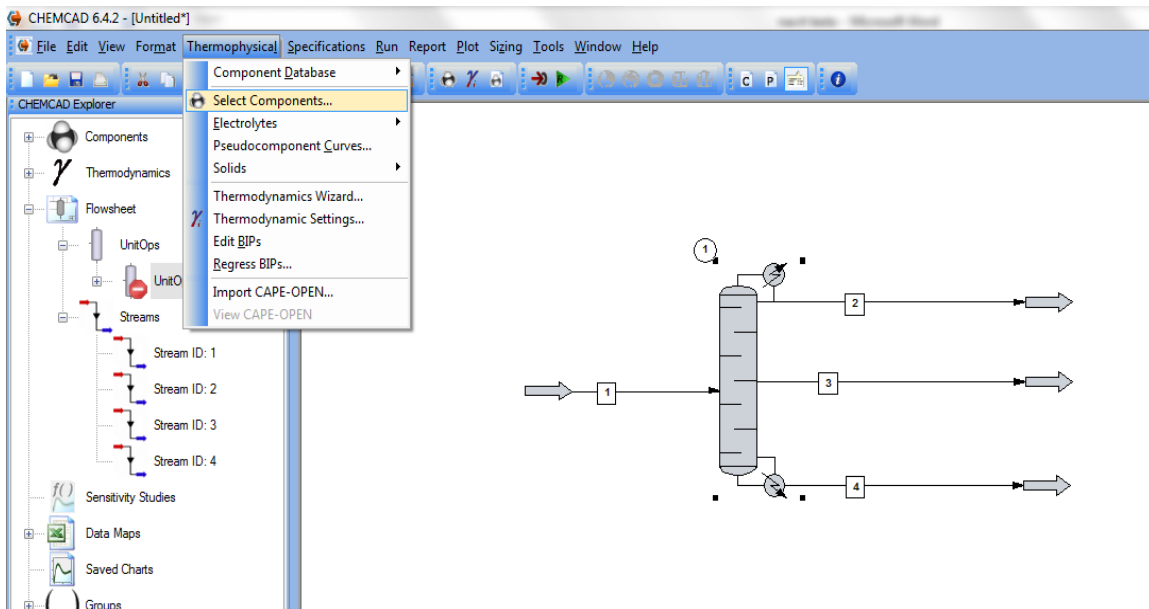
Iz desnog izbornika na korisničkom sučelju programa odabiru se željeni uređaji (kolona, ulazi i izlazi te tokovi tvari) kao što je prikazano na slici 7.

Slike 8 i 9 prikazuju unos komponenata smjese za separaciju. Odabrane komponente su komponente prikazane u tablici 5. Ugljikovodici sa sedam i više ugljikovih atoma u analizama se prikazuju kao jedna vrijednost (C7+). Stoga je u programu ta komponenta aproksimirana s *n*-C7.

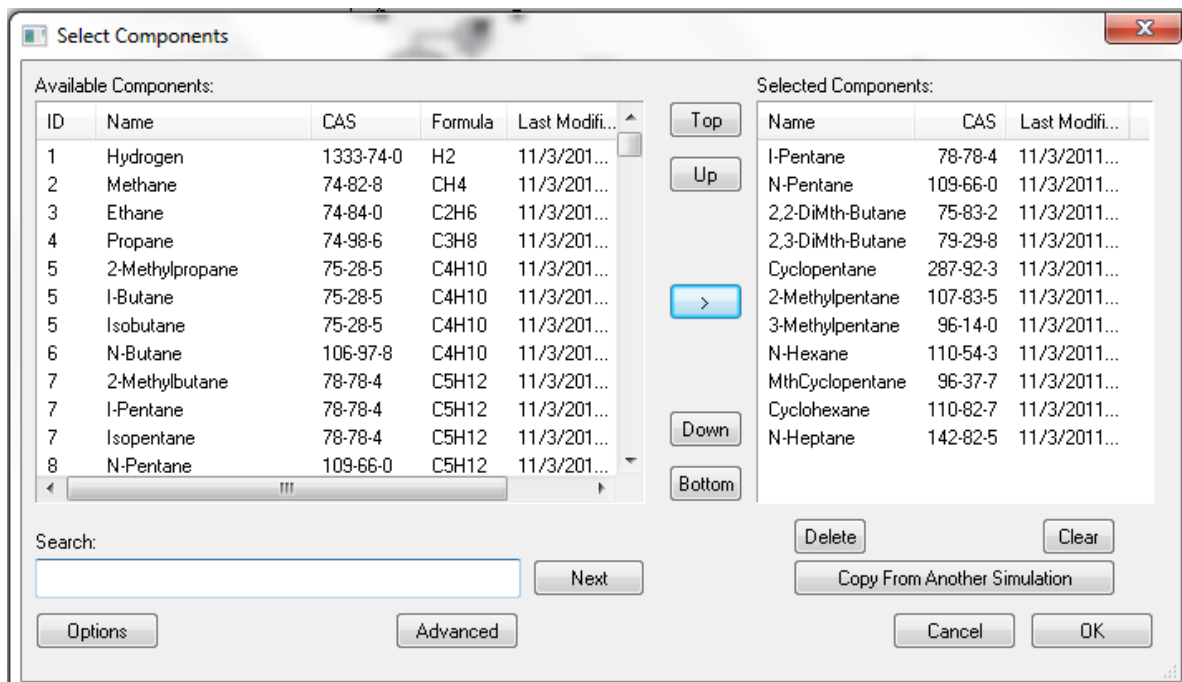
Nakon unosa komponenti program predlaže termodinamičke modele vladanja smjese. U izbornik toka pojne smjese upisuju se poznati podaci za opisivanje smjese kao što je prikazano na slici 10. Upisuju se vrijednosti temperature, tlaka, ukupnog protoka te masenih udjela komponenti. Nakon upisa odabire se funkcija *Flash* za proračun entalpije i udjela pare u smjesi.



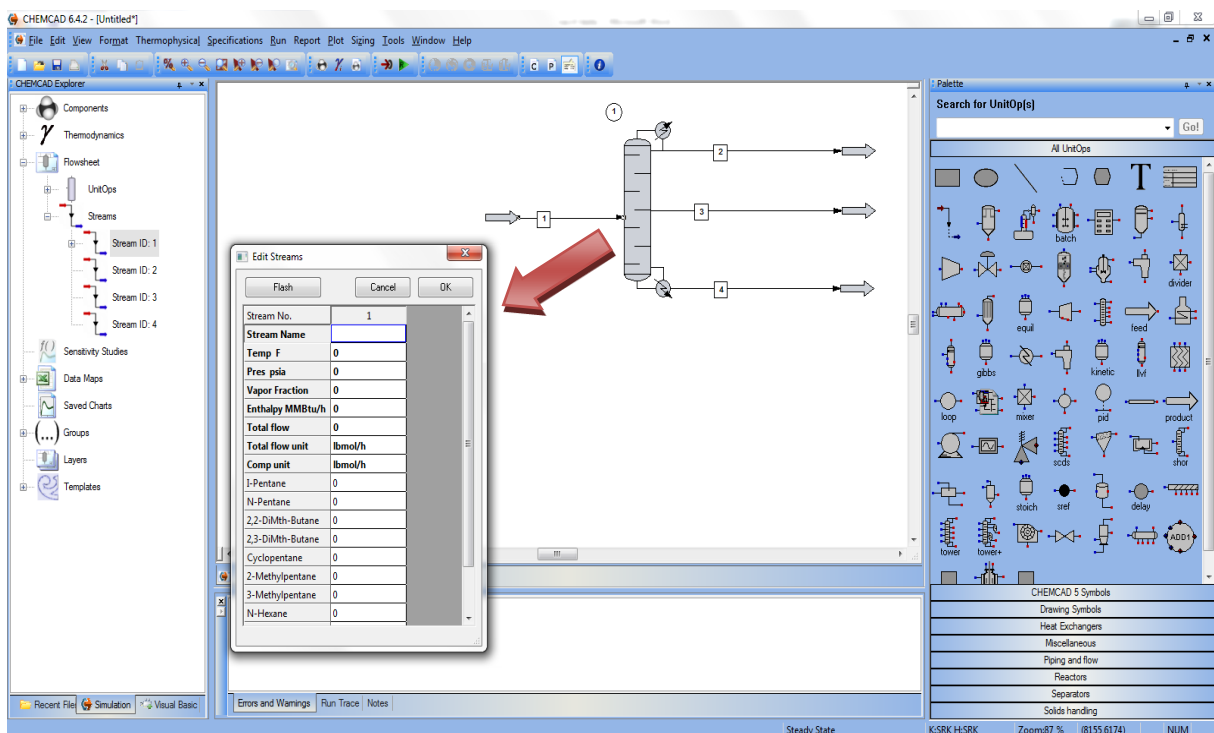
Slika 7. Odabir željenog modela destilacijske kolone.



Slika 8. Odabir funkcijâ *Thermophysical* i *Select Components* za odabir komponenti.

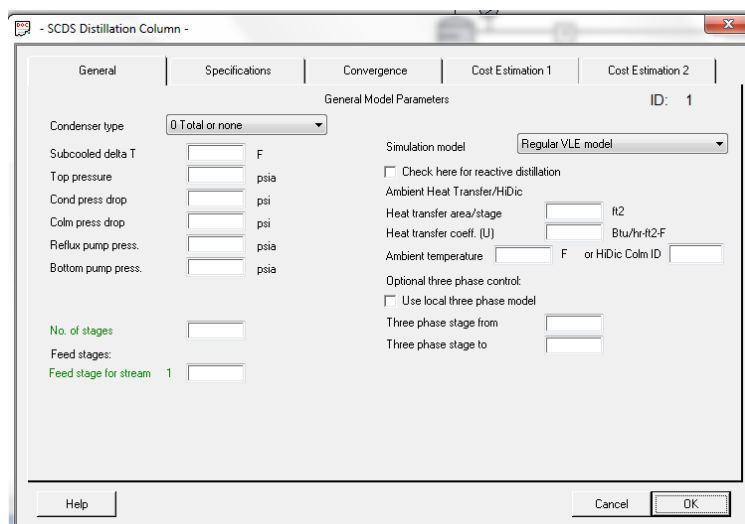


Slika 9. Odabir komponenti.



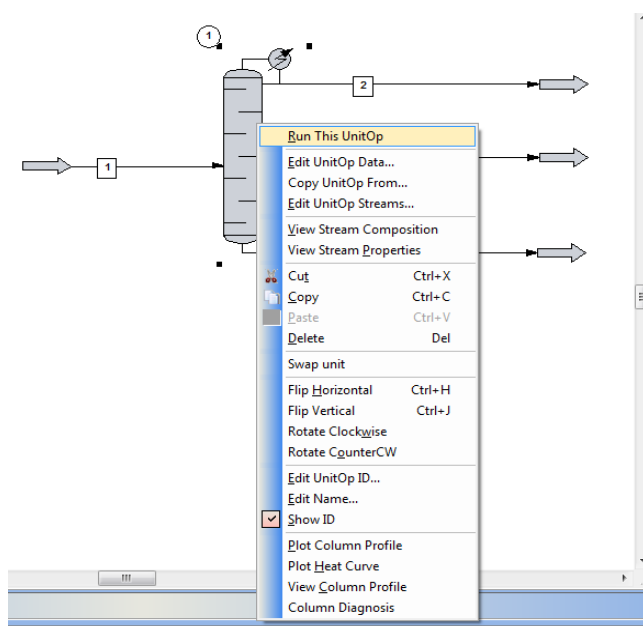
Slika 10. Definiranje pojnja.

Slijedi upisivanje podataka za simulaciju kolone (slika 11). Upisuju se poznate temperature i tlakovi te ukupan broj plitica i broj pojne plitice. U izborniku *Specifications* odabiru se promjenjivi parametri za vršni, bočni i donji produkt kao npr. protok bočnog produkta, omjer V/B (omjer protoka na plitici iznad pojne i protoka donjeg produkta), željena količina pojedinog produkta u pojedinim tokovima, itd.



Slika 11. Izbornik za definiranje SCDS kolone.

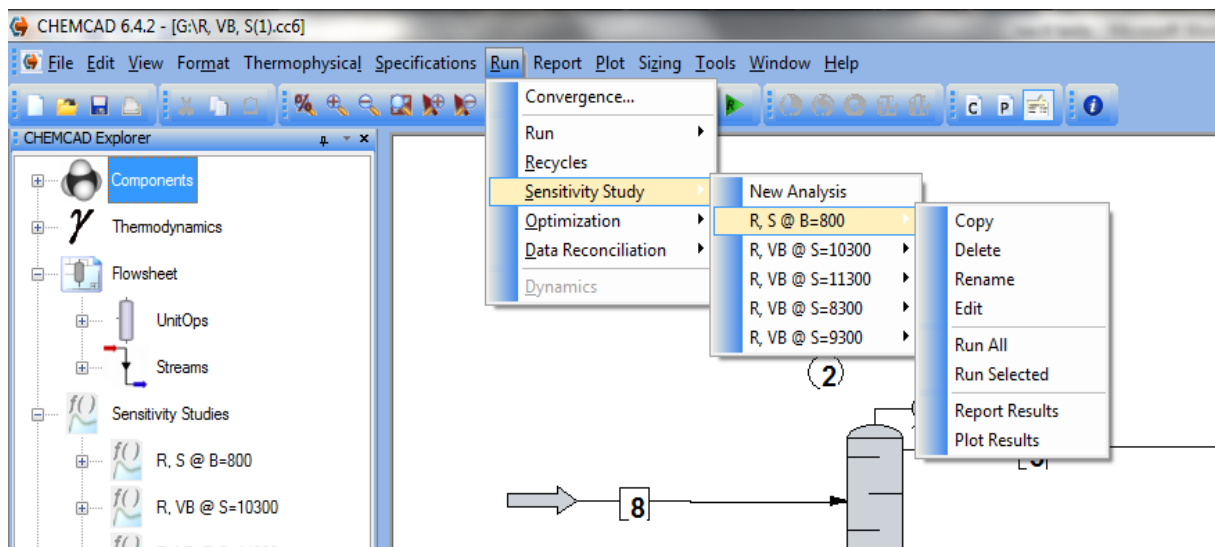
Nakon unošenja potrebnih podataka, pokreće se simulacija odabirom funkcije *Run this UnitOp* (slika 12). Ukoliko se želi istovremeno pokrenuti simulacija više uređaja, odabire se funkcija *Run All* na alatnoj traci. Prije započinjanja proračuna, program obavještava o eventualnim greškama ili upozorava na netočnost podataka. Nakon pokretanja javlja se prozor u kojem se mogu pratiti iteracije proračuna. U slučaju neuspješnog proračuna, program javlja grešku i njen opis, a nakon obavljene simulacije moguće je ispisati rezultate u grafičkom i tabelarnom obliku s jednom od funkcija u izbornicima *Plot* ili *Report*. Dobivene rezultate je također moguće prikazati i u drugim programima, kao npr. *Microsoft Excel*.



Slika 12. Odabir funkcije za pokretanje virtualne simulacije.

3.2.2. Analize osjetljivosti

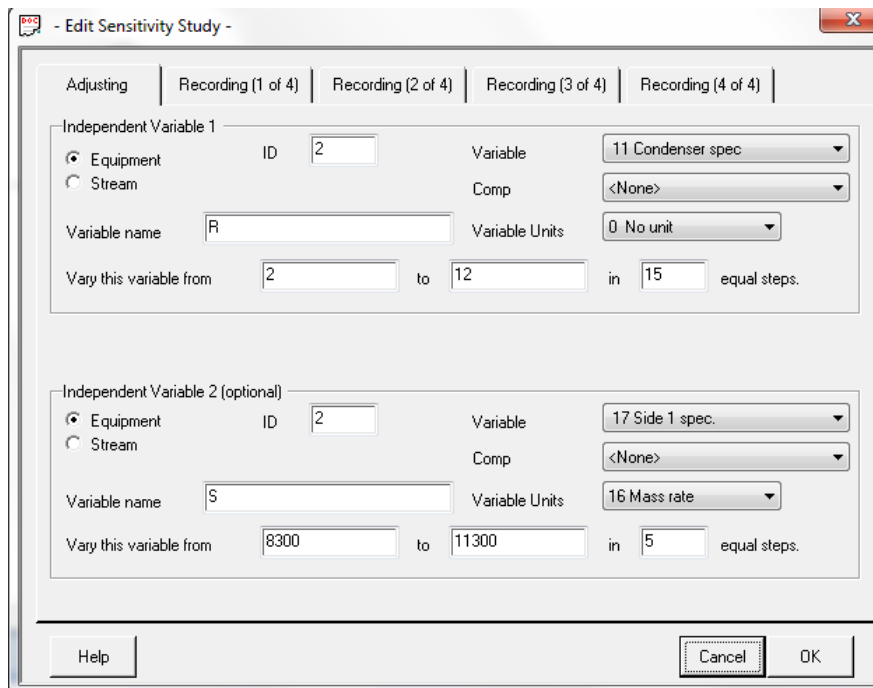
Analiza osjetljivosti (*Sensitivity Study*) je simulacija koja omogućava praćenje ponašanja do 12 zavisnih varijabli (*dependent value*) u ovisnosti o promjeni jedne ili dviju nezavisnih varijabli (*independent value*). Kao što je prikazano na slici 13, u izborniku *Run* moguće je definirati novu ili pokrenuti već postojeću analizu. Također je moguća modifikacija već unijetih analiza.



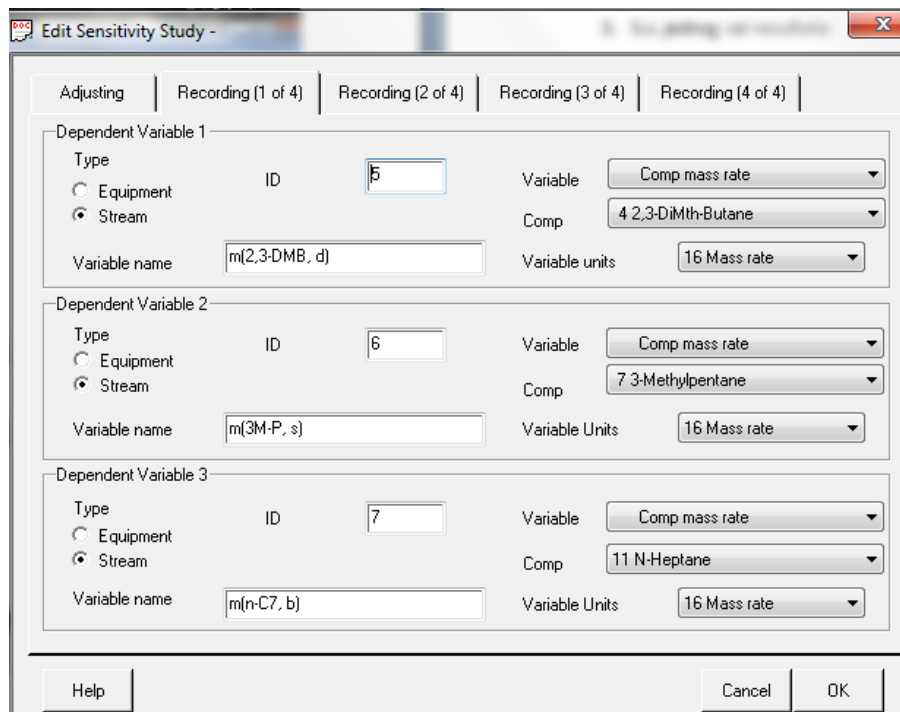
Slika 13. Odabir funkcije analize osjetljivosti.

Nakon odabira funkcije *Sensitivity Study* otvara se prozor prikazan na slici 14. U prvoj kartici *Adjusting* definiraju se nezavisne varijable. Odabire se želi li se ispitivati parametar nekog uređaja (*Equipment*) ili struje (*Stream*) te koje (*ID*). S desne strane se specificira što se točno definira (*Variable*), o kojoj se komponenti radi (*Comp*, u slučaju da se ispituje varijabla vezana uz određenu tvar) te mjerne jedinice ispitivane varijable. Pod *Variable name* se upisuje željeno ime varijable. Također se definira početna i konačna vrijednost variranja te broj željenih vrijednosti između dvije granične na kojima će se utjecaj ispitivati. Ukoliko se zadaje samo jedna nezavisna varijabla, radi se o jednodimenzionalnoj analizi, a ako su u pitanju obje varijable provodi se dvodimenzionalna analiza.

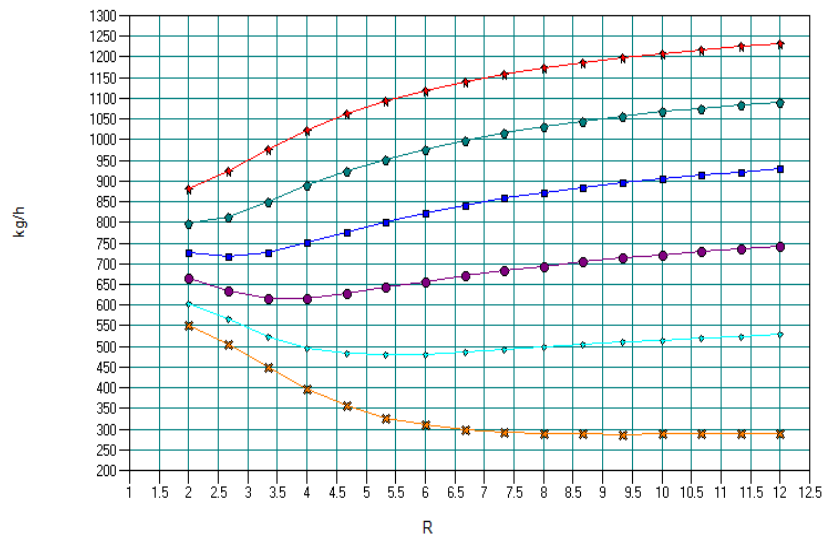
Slično se definiraju i zavisne varijable na jednoj ili više *Recording* kartica. Moguće je istovremeno pratiti više varijabli kao što je prikazano na slici 15. Po završetku zadavanja varijabli i pokretanja analize dobivaju se rezultati. Ukoliko se prati više zavisnih varijabli grafički rezultat se dobiva u obliku familija krivulja kao što je prikazano na slici 16. Uz grafički dobiva se i tabelarni prikaz rezultata.



Slika 14. Definiranje nezavisne varijable.



Slika 15. Definiranje zavisnih varijabli analize osjetljivosti.



Slika 16. Primjer prikaza familije krivulja dobivene analizom osjetljivosti.

4. REZULTATI

Rezultati su podijeljeni u tri dijela:

1. podaci dobiveni simulacijom realne kolone
2. analize osjetljivosti
3. ispitivanje oktanskog broja

Tablice s numeričkim podacima za dobivene rezultate nalaze se u prilogu.

4.1. Rezultati dobiveni simulacijom realne kolone

Uz izračunatu gustoću bočnog proizvoda u iznosu od 647 kg/m^3 dobivena je bilanca tvari prikazana u tablici 4.

Tablica 4. Bilanca tvari tokova oko DIH kolone.

STRUJA	$m \dot{,} \text{ kgh}^{-1}$
pojenje	24720
vršni produkt	13333
bočni produkt	10854
donji produkt	533

Obzirom da se radi o sustavu ugljikovodika, za modeliranje ravnoteže kapljevina – para odabrana je Soave – Redlich – Kwong jednadžba stanja prikazana izrazom 15²².

$$p = \frac{RT}{v - b} - \frac{a\alpha}{v(v + b)} \quad (15)$$

Podaci za pojedine tokove tvari dobiveni simulacijom prikazani su u tablicama 5 i 6. Količina pojedine komponente u toku vrha, boka i dna (tablica 6) izražena je u iscrpku (engl. *recovery*), omjeru masenog protoka te komponente u određenoj struji i protoka u pojenju, kao što je dano u jednadžbi 16. Protoci u pojnoj struji su u kg/h kao što je naznačeno.

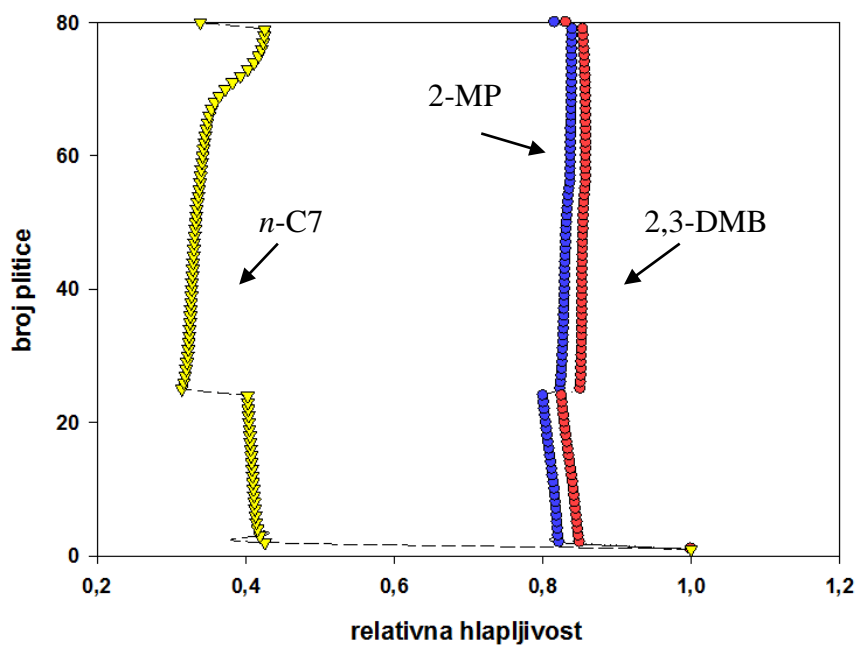
$$r = \frac{\dot{m}_{struja}}{\dot{m}_{pojenje}} \quad (16)$$

Tablica 5. Karakteristike struja oko DIH kolone.

PARAMETAR	STRUJA			
	POJENJE	VRŠNI PROIZVOD	BOČNI PROIZVOD	PROIZVOD DNA
temperatura, °C	82	73	109	125
tlak, barG	14,2	1,76	2,62	2,78
udio pare	0	0	0	0
entalpija, kW	-14608	-7735	-6702	-402
ukupni protok, kg/h	23466	11326	1130	803

Tablica 6. Sastav pojne smjese i iscrpci komponenta u proizvodima DIH kolone.

KOMPONENTA	$m'_{pojenje}$, kg/h	r_{vrh}	r_{bok}	r_{dno}
<i>i</i> -C5	3618,2	1,00	0,00	0,00
<i>n</i> -C5	1157,8	1,00	0,00	0,00
2,2-DMB	5741,1	0,98	0,02	0,00
2,3-DMB	1778,0	0,16	0,83	0,00
ciklopentan	261,9	1,00	0,00	0,00
2-MP	5137,4	0,07	0,92	0,00
3-MP	2917,7	0,02	0,97	0,01
<i>n</i> -C6	1884,8	0,00	0,89	0,11
metilciklopentan	358,6	0,00	0,73	0,26
cikloheksan	516,5	0,00	0,32	0,68
<i>n</i> -C7	94,1	0,00	0,16	0,84

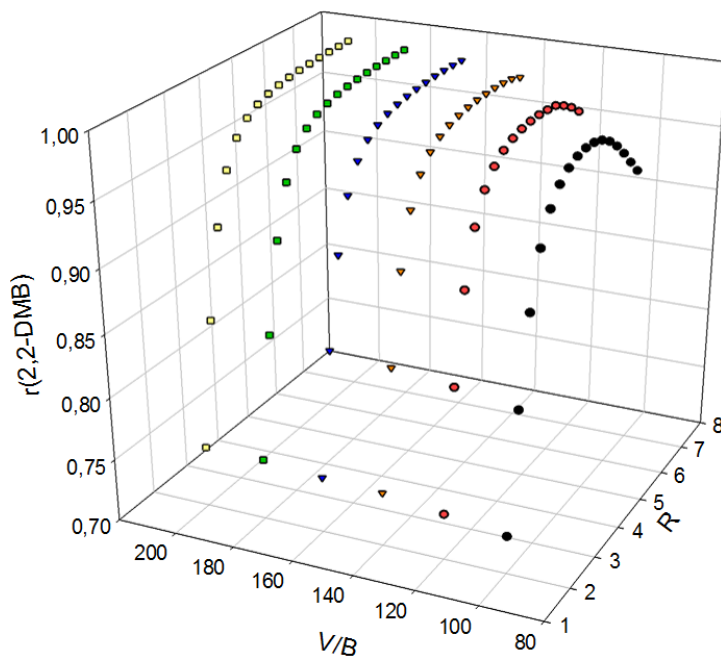


Slika 17. Relativne hlapljivosti komponenta pojne smjese DIH- a odnosu na 2,2-MB.

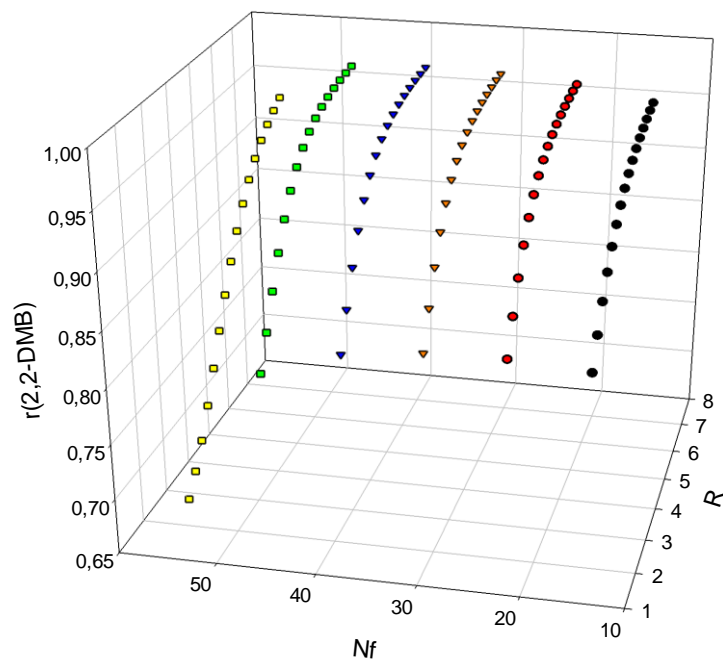
Tablica 7. Rezultati simulacije SCDS kolone.

PARAMETAR	VRIJEDNOST
procijenjeni protok destilata, kmol/h	137
procijenjena temperatura vrha, °C	84
procijenjena temperatura dna, °C	135
izračunata toplinska dužnost kondenzatora, kW	-8128
izračunata toplinska dužnost isparivača, kW	8300
procijenjeni protok ulaza, kmol/h	142
izračunati protok povrata, kmol/h	1003
izračunati refleksni omjer	7

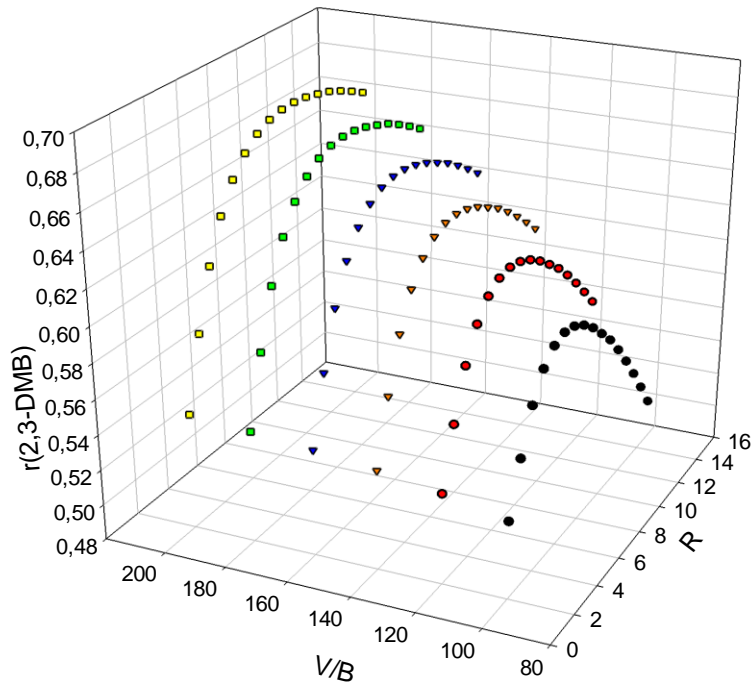
4.2. Rezultati analiza osjetljivosti



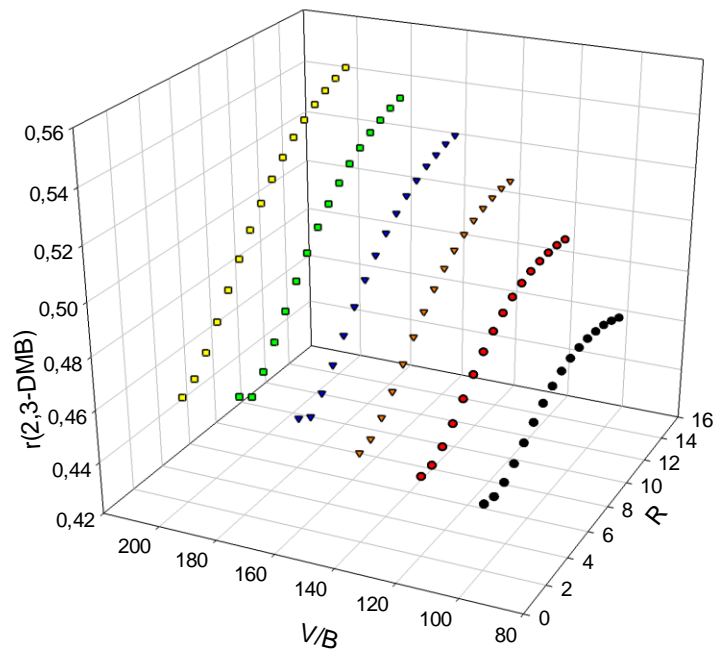
Slika 18. Dobiveni iscrpci 2,2-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za R i V/B te pri protoku bočnog produkta (S) od 11300 kg/h.



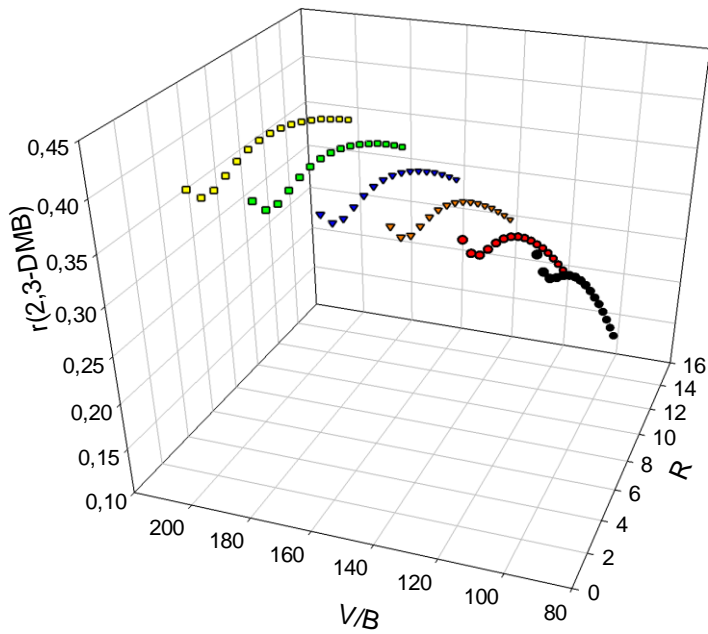
Slika 19. Dobiveni iscrpci 2,2-DMB u vršnom produktu pri različitim N_f i R , $S=11300$ kg/h te $V/B=120$.



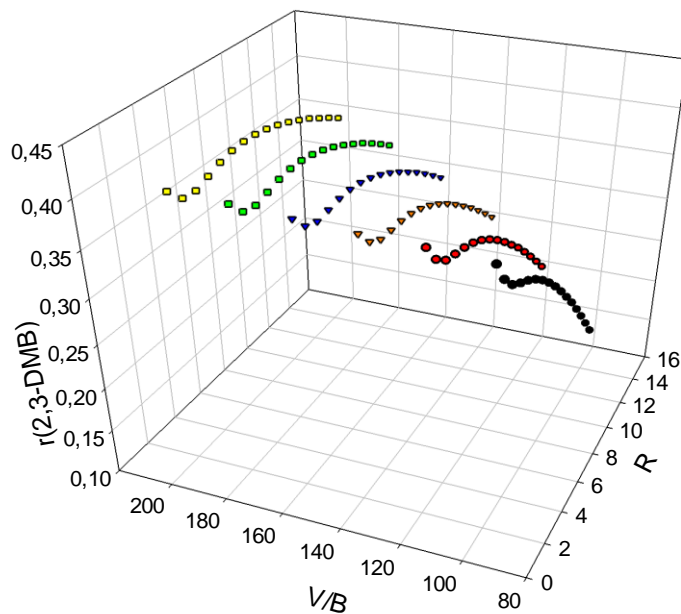
Slika 20. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te $S=8300$ kg/h.



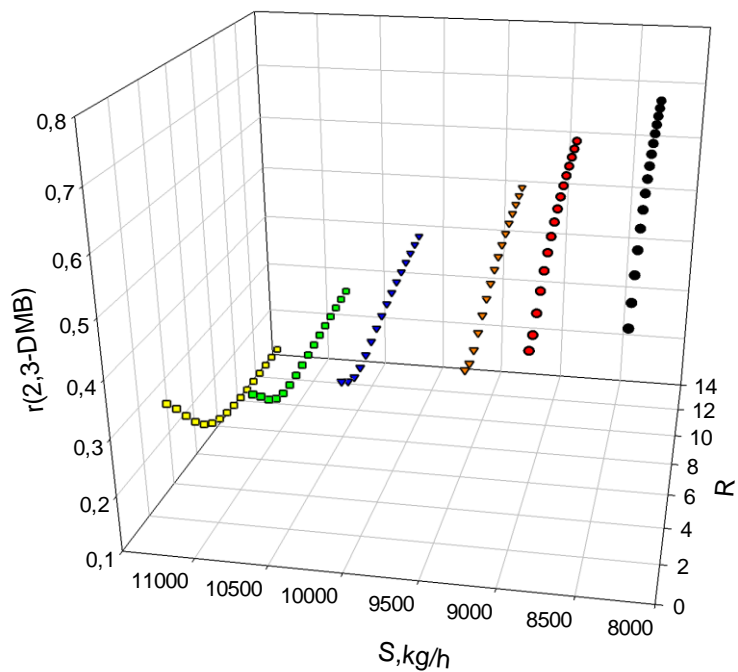
Slika 21. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te $S=9300$ kg/h.



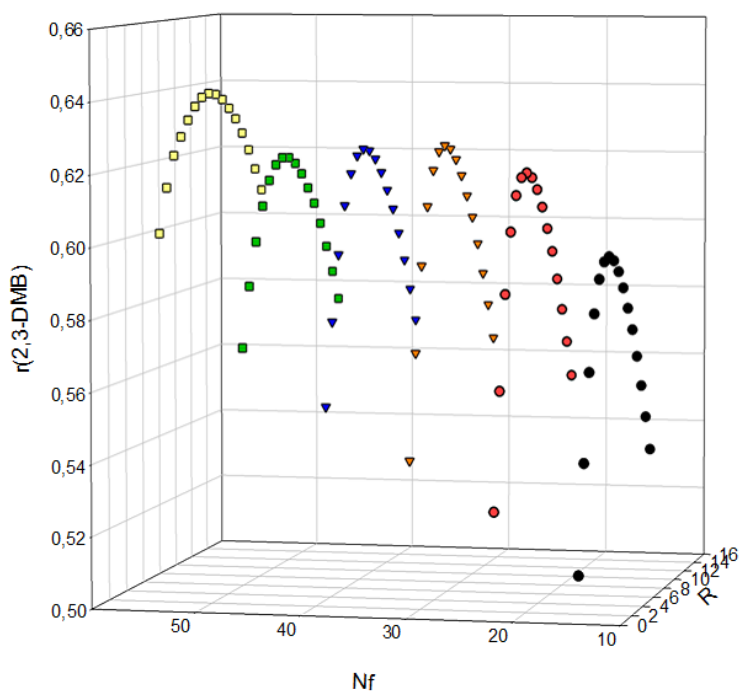
Slika 22. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te $S=10300$ kg/h.



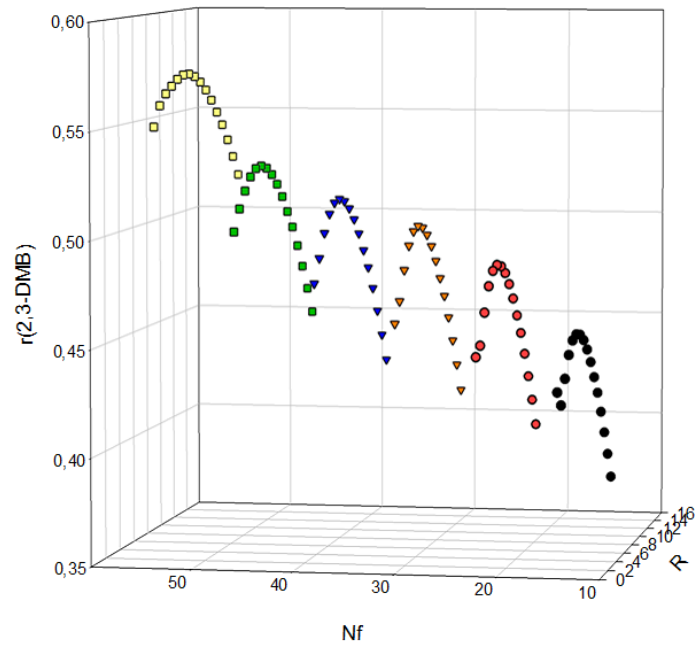
Slika 23. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R $S=11300$ kg/h.



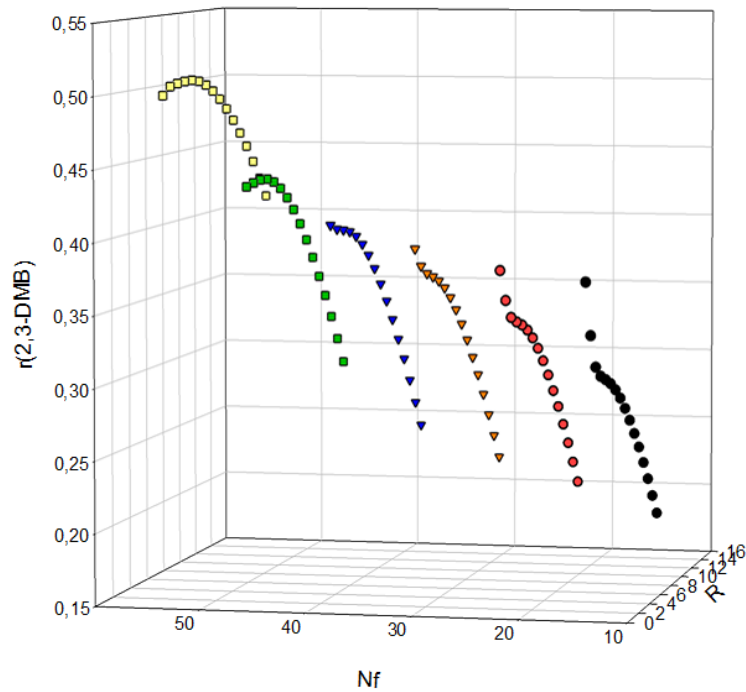
Slika 24. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za S i R pri protoku donjeg produkta (B) od 800 kg/h.



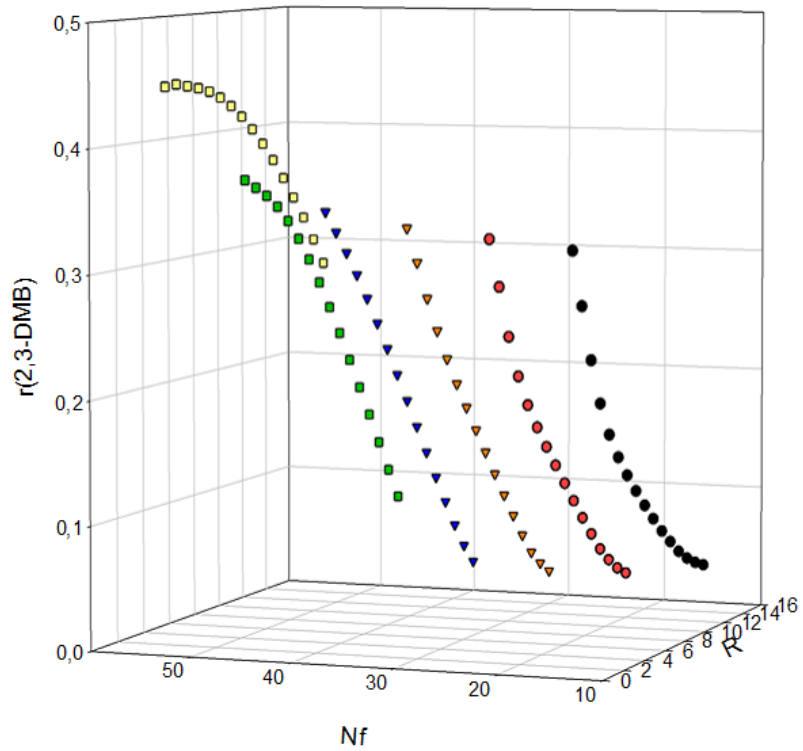
Slika 25. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za pojnu pliticu (N_f) i R , $S=8300$ kg/h te $V/B=120$.



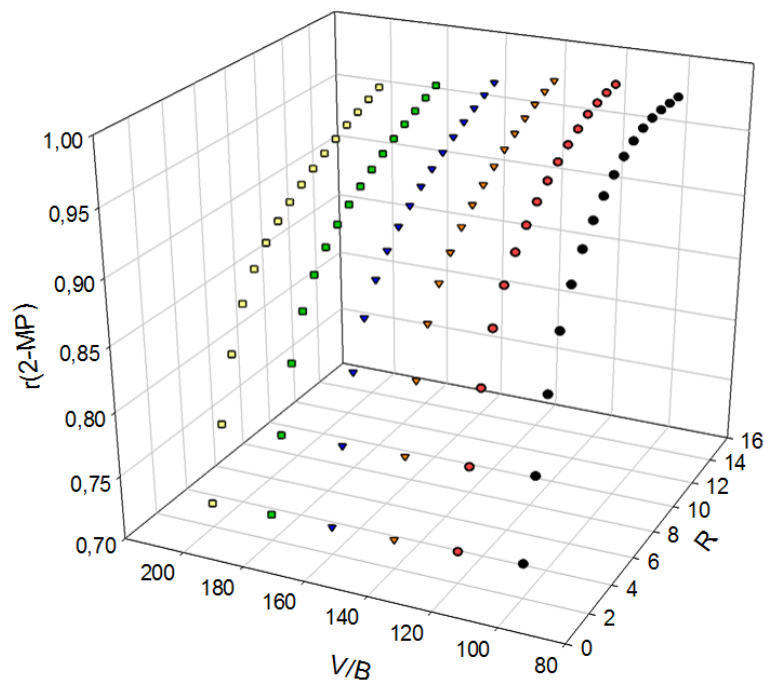
Slika 26. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R , $S=9300$ kg/h te $V/B=120$.



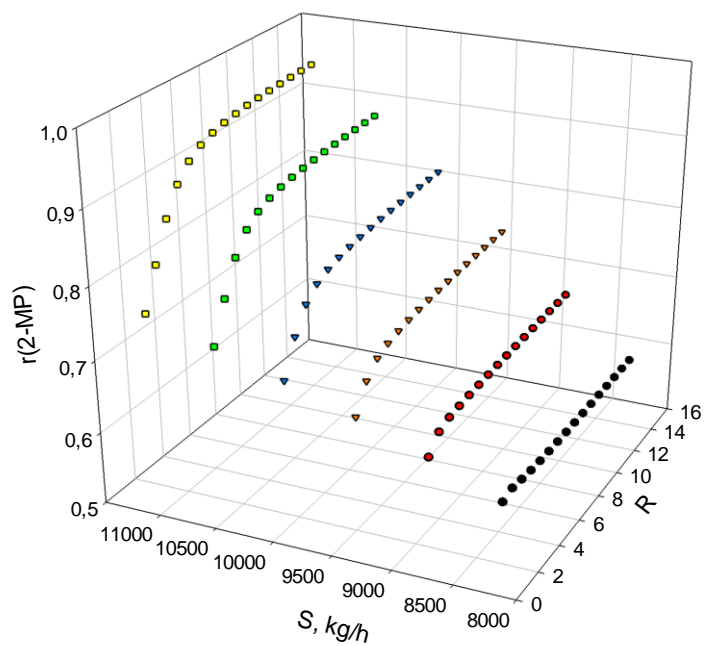
Slika 27. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R , $S=10300$ kg/h te $V/B=120$.



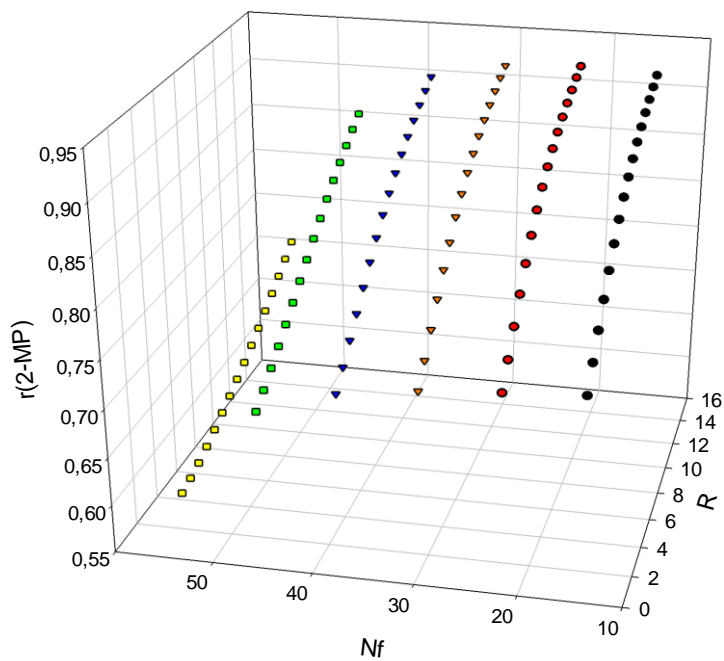
Slika 28. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R , $S=11300$ kg/h te $V/B=120$.



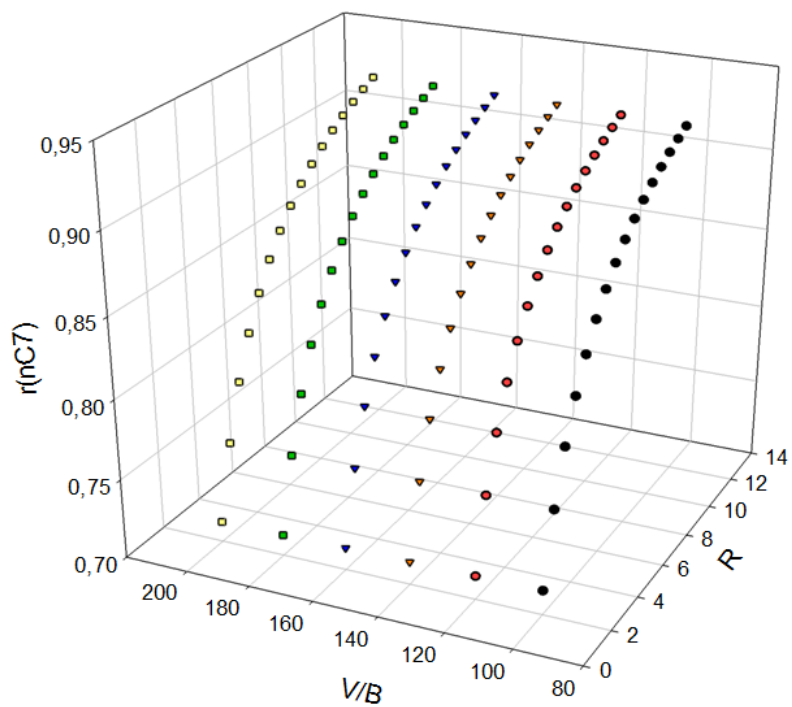
Slika 29. Dobiveni iscrpci 2-MP u bočnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri $S=11300$ kg/h.



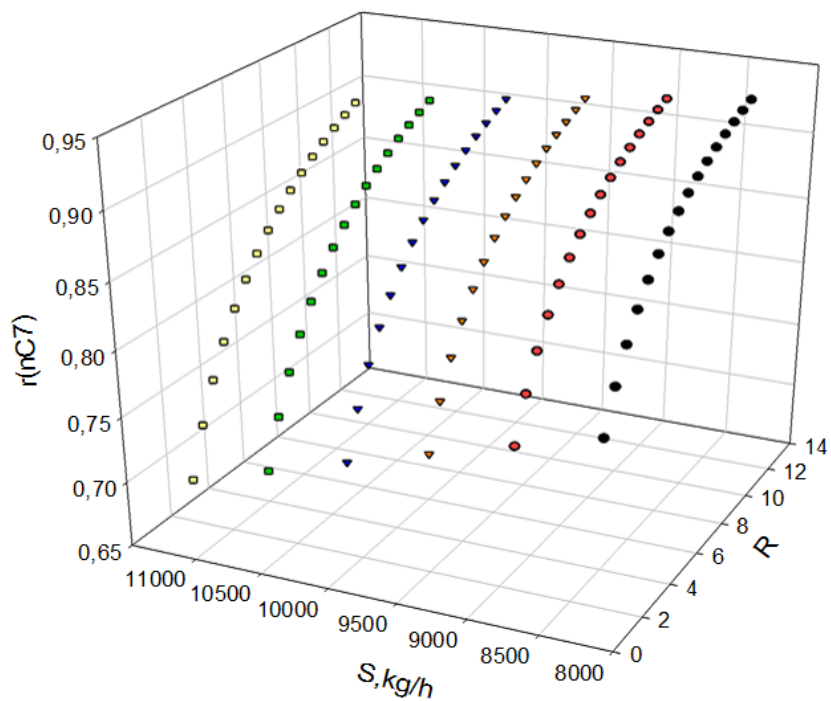
Slika 30. Dobiveni iscrpci 2-MP u bočnom produktu pri različitim vrijednostima za S i R ,
 $B=800$ kg/h.



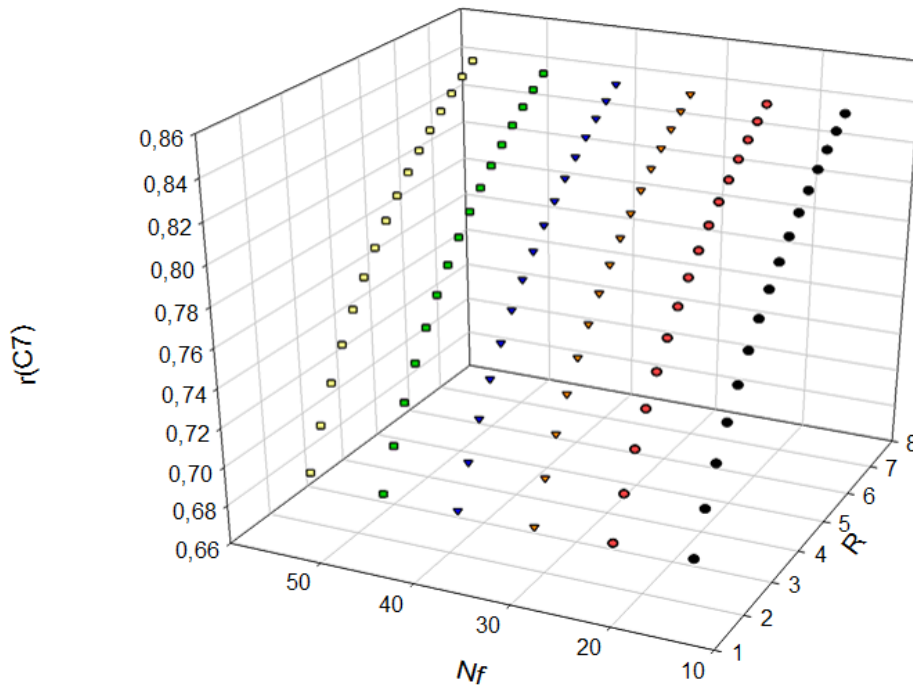
Slika 31. Dobiveni iscrpci 2-MP u bočnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R ,
 $S=11300$ kg/h te $V/B=120$.



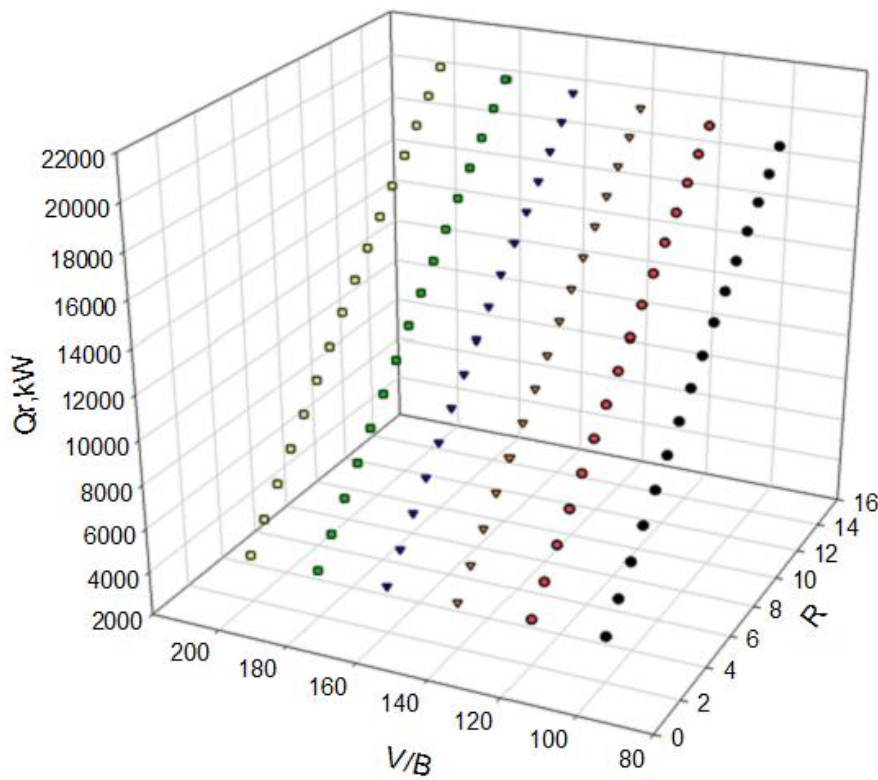
Slika 32. Dobiveni iscrpci n -C7 u donjem produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri $S=11300$ kg/h.



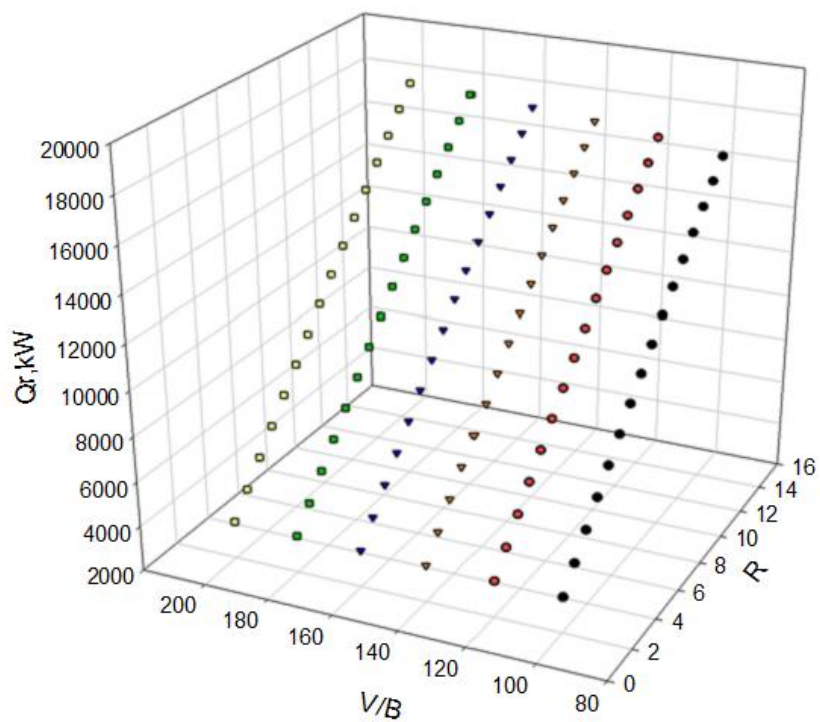
Slika 33. Dobiveni iscrpci n -C7 u donjem produktu pri različitim vrijednostima S i R , $B=800$ kg/h te $V/B=120$.



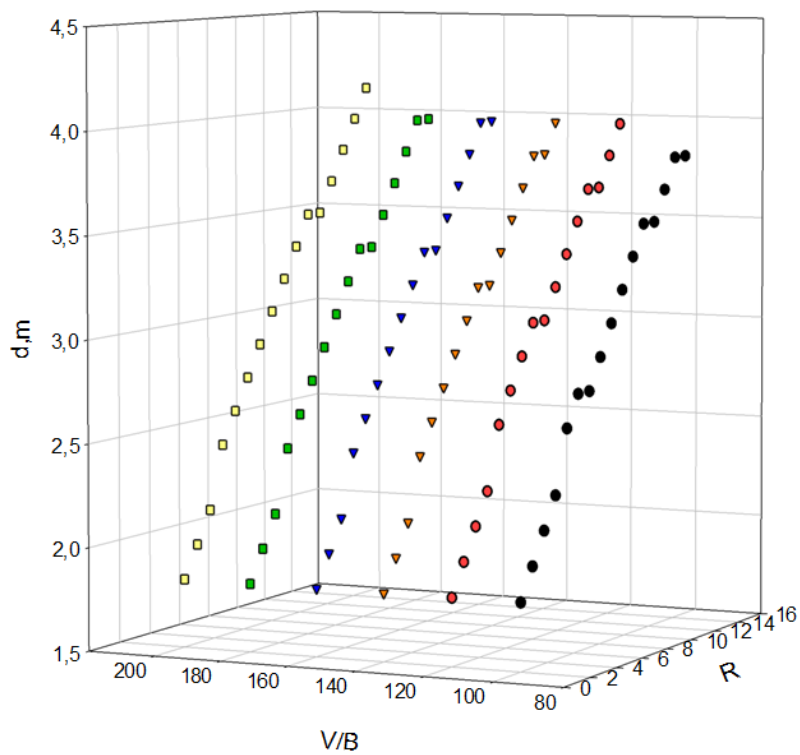
Slika 34. Dobiveni iscrpci n -C7 u donjem produktu pri različitim N_f i R ,
 $S=11300$ kg/h te $V/B=120$.



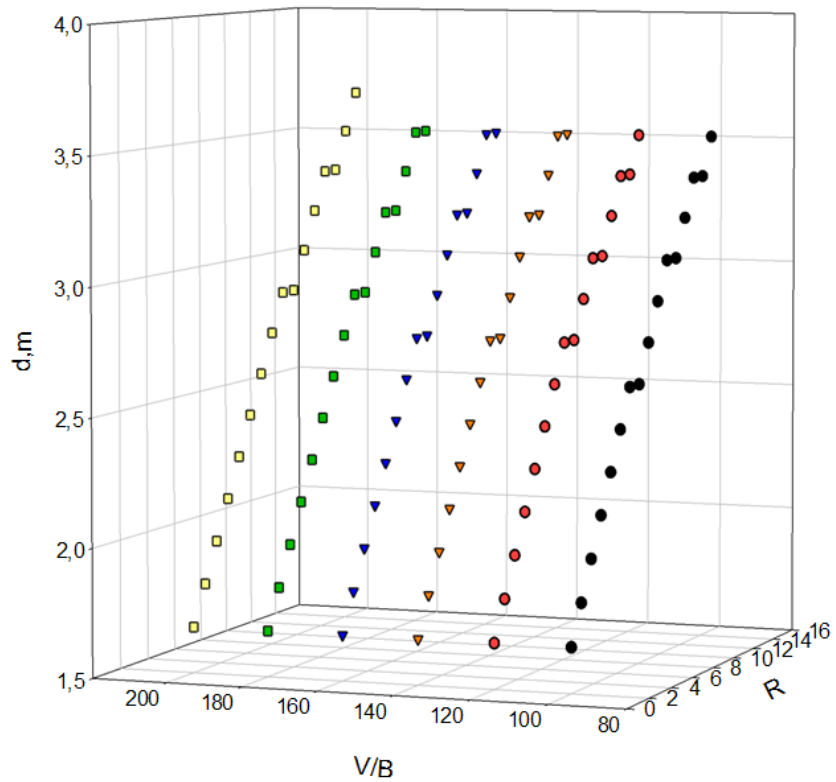
Slika 35. Dobivene toplinske dužnosti rebojlera (Q_r) u kW pri različitim vrijednostima za
 V/B i R te pri $S=8300$ kg/h.



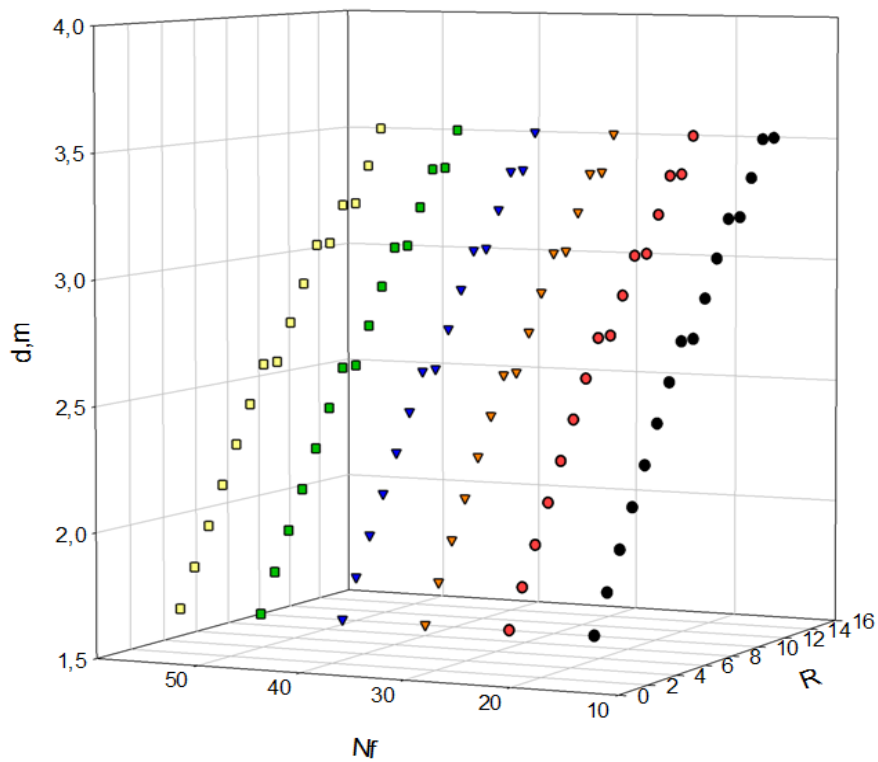
Slika 36. Dobiveni Q_r pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri $S=11300$ kg/h.



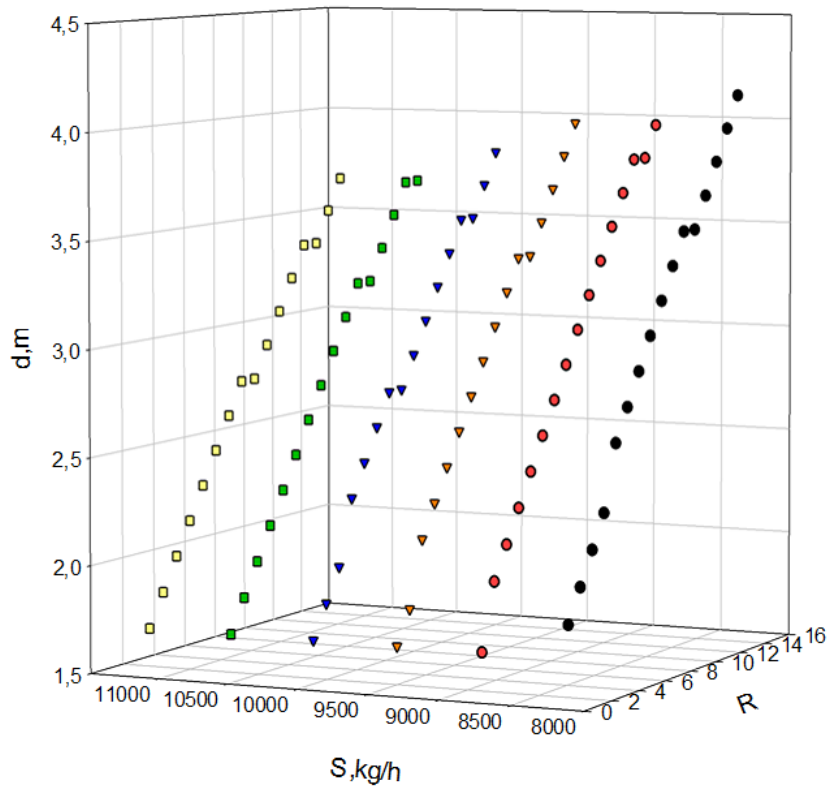
Slika 37. Ovisnost promjera kolone (d) o V/B i R pri $S=8300$ kg/h.



Slika 38. Ovisnost d o V/B i R pri $S=11300$ kg/h.

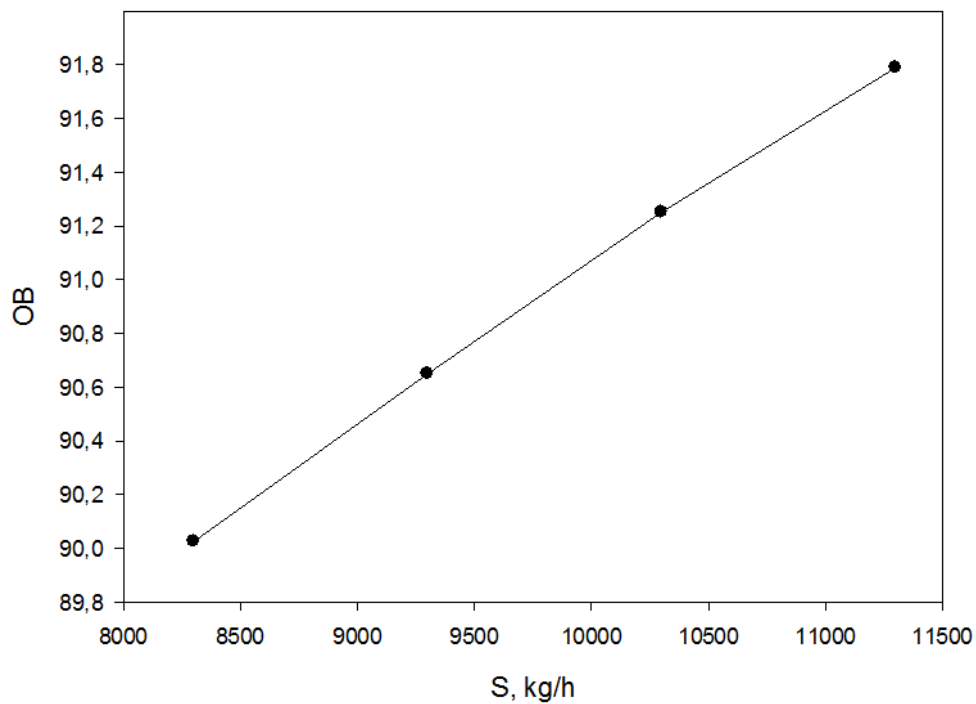


Slika 39. Ovisnost d o N_f i R , $S=11300$ kg/h te $V/B=120$.

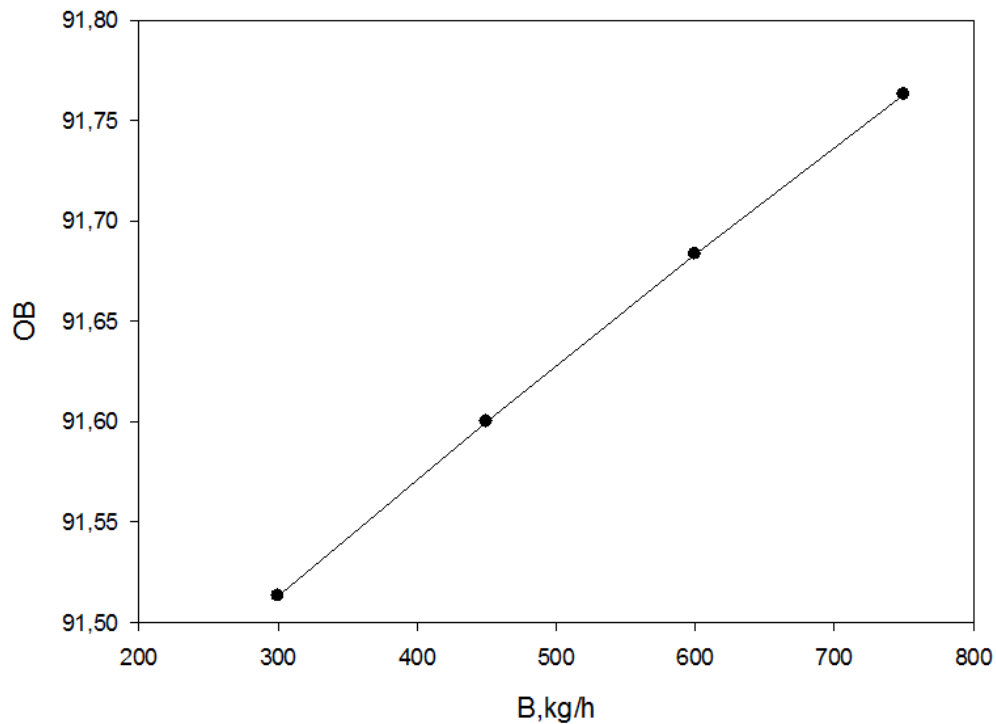


Slika 40. Ovisnost d o S i R pri $B=800$ kg/h.

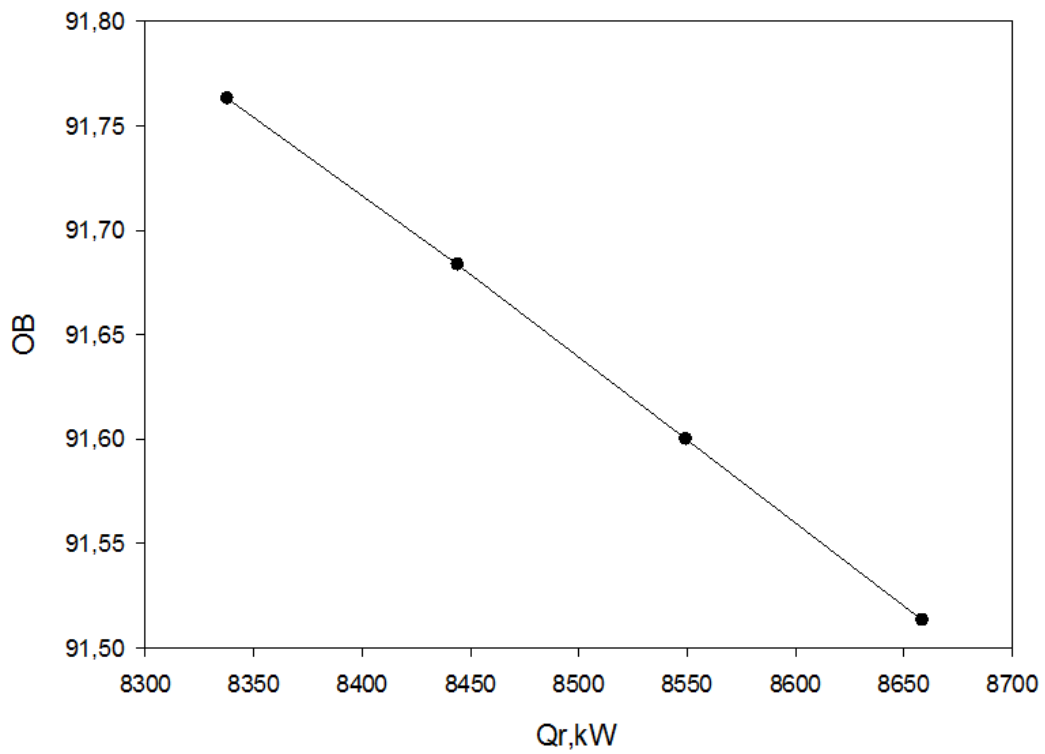
4.3. Rezultati ispitivanja oktanskog broja izomerat – benzina



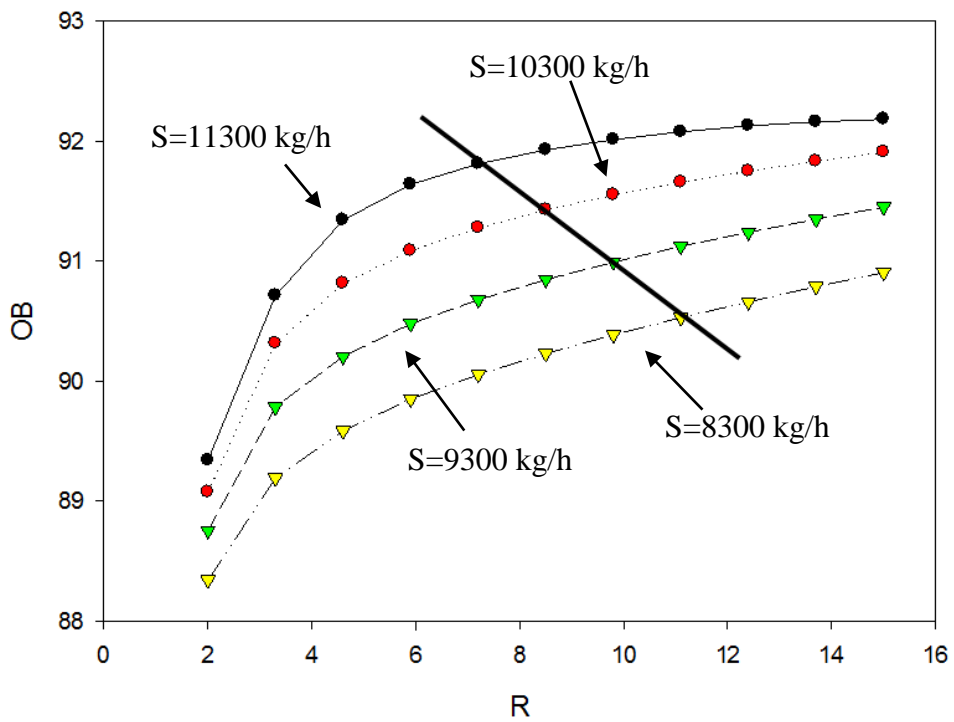
Slika 41. Ovisnost OB-a destilata o protoku bočnog proizvoda pri $V/B=120$ i $R=7$.



Slika 42. Ovisnost OB-a destilata o protoku proizvoda dna pri $S=11300$ kg/h i $R=7$.



Slika 43. Ovisnost OB-a destilata o toplinskoj dužnosti isparivača pri $S=11300$ kg/h i $R=7$.



Slika 44. Ovisnost OB-a o R i S , $V/B=120$ s naznačenim parovima vrijednosti za dobivanje optimalnog OB-a.

5. RASPRAVA

5.1. Simulacija kolone

U tablici 4 vidljiva je bilanca dobivena računski. Provedbom simulacije dobivene su nešto drugačije vrijednosti (tablica 6) što je posljedica dinamičkog modela korištenog u programu. U tablici 5 prikazani su svi uvjeti u strujama oko DIH kolone. Udio pare je u svim tokovima jednak nuli zbog korištenja potpunog kondenzatora, a entalpije su negativne jer je izomerizacija egzoterman proces.

U tablici 6 predstavljeni su sastavi struja oko DIH kolone. Vidljivo je da *i*-C5, *n*-C5, 2,2-DMB i ciklopentan izlaze isključivo na vrhu ($r=1,00$). Nadalje, 2-MP, 3-MP, *n*-C6 i metilciklopentan su u velikoj većini produkti bočnog izlaza (r od 0,73 do 0,97), dok su *n*-C7 i cikloheksan glavni produkti dna kolone ($r=0,68$, odnosno $r=0,84$). Zbog male razlike u hlapljivosti između butanskih izomera heksana i 2-MP prikazane na slici 17, 2,3-DMB se raspodjeljuje između destilata i bočnog proizvoda kolone, iako je poželjan što veći njegov iscrpak u vršnom produktu. Naime, 2,3-DMB je izomer koji ne može dodatno izomerizirati i ima relativno visok IOB. Za ostru separaciju 2,3-DMB i 2-MP, odnosno da se dobije vršni produkt od isključivo butanskih, a bočni proizvod od isključivo pentanskih izomera heksana, potreban je $N_{min}=316$ prema Fenskeovoj jednadžbi. Budući da u praksi vrijedi pravilo o omjeru stvarnog i minimalnog broja plitica između 2 i 2,5, za ovu separaciju bilo bi potrebno više od 600 plitica, što u praksi nije izvedivo. Stoga se dopušta raspodjela 2,3-DMB između destilata i bočnog proizvoda u omjeru koji bitno ne narušava OB destilata.

U tablici 7 prikazani su rezultati simulacije koja odgovara realnoj koloni u procesu izomerizacije.

5.2 Analize osjetljivosti

Na slici 18 grafički su prikazani iscrpaci 2,2-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima omjera V/B i refluksnog omjera (R) te bočnom protoku od 11300 kg/. Iz njih je vidljivo da se povećanjem vrijednosti V/B iscrpak ovog izomera približava vrijednosti od 1, tj. 100% (sav 2,2-DMB iz pojenja odlazi u vršni produkt). Pri nižim vrijednostima za V/B (od 140 i niže) vidljiv je maksimum pri srednjim vrijednostima refluksnog omjera (za R od 5,33

do 6). Razlog tome je što manja vrijednost V/B znači manju prisutnost pare u koloni. Ukoliko povećavamo povratak vršnog produkta u kolonu, uslijed tog nedostatka pare, iscrpak 2,2-DMB je u vrhu manji, a za očekivati je njegov izlazak u bočnom produktu.

Ovisnost iscrpka 2,2-DMB o poziciji pojne plitice (N_f) i R prikazana je slikom 19. Rezultati su dobiveni analizom osjetljivosti na protoku bočnog produkta od 11300 kg/h i konstantnoj vrijednosti V/B od 120. Primjećuje se konstantan rast iscrpka s povećanjem refluksnog omjera (što je veći povrat na vrhu kolone, separacija je bolja). Iscrpak je najbolji na srednjim vrijednostima broja pojne plitice jer pri tim vrijednostima ostaje dovoljno ravnotežnih stupnjeva iznad pojenja za separaciju (veća je sekcija rektifikacije) te ne dolazi do raspodjele ovog izomera između vršnog i bočnog izlaza kolone.

2,3-DMB je komponenta pojenja koja se raspodjeljuje između vršnog i bočnog produkta. Na slici 20 vidljiv je grafički prikaz njegovog iscrpka u vršnom produktu u ovisnosti o V/B i R pri manjem bočnom protoku ($S=8300$ kg/h). Iscrpci imaju maksimume na srednjim vrijednostima refluksnog omjera, a ti su maksimumi to viši što je omjer V/B veći (u koloni ima dovoljno pare za dobru separaciju). Bolji se iscrpak ne može dobiti zbog premalog broja ravnotežnih stupnjeva (za njega potrebna kolona opisana u tablici 8). Na slici 21 vidljivi su iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri protoku bočnog produkta od 9300 kg/h. Ponovno boljem iscrpku odgovaraju veće vrijednosti V/B , ali su očekivani maksimumi krivulja niži. To je stoga što veći protok bočnog proizvoda znači veći iscrpak 2,3-DMB u bočnom, a manji u vršnom proizvodu zbog raspodjele tog izomera između dva toka. Pri nižim vrijednostima refluksnog omjera vidljivo je formiranje minimuma koji je izraženiji pri višim protocima bočnog produkta (slike 22 i 23). Do toga dolazi jer je pri konstantnom refluksnom omjeru te konstantnim protocima destilata i proizvoda dna kolone, količina pare u koloni to manja što je veći protok bočnog proizvoda. To dovodi do pada iscrpka 2,3-DMB u destilatu jer postojeća količina pare nije dovoljna da prenese 2,3-DMB do vršnog proizvoda. Teoretski, kolona može raditi i na refluksnim omjerima manjima od onih koji rezultiraju minimumom iscrpka, ali separacija tada ne bi bila dobra jer bi se u destilatu povećao udio 2-MP što se može vidjeti i na padu vrijednosti OB-a čije su ovisnosti prikazane u rezultatima, a bit će objašnjene u kasnijoj raspravi. Pri radu na refluksnim omjerima većima od onih koji rezultiraju minimumom, kao i pri drugim protocima proizvoda pri kojima se ne javljaju slični minimumi iscrpaka, u koloni se nalazi dovoljno pare za bolju separaciju, odnosno veći iscrpak 2,3-DMB u destilatu.

Slika 24 prikazuje iscrpke 2,3-DMB u vršnom produktu za različite vrijednosti bočnog protoka i refluksnog omjera. Rezultati su dobiveni analizom osjetljivosti pri konstantnom protoku donjeg proizvoda ($B=800$ kg/h). Vidljiv je rast maksimuma iscrpka u vršnom

proizvodu smanjenjem protoka bočnog proizvoda budući da time raste i ukupan protok vršnog proizvoda. Iscrpak raste i s povećanjem refluksnog omjera, budući da je separacija bolja što je refluksni omjer veći (veća se količina tvari vraća u kolonu na vrhu). I u ovoj se ovisnosti javljaju karakteristični minimumi iscrpaka čiji su razlozi opisani ranije.

Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnog produktu pri različitim vrijednostima za broj pojne plitice i refluksnog omjera prikazani su slikom 25. Analiza je rađena pri konstantnom protoku bočnog proizvoda od 8300 kg/h te omjeru V/B od 120. Na grafičkom prikazu vidljivi su maksimumi iscrpaka pri srednjoj vrijednosti za R koji rastu s brojem pojne plitice. Razlog tomu je povećanje sekcije rektifikacije u kojem se događa separacija. Pri nižim vrijednostima refluksnog omjera separacija nije dovoljna, a pri višim vrijednostima kapljevina se u većoj mjeri nalazi u sekciji stripiranja, pa 2,3-DMB izlazi u bočnom proizvodu. Iscrpki 2,3-DMB pri protoku bočnog proizvoda od 9300 kg/h te omjerom V/B od 120 prikazani su slikom 26. Ponovno su vidljivi maksimumi iscrpka koji rastu s porastom broja pojne plitice, ali se nalaze na nižim vrijednostima refluksnog omjera.

Na temelju rezultata prikazanih na slikama 25, 26, 27 i 28 može se zaključiti da se povećanjem protoka bočnog proizvoda dobivaju maksimumi iscrpaka 2,3-DMB pri nižim vrijednostima refluksnog omjera te da su ti maksimumi s porastom protoka sve niži zbog opadanja ukupnog protoka vršnog proizvoda.

Na slici 29 prikazana je grafička ovisnost iscrpaka 2-MP u bočnom proizvodu u ovisnosti o V/B i R pri protoku bočnog proizvoda od 11300 kg/h. Vidljivo je da većem iscrpku doprinose veći refluksni omjer i niži omjer V/B . Iako se veći iscrpak dobiva na vrijednosti za omjer V/B od 100, proces se provodi pri $V/B=120$ jer se već tada iscrpak 2-MP prelazi zadovoljavajućih 95%. Na slici 30 prikazana je ovisnost iscrpka 2-MP o protoku bočnog proizvoda i refluksnog omjera uz $B=800$ kg/h i $V/B=120$. Iscrpak očekivano raste s porastom vrijednosti obje varijable iz ranije opisanih razloga.

Ovisnost iscrpka 2-MP u bočnom proizvodu o broju pojne plitice i refluksnom omjeru uz $S=11300$ kg/h i $V/B=120$ prikazan je slikom 31. Vidljiv je rast vrijednosti iscrpka s porastom vrijednosti refluksnog omjera. Maksimum iscrpka se dobiva ukoliko pojenje ulazi u kolonu na 23. plitici. Ako pojenje ulazi bliže vrhu, 2-MP izlazi s vršnim proizvodom, a ukoliko je pojna plitica na nižim stupnjevima, smanjuje se sekcija stripiranja, pa ne dolazi do potpunog razdvajanja.

Iz slike 32 (ovisnost iscrpka $n-C7$ u produktu dna o omjeru V/B i refluksnom omjeru) vidi se da smanjenje vrijednosti V/B povećava iscrpak $n-C7$ budući da time dolazi do povećanja protoka proizvoda dna kolone. Također se vidi da maksimalnom iscrpku pogoduju

viši refleksni omjeri. Na slici 33 prikazano je opadanje iscrpka $n\text{-C7}$ sa smanjenjem protoka donjeg produkta kolone uz konstantan V/B od 120 jer time dolazi do razdvajanja $n\text{-C7}$ na bočni i donji proizvod. Iz grafičkog prikaza na slici 34 vidljivo je da pozicija pojne plitice nema značajnog utjecaja na iscrpak $n\text{-C7}$ u donjem produktu.

Na slici 35 prikazane su toplinske dužnosti isparivača o omjeru V/B i R uz konstantan protok bočnog proizvoda od 8300 kg/h. Vidljivo je kako toplinska dužnost raste s porastom obje nezavisne vrijednosti budući da je za dobivanje veće količine pare potrebno uložiti više energije. Također, s porastom refleksnog omjera proces postaje energetski intenzivniji jer se povećava količine smjese koju treba separirati. Na slici 36 prikazana je ista ovisnost, ali pri većem protoku bočnog proizvoda ($S=11300$ kg/h). Ponašanje toplinskih dužnosti je jednako onome pri nižem protoku, ali su dosegnuti maksimumi u prikazanom intervalu niži jer je količina kapljevine u dnu kolone manja.

Slika 37 prikazuje ovisnost promjera kolone (d) o omjeru V/B i R pri konstantnom protoku bočnog proizvoda od 8300 kg/h. Vidljiv je rast promjera za željenu separaciju s povećanjem vrijednosti za V/B i R što je rezultat hidrodinamičkih uvjeta u koloni. Na grafu su vidljivi parovi vrijednosti promjera kolone (dvije iste vrijednosti promjera za dvije uzastopne kombinacije nezavisnih varijabli). Do njih dolazi jer se pri dimenzioniranju kolone promjeri uzimaju kao diskretne, a ne kontinuirane varijable (simulacija koristi standardizirane promjere plašta). Isti trend je vidljiv pri većem protoku ($S=11300$ kg/h na slici 38), ali su postignuti maksimumi u zadanom intervalu niži. Razlog tomu je što veći protok bočnog proizvoda znači manji protok kapljevine na dnu kolone, pa je i količina pare niža za isti V/B omjer, odnosno potreban promjer kolone je manji. Na slici 39 prikazana je ovisnost promjera kolone o broju pojne plitice i refleksnog omjera uz $S=11300$ kg/h i $V/B=120$. Može se zaključiti da promjer raste s povećanjem obje nezavisne varijable. Ovisnost promjera kolone o bočnom protoku i refleksnom omjeru prikazana je na slici 40 uz $B=800$ kg/h i $V/B=120$. Vidljiv je porast veličine promjera s povećanjem refleksnog omjera i opadanjem protoka iz već opisanih razloga.

5.3 Oktanski broj

Na slici 41 prikazana je grafička ovisnost OB -a destilata o protoku bočnog proizvoda pri $V/B=120$ i $R=7$, dok slika 42 prikazuje ovisnost OB -a destilata o protoku proizvoda dna pri $S=11300$ kg/h i $R=7$. Vidljiv je rast vrijednosti OB -a s povećanjem ovih dvaju protoka jer

dolazi do *izlaza* komponenti s manjim OB-om u bočnom, odnosno donjem proizvodu pri čemu *vrijedniji* spojevi čine sve veći udio u destilatu.

Ovisnost OB-a destilata o toplinskoj dužnosti isparivača (slika 43) pokazuje smanjenje oktanskog broja s povećanjem toplinske dužnosti pri konstantnom $S=11300$ kg/h i $R=7$. Razlog tomu je porast protoka pare iz isparivača s povećanjem toplinske dužnosti pri čemu se udio težih komponenti (komponenti s manjim OB-om) u destilatu počinje povećavati.

Na slici 44 prikazana je ovisnost OB-a destilata o R pri različitim protocima bočnog proizvoda, a konstantnom $V/B=120$. Pri manjim vrijednostima refluksnog omjera dolazi do ubrzanog rasta vrijednosti OB-a koja se ustaljuje pri većim vrijednostima jer se postiže maksimalni iscrpak 2,3-DMB u destilatu s obzirom na broj ravnotežnih stupnjeva. Ova analiza pokazuje da je moguće uz postojeću opremu postići i veći oktanski broj izomerat – benzina (iako je njegova propisana vrijednost između 88 i 90). Linijom su naznačeni maksimalni ostvarivi oktanski brojevi za različite protoke bočnog proizvoda uvjetovani promjerom postojeće kolone i njenom unutarnjom opremom. Daljnjim povećanjem refluksnog omjera uz konstantni V/B opterećenje parom je preveliko i dolazi do plavljenja kolone. Prema slici 44 vidljivo je da se maksimalni OB ostvaruje pri postojećim uvjetima te da daljnje njegovo povećanje nije moguće samo promjenom radnih uvjeta kolone već je potrebna izmjena unutarnje opreme ili gradnja veće kolone.

6. ZAKLJUČCI

U programu *ChemCAD* uspješno je napravljen proračun deizoheksanizer kolone s postrojenja izomerizacije Rafinerije nafte Sisak. Većinski udio u destilatu čine *i*-C5, *n*-C5, 2,2-DMB i ciklopentan, u bočnom proizvodu pentanski izomeri heksana (2-MP i 3-MP) te *n*-C6, a u proizvodu dna cikloheksan i *n*-C7. Iz toga proizlazi da za promatran sastav pojenja bočni proizvod kolone nije potrebno vraćati u deizopentanizer kolonu čime se postiže njeno rasterećenje.

Provedene su analize osjetljivosti i doneseni sljedeći zaključci. Povećanju iscrpaka 2,2-DMB i 2,3-DMB pogoduju veći omjer V/B i niža pojna plitica. Povećanje refluksnog omjera u početku donosi povećanje iscrpaka spomenutih komponenata ali kasnije dolazi do njihovog smanjenja jer se povećava iscrpak u bočnom proizvodu.

Smanjenju iscrpka 2-MP u destilatu, odnosno njegovom povećanju u protoku bočnog proizvoda, pogoduju niži omjeri V/B, viši refluksni omjeri, veći protoci bočnog proizvoda te pojna plitica između 20. i 30. stupnja.

Iscrpak *n*-C7 kao ključne komponente proizvoda dna je veći pri nižim vrijednostima omjera V/B, višim refluksnim omjerima te nižem protoku bočnog proizvoda, dok pozicija pojne plitice nema značajnog utjecaja.

Sukladno promjenama iscrpaka ključnih komponenata utvrđeno je da oktanski broj destilata raste s porastom refluksnog omjera te porastom protoka bočnog i donjeg proizvoda kolone, a opada s povećanjem toplinske dužnosti isparivača. Maksimalna ostvariva vrijednost oktanskog broja, uzevši u obzir maksimalni hidraulički kapacitet kolone, iznosi 91,8, a ostvaruje se pri $V/B=120$, $S=11300$ kg/h i $R=7,2$. Daljnje povećanje oktanskog broja moglo bi se ostvariti samo uz promjenu unutanje opreme ili izgradnjom veće kolone.

7. POPIS LITERATURE

1. K. Sertić Bionda, *Procesi prerade nafte*, skripta, Zagreb 2006.
2. I. Lukec, K. Sertić Bionda, D. Lukec, *Modeliranje procesa izomerizacije u svrhu poboljšanja kakvoće motornih benzina*, Goriva i maziva, Zagreb, 2003.
3. Ž. Dobovišek, N. Samec, F. Kakalj, *Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i kvaliteta goriva*, Goriva i maziva, Zagreb, 2003.
4. Z. Janović, *Naftni i petrokemijski procesi i proizvodi*, Sveučilište u Zagrebu, 2005.
5. S. Raseev, *Thermal and catalytic processes in petroleum refining*, Marcel Dekker Inc., New York, 2003.
6. A. T. Balaban, *Topological indices based on topological distances in molecular graphs*, Pure and Appl. Chem., Velika Britanija, 1983.
7. S. Triwahyono, A. A. Jalil, H. Hamdan, *Isomerisation of cyclohexane to methylcyclopentane over $Pt/SO_4^{2-}/ZrO_2$ catalyst*, The institution of engineers, Malezija, 2006.
8. UOP, *Postrojenje izomerizacije za INA Rafineriju nafte Sisak – PENEKS proces, jedan prolaz vodika*, opća radna uputstva, 1997
9. UOP, *Postrojenje izomerizacije za INA Rafineriju nafte Sisak – Deizopentanizer*, opća radna uputstva, 1997
10. S. Zrnčević, *Kataliza i katalizatori*, HINUS, Zagreb, 2005.
11. UOP, *Postrojenje izomerizacije za INA Rafineriju nafte Sisak – Deizoheksanizer*, opća radna uputstva, 1997
12. E. Beer, *Destilacija*, HDKI, Zagreb 2006.
13. W. L. Luyben, *Distillation design and control using ASPEN simulation*, John Wiley & Sons, New Jersey, SAD, 2006.
14. K. Sattler, H. J. Feindt, *Thermal separation processes – Principles and design*, VCH, Weinheim, Njemačka, 1995.
15. J. D. Seader, E. J. Henley, *Separation process principles*, Wiley, SAD, 2006.
16. C. J. Geankoplis, *Transport processes and unit operations*, Prentice Hall Professional Technical Reference, 2003.
17. H. Z. Kister, *Distillation design*, McGraw – Hill Inc., SAD, 1992.
18. E. Beer, *Priručnik za dimenzioniranje uređaja kemijske procesne industrije*, HDKI, Zagreb, 1994.
19. Chemstations Inc., *CHEMCAD Version 6 – User guide*, SAD, 2007.

20. I. Dejanović, *Razvoj metode dimenzioniranja kolona s razdjelnom stijenkom*, disertacija, Zagreb, 2010.
21. F. Šef, Ž. Olujić, *Projektiranje procesnih postrojenja*, SKTH, Zagreb, 1988.
22. N. Kumor, *Compressibility factors for natural and sour reservoir gases by correlations and cubic equations of state*, diplomski rad, University of Texas, SAD, 2004.

8. SAŽETAK

Analiza utjecaja radnih uvjeta deizoheksanizera postrojenja izomerizacije Rafinerije nafte Sisak na oktanski broj izomerat – benzina

Nikolina Milovac, Ozren Grozdanić

Deizoheksanizer je kolona za rektifikaciju koja se nalazi nakon reakcijske sekcije u postrojenju za izomerizaciju. Svrha te kolone je izdvajanje *butanskih* izomera heksana (2,2-dimetilbutan i 2,3-dimetilbutan) koji imaju dovoljno velik oktanski broj te se mogu izravno koristiti u namješavanju benzina. Bočni proizvod kolone koji uglavnom sadrži *pentanske* izomere heksana (2-metilpentan i 3-metilpentan) vraća se preko deizopentanizer kolone u reakcijsku sekciju kako bi se njihovom daljnjom izomerizacijom dobili proizvodi većeg oktanskog broja. Dno kolone koje uglavnom sadrži ravnolančane C6 i C7 spojeve vraća se izravno u reakcijsku sekciju. S obzirom na bliske relativne hlapljivosti 2,3-dimetilbutana (2,3-DMB) i 2-metilpentana (2-MP), dopušta se da se 2,3-DMB distribuira između destilata i bočnog proizvoda.

Cilj ovog rada je bio razviti model deizoheksanizera koristeći programski sustav *ChemCAD* na temelju prikupljenih podataka iz Rafinerije nafte Sisak, te utvrditi mogućnost povećanja iscrpka 2,3-DMB u vršnom proizvodu promjenom radnih uvjeta kolone bez povećanja udjela 2-MP koji snizuje oktanski broj izomerat – benzina.

Pronađeni su radni uvjeti koji daju maksimalni oktanski broj uz uvažavanje hidrauličkih ograničenja destilacijske kolone. Dobivene analize osjetljivosti su pokazatelj kako radni uvjeti utječu na oktanski broj te mogu poslužiti kao osnova za unaprijeđnje sustava za vođenje.

Ključne riječi: izomerizacija, destilacija, analiza osjetljivosti, povećanje oktanskog broja

9. SUMMARY

Analysis of deisohexaniser column operating conditions influence on octane number of isomerate gasoline in isomerisation plant of Sisak oil refinery

Nikolina Milovac, Ozren Grozdanić

Deisohexaniser is a rectification column used for separation of isomerisation reactors' products. It separates *butane* isomers of hexane (2,2-dimethyl butane i 2,3-dimethyl butane) from *pentane* isomers (2-methyl pentane i 3-methyl pentane) and heavier components. Distillate contains mostly *butane* isomers and has high enough octane number to be used directly for gasoline blending. Side product contains mostly *pentane* isomers and is recycled to deisopentaniser column and then to isomerisation reactors to increase its octane number through further isomerisation. Bottom product, containing mostly heavier compounds (C6 and C7), is recycled directly into isomerisation reactors. Due to close relative volatilities of 2,3-dimethyl butane (2,3-DMB) and 2-methyl pentane (2-MP), 2,3-DMB is allowed to be distributed between distillate and side product.

The purpose of this work was to develop the model of deisohexaniser column using *ChemCAD* process simulation software based on real process data from Sisak Refinery and to determine the possibility of increasing 2,3-DMB recovery in distillate by changing the operating conditions without increasing amount of 2-MP to the level that would significantly lower the octane number.

Operating conditions that yield maximal octane number were found, taking in consideration hydraulic capacity of existing column. Sensitivity study results are a useful indicator on how the operating conditions influence octane number and can serve as basis for control system improvement.

Keywords: isomerisation, distillation, sensitivity study, increasing octane number

PRILOZI

Tablica P1. Dobiveni iscrpci 2,2-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za R i V/B te pri bočnom protoku od 11300 kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,730	0,737	0,743	0,744	0,749	0,748	r(2,2-DMB)
	2,33	0,822	0,829	0,835	0,839	0,842	0,844	
	2,67	0,888	0,896	0,902	0,906	0,909	0,911	
	3	0,929	0,936	0,941	0,944	0,947	0,949	
	3,33	0,952	0,958	0,962	0,965	0,966	0,968	
	3,67	0,964	0,970	0,973	0,975	0,977	0,978	
	4	0,971	0,976	0,979	0,981	0,983	0,984	
	4,33	0,974	0,980	0,983	0,985	0,986	0,987	
	4,67	0,975	0,982	0,986	0,987	0,989	0,989	
	5	0,974	0,983	0,987	0,989	0,990	0,991	
	5,33	0,971	0,983	0,988	0,990	0,991	0,992	
	5,67	0,965	0,982	0,988	0,990	0,992	0,993	
	6	0,957	0,981	0,988	0,991	0,992	0,993	
	6,33	0,947	0,976	0,987	0,991	0,992	0,993	
	6,67	0,935	0,971	0,986	0,991	0,993	0,994	
7	0,923	0,963	0,983	0,990	0,992	0,994		

Tablica P2. Dobiveni iscrpci 2,2-DMB u vršnom produktu pri različitim brojevima pojne plitice (N_f) i R te pri protoku bočnog produkta od 11300 kg/h.

		N_f						
		15	23	31	39	47	55	
R	2	0,826	0,831	0,829	0,822	0,798	0,676	r(2,2-DMB)
	2,33	0,850	0,859	0,860	0,853	0,827	0,693	
	2,67	0,870	0,884	0,888	0,882	0,855	0,712	
	3	0,888	0,905	0,910	0,906	0,881	0,737	
	3,33	0,902	0,921	0,928	0,925	0,904	0,763	
	3,67	0,914	0,934	0,941	0,940	0,922	0,790	
	4	0,923	0,943	0,951	0,951	0,936	0,816	
	4,33	0,931	0,950	0,958	0,958	0,946	0,839	
	4,67	0,937	0,956	0,963	0,964	0,954	0,860	
	5	0,942	0,959	0,966	0,968	0,960	0,878	
	5,33	0,946	0,962	0,969	0,971	0,964	0,894	
	5,67	0,949	0,965	0,971	0,972	0,967	0,907	
	6	0,952	0,966	0,972	0,974	0,969	0,917	
	6,33	0,954	0,967	0,973	0,975	0,971	0,926	
	6,67	0,956	0,968	0,974	0,975	0,972	0,933	
7	0,957	0,969	0,974	0,975	0,972	0,939		

Tablica P3. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri protoku bočnog produkta od 8300 kg/h.

		V/B						r(2,3-DMB)
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,524	0,531	0,536	0,540	0,543	0,545	
	2,87	0,552	0,563	0,571	0,577	0,581	0,585	
	3,73	0,575	0,589	0,599	0,607	0,613	0,617	
	4,6	0,589	0,606	0,618	0,627	0,634	0,640	
	5,47	0,596	0,616	0,630	0,640	0,648	0,655	
	6,33	0,597	0,620	0,636	0,648	0,657	0,665	
	7,2	0,596	0,621	0,639	0,653	0,663	0,671	
	8,07	0,591	0,619	0,639	0,654	0,666	0,675	
	8,93	0,584	0,616	0,638	0,654	0,666	0,676	
	9,8	0,576	0,610	0,634	0,652	0,666	0,676	
	10,67	0,567	0,603	0,630	0,649	0,664	0,675	
	11,53	0,556	0,596	0,625	0,645	0,661	0,673	
	12,4	0,544	0,588	0,618	0,641	0,658	0,671	
	13,27	0,531	0,578	0,611	0,635	0,653	0,668	
	14,13	0,517	0,568	0,603	0,629	0,648	0,664	
15	0,502	0,557	0,595	0,622	0,643	0,659		

Tablica P4. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri protoku bočnog produkta od 9300 kg/h.

		V/B						r(2,3-DMB)
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,445	0,450	0,454	0,462	0,466	0,461	
	2,87	0,444	0,451	0,455	0,459	0,462	0,464	
	3,73	0,445	0,453	0,460	0,464	0,468	0,471	
	4,6	0,448	0,458	0,466	0,471	0,476	0,479	
	5,47	0,452	0,464	0,472	0,479	0,484	0,488	
	6,33	0,456	0,469	0,479	0,486	0,492	0,497	
	7,2	0,459	0,474	0,485	0,493	0,500	0,504	
	8,07	0,462	0,479	0,491	0,499	0,506	0,512	
	8,93	0,464	0,482	0,495	0,505	0,512	0,518	
	9,8	0,466	0,485	0,499	0,509	0,517	0,523	
	10,67	0,466	0,487	0,502	0,513	0,522	0,528	
	11,53	0,466	0,489	0,504	0,516	0,525	0,532	
	12,4	0,466	0,489	0,506	0,519	0,528	0,536	
	13,27	0,465	0,490	0,507	0,520	0,530	0,539	
	14,13	0,463	0,489	0,508	0,522	0,533	0,541	
15	0,461	0,489	0,508	0,523	0,534	0,543		

Tablica P5. Dobiveni iscrpaci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri protoku bočnog produkta od 10300 kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,384	0,388	0,390	0,392	0,395	0,396	r(2,3-DMB)
	2,87	0,359	0,366	0,371	0,375	0,378	0,380	
	3,73	0,343	0,354	0,363	0,369	0,374	0,378	
	4,6	0,333	0,350	0,362	0,371	0,378	0,383	
	5,47	0,324	0,346	0,361	0,373	0,382	0,389	
	6,33	0,314	0,340	0,359	0,373	0,383	0,392	
	7,2	0,302	0,332	0,354	0,370	0,383	0,393	
	8,07	0,288	0,323	0,348	0,366	0,380	0,392	
	8,93	0,273	0,312	0,340	0,360	0,376	0,389	
	9,8	0,256	0,299	0,330	0,353	0,371	0,385	
	10,67	0,238	0,286	0,320	0,345	0,365	0,380	
	11,53	0,220	0,272	0,308	0,336	0,358	0,375	
	12,4	0,200	0,257	0,297	0,327	0,350	0,368	
	13,27	0,179	0,240	0,284	0,316	0,341	0,361	
	14,13	0,158	0,224	0,270	0,305	0,332	0,353	
15	0,137	0,207	0,256	0,294	0,322	0,345		

Tablica P6. Dobiveni iscrpaci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri protoku bočnog produkta od 11300 kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,384	0,388	0,390	0,392	0,395	0,396	r(2,3-DMB)
	2,87	0,359	0,366	0,371	0,375	0,378	0,380	
	3,73	0,343	0,354	0,363	0,369	0,374	0,378	
	4,6	0,333	0,350	0,362	0,371	0,378	0,383	
	5,47	0,324	0,346	0,361	0,373	0,382	0,389	
	6,33	0,314	0,340	0,359	0,373	0,383	0,392	
	7,2	0,302	0,332	0,354	0,370	0,383	0,393	
	8,07	0,288	0,323	0,348	0,366	0,380	0,392	
	8,93	0,273	0,312	0,340	0,360	0,376	0,389	
	9,8	0,256	0,299	0,330	0,353	0,371	0,385	
	10,67	0,238	0,286	0,320	0,345	0,365	0,380	
	11,53	0,220	0,272	0,308	0,336	0,358	0,375	
	12,4	0,200	0,257	0,297	0,327	0,350	0,368	
	13,27	0,179	0,240	0,284	0,316	0,341	0,361	
	14,13	0,158	0,224	0,270	0,305	0,332	0,353	

Tablica P7. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za S i R te pri protoku donjeg produkta od 800 kg/h.

		S, kg/h						
		8300	9300	9500	10100	10700	11300	
R	2	0,495	0,448	0,409	0,374	0,340	0,311	r(2,3-DMB)
	2,67	0,520	0,458	0,403	0,357	0,318	0,284	
	3,33	0,550	0,478	0,409	0,347	0,295	0,253	
	4	0,575	0,500	0,423	0,347	0,279	0,224	
	4,67	0,597	0,519	0,437	0,353	0,271	0,200	
	5,33	0,615	0,536	0,451	0,361	0,270	0,184	
	6	0,629	0,550	0,463	0,369	0,271	0,174	
	6,67	0,641	0,562	0,474	0,377	0,274	0,168	
	7,33	0,651	0,572	0,483	0,384	0,277	0,165	
	8	0,660	0,581	0,491	0,390	0,280	0,163	
	8,67	0,668	0,588	0,498	0,396	0,283	0,162	
	9,33	0,674	0,595	0,504	0,401	0,287	0,162	
	10	0,680	0,600	0,509	0,406	0,290	0,162	
	10,67	0,684	0,605	0,514	0,410	0,292	0,162	
	11,33	0,689	0,610	0,519	0,414	0,295	0,163	
12	0,693	0,614	0,523	0,417	0,297	0,163		

Tablica P8. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R te pri S=8300 kg/h.

		N _f						
		15	23	31	39	47	55	
R	2,00	0,511	0,528	0,541	0,556	0,571	0,603	r(2,3-DMB)
	2,87	0,541	0,560	0,570	0,578	0,588	0,615	
	3,73	0,565	0,586	0,594	0,597	0,600	0,624	
	4,60	0,581	0,603	0,610	0,610	0,609	0,629	
	5,47	0,590	0,613	0,619	0,618	0,616	0,633	
	6,33	0,594	0,617	0,624	0,623	0,620	0,636	
	7,20	0,595	0,618	0,626	0,624	0,622	0,639	
	8,07	0,593	0,616	0,624	0,623	0,621	0,639	
	8,93	0,589	0,612	0,621	0,621	0,619	0,639	
	9,80	0,584	0,607	0,616	0,616	0,616	0,637	
	10,67	0,577	0,600	0,609	0,611	0,611	0,634	
	11,53	0,571	0,593	0,603	0,605	0,606	0,631	
	12,40	0,562	0,584	0,594	0,597	0,600	0,626	
	13,27	0,553	0,575	0,585	0,588	0,592	0,621	
	14,13	0,543	0,564	0,575	0,579	0,584	0,614	
15,00	0,532	0,554	0,564	0,569	0,575	0,608		

Tablica P9. Dobiveni iscrpaci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R te pri $S=9300$ kg/h.

		Nf						
		15	23	31	39	47	55	
R	2,00	0,431	0,447	0,462	0,480	0,503	0,551	r(2,3-DMB)
	2,87	0,424	0,451	0,471	0,490	0,513	0,560	
	3,73	0,435	0,465	0,484	0,501	0,520	0,565	
	4,60	0,445	0,476	0,495	0,509	0,526	0,568	
	5,47	0,450	0,482	0,500	0,513	0,529	0,571	
	6,33	0,452	0,484	0,502	0,514	0,530	0,572	
	7,20	0,451	0,482	0,500	0,512	0,528	0,572	
	8,07	0,447	0,478	0,496	0,508	0,524	0,570	
	8,93	0,441	0,472	0,490	0,502	0,518	0,567	
	9,80	0,434	0,464	0,482	0,494	0,512	0,563	
	10,67	0,425	0,455	0,472	0,485	0,504	0,557	
	11,53	0,416	0,445	0,462	0,476	0,495	0,551	
	12,40	0,406	0,434	0,451	0,465	0,485	0,544	
	13,27	0,394	0,421	0,438	0,452	0,474	0,536	
	14,13	0,382	0,408	0,425	0,439	0,462	0,527	
15,00	0,369	0,395	0,411	0,426	0,449	0,517		

Tablica P10. Dobiveni iscrpaci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R te pri $S=10300$ kg/h.

		Nf						
		15	23	31	39	47	55	
R	2,00	0,375	0,382	0,396	0,411	0,437	0,499	r(2,3-DMB)
	2,87	0,337	0,360	0,383	0,407	0,438	0,504	
	3,73	0,313	0,347	0,376	0,405	0,439	0,506	
	4,60	0,305	0,342	0,372	0,403	0,439	0,506	
	5,47	0,301	0,338	0,368	0,398	0,435	0,506	
	6,33	0,296	0,333	0,361	0,391	0,430	0,505	
	7,20	0,290	0,325	0,353	0,382	0,422	0,501	
	8,07	0,282	0,316	0,342	0,371	0,412	0,496	
	8,93	0,273	0,305	0,330	0,358	0,400	0,489	
	9,80	0,262	0,293	0,317	0,344	0,387	0,481	
	10,67	0,250	0,280	0,303	0,329	0,373	0,472	
	11,53	0,238	0,266	0,288	0,313	0,358	0,462	
	12,40	0,225	0,251	0,272	0,297	0,342	0,451	
	13,27	0,211	0,235	0,255	0,279	0,325	0,439	
	14,13	0,196	0,219	0,237	0,261	0,307	0,425	
15,00	0,181	0,202	0,219	0,242	0,288	0,411		

Tablica P11. Dobiveni iscrpci 2,3-DMB u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R te pri $S=11300$ kg/h.

		Nf						
		15	23	31	39	47	55	
R	2,00	0,326	0,333	0,340	0,351	0,375	0,448	r(2,3-DMB)
	2,87	0,281	0,294	0,311	0,333	0,367	0,449	
	3,73	0,236	0,253	0,281	0,315	0,359	0,446	
	4,60	0,200	0,219	0,253	0,296	0,349	0,443	
	5,47	0,173	0,194	0,229	0,275	0,336	0,440	
	6,33	0,152	0,173	0,206	0,253	0,320	0,434	
	7,20	0,135	0,155	0,185	0,230	0,301	0,426	
	8,07	0,120	0,138	0,164	0,207	0,281	0,416	
	8,93	0,105	0,120	0,143	0,183	0,258	0,404	
	9,80	0,091	0,103	0,122	0,159	0,235	0,391	
	10,67	0,079	0,086	0,102	0,135	0,210	0,376	
	11,53	0,067	0,070	0,082	0,112	0,185	0,360	
	12,40	0,056	0,055	0,063	0,088	0,159	0,342	
	13,27	0,047	0,043	0,046	0,066	0,133	0,323	
	14,13	0,041	0,033	0,034	0,045	0,107	0,303	
15,00	0,035	0,025	0,024	0,029	0,082	0,281		

Tablica P12. Dobiveni iscrpci 2-MP u bočnom produktu pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri $S=11300$ kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,799	0,799	0,797	0,795	0,796	0,795	r(2-MP)
	2,87	0,869	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865	
	3,73	0,909	0,908	0,908	0,907	0,906	0,905	
	4,6	0,928	0,928	0,928	0,928	0,927	0,926	
	5,47	0,937	0,939	0,940	0,940	0,939	0,939	
	6,33	0,941	0,945	0,947	0,947	0,947	0,947	
	7,2	0,943	0,948	0,951	0,952	0,952	0,953	
	8,07	0,942	0,949	0,953	0,955	0,956	0,956	
	8,93	0,941	0,949	0,954	0,957	0,958	0,959	
	9,8	0,938	0,948	0,954	0,957	0,959	0,961	
	10,67	0,934	0,946	0,953	0,958	0,960	0,962	
	11,53	0,930	0,944	0,952	0,957	0,960	0,963	
	12,4	0,925	0,941	0,951	0,957	0,960	0,963	
	13,27	0,920	0,938	0,949	0,955	0,960	0,962	
	14,13	0,914	0,934	0,946	0,954	0,959	0,962	
15	0,908	0,930	0,943	0,952	0,957	0,961		

Tablica P13. Dobiveni iscrpci 2-MP u bočnom produktu pri različitim vrijednostima za S i R te pri B=800 kg/h.

		S, kg/h						
		8300	9300	9500	10100	10700	10300	
R	2	0,586	0,625	0,658	0,688	0,715	0,742	r(2-MP)
	2,33	0,590	0,645	0,694	0,734	0,768	0,796	
	2,67	0,587	0,651	0,711	0,766	0,812	0,847	
	3	0,585	0,653	0,719	0,782	0,838	0,883	
	3,33	0,583	0,654	0,724	0,790	0,852	0,904	
	3,67	0,582	0,656	0,727	0,795	0,859	0,916	
	4	0,582	0,657	0,729	0,799	0,864	0,923	
	4,33	0,581	0,657	0,731	0,801	0,868	0,927	
	4,67	0,581	0,658	0,732	0,803	0,870	0,931	
	5	0,581	0,659	0,734	0,805	0,872	0,933	
	5,33	0,581	0,659	0,735	0,807	0,874	0,935	
	5,67	0,581	0,660	0,736	0,808	0,875	0,936	
	6	0,581	0,660	0,737	0,809	0,876	0,937	
	6,33	0,581	0,661	0,737	0,810	0,877	0,938	
	6,67	0,581	0,661	0,738	0,811	0,878	0,939	
7	0,581	0,662	0,739	0,811	0,879	0,940		

Tablica P14. Dobiveni iscrpci 2-MP u bočnom produktu pri različitim vrijednostima za N_f i R te pri S=11300 kg/h.

		N _f						
		15	23	31	39	47	55	
R	2	0,731	0,727	0,720	0,710	0,684	0,589	r(2-MP)
	2,87	0,753	0,748	0,740	0,726	0,695	0,593	
	3,73	0,774	0,771	0,760	0,742	0,706	0,597	
	4,6	0,794	0,793	0,781	0,759	0,719	0,603	
	5,47	0,813	0,813	0,800	0,776	0,731	0,610	
	6,33	0,830	0,832	0,818	0,792	0,743	0,617	
	7,2	0,845	0,848	0,835	0,807	0,756	0,624	
	8,07	0,858	0,862	0,849	0,822	0,769	0,632	
	8,93	0,869	0,873	0,862	0,835	0,782	0,640	
	9,8	0,879	0,883	0,873	0,847	0,794	0,648	
	10,67	0,887	0,892	0,883	0,859	0,806	0,658	
	11,53	0,895	0,900	0,891	0,869	0,817	0,667	
	12,4	0,901	0,906	0,899	0,878	0,828	0,677	
	13,27	0,907	0,912	0,906	0,886	0,838	0,687	
	14,13	0,913	0,917	0,912	0,894	0,848	0,697	
15	0,918	0,922	0,918	0,901	0,857	0,708		

Tablica P15. Dobiveni iscrpci *n*-C7 u vršnom produktu pri različitim vrijednostima za R i V/B te bočnom protoku od 11300 kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	0,715	0,715	0,714	0,714	0,713	0,713	r(n-C7)
	2,87	0,759	0,759	0,759	0,757	0,758	0,758	
	3,73	0,791	0,792	0,792	0,791	0,791	0,791	
	4,6	0,816	0,816	0,817	0,817	0,817	0,817	
	5,47	0,835	0,836	0,836	0,836	0,836	0,836	
	6,33	0,851	0,851	0,851	0,852	0,852	0,852	
	7,2	0,863	0,864	0,865	0,865	0,865	0,865	
	8,07	0,874	0,875	0,875	0,876	0,876	0,876	
	8,93	0,883	0,884	0,885	0,885	0,885	0,886	
	9,8	0,891	0,892	0,892	0,893	0,893	0,893	
	10,67	0,897	0,898	0,899	0,900	0,900	0,900	
	11,53	0,903	0,904	0,905	0,906	0,906	0,906	
	12,4	0,908	0,909	0,910	0,911	0,911	0,912	
	13,27	0,913	0,914	0,915	0,915	0,916	0,916	
	14,13	0,917	0,918	0,919	0,920	0,920	0,920	
15	0,921	0,922	0,923	0,923	0,924	0,924		

Tablica P16. Dobiveni iscrpci *n*-C7 u donjem produktu pri različitim vrijednostima bočnog protoka (S) i R te pri protoku donjeg produkta od 800 kg/h.

		V/B						
		8300	8900	9500	10100	10700	11300	
R	2	0,777	0,759	0,7409	0,722	0,703	0,684	r(n-C7)
	2,87	0,814	0,798	0,7815	0,765	0,747	0,729	
	3,73	0,841	0,827	0,8119	0,796	0,780	0,763	
	4,6	0,862	0,849	0,8349	0,820	0,806	0,790	
	5,47	0,878	0,866	0,8531	0,840	0,826	0,811	
	6,33	0,890	0,879	0,8677	0,856	0,843	0,829	
	7,2	0,900	0,890	0,8797	0,868	0,856	0,844	
	8,07	0,909	0,900	0,8897	0,879	0,868	0,856	
	8,93	0,916	0,907	0,8982	0,888	0,878	0,867	
	9,8	0,922	0,914	0,9055	0,896	0,886	0,876	
	10,67	0,928	0,920	0,9119	0,903	0,894	0,884	
	11,53	0,932	0,925	0,9174	0,909	0,900	0,891	
	12,4	0,936	0,930	0,9223	0,915	0,906	0,897	
	13,27	0,940	0,934	0,9266	0,919	0,911	0,903	
	14,13	0,943	0,937	0,9305	0,924	0,916	0,908	
15	0,946	0,940	0,9340	0,927	0,920	0,912		

Tablica P17. Dobiveni iscrpci $n-c7$ u donjem produktu pri različitim brojevima pojne plitice (N_f) i R te pri protoku bočnog produkta od 11300 kg/h.

		Nf						
		15	23	31	39	47	55	
R	2	0,683	0,683	0,683	0,683	0,684	0,687	r(n-C7)
	2,33	0,703	0,703	0,703	0,703	0,704	0,707	
	2,67	0,721	0,720	0,720	0,721	0,722	0,725	
	3	0,736	0,736	0,736	0,736	0,738	0,740	
	3,33	0,750	0,750	0,750	0,750	0,751	0,754	
	3,67	0,762	0,762	0,762	0,763	0,764	0,767	
	4	0,774	0,773	0,773	0,774	0,775	0,778	
	4,33	0,784	0,783	0,784	0,784	0,785	0,788	
	4,67	0,793	0,793	0,793	0,794	0,795	0,797	
	5	0,802	0,801	0,801	0,802	0,803	0,806	
	5,33	0,809	0,809	0,809	0,810	0,811	0,813	
	5,67	0,817	0,816	0,817	0,817	0,818	0,820	
	6	0,823	0,823	0,823	0,824	0,825	0,827	
	6,33	0,830	0,829	0,829	0,830	0,831	0,833	
	6,67	0,835	0,835	0,835	0,836	0,837	0,839	
	7	0,841	0,840	0,841	0,841	0,842	0,844	

Tablica P18. Dobivene toplinske dužnosti rebojlera (Q_r) u kW pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri S=8300 kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	3854	3871	3886,22	3894	3902	3909	r(n-C7)
	2,87	4872	4903	4924,93	4941	4954	4964	
	3,73	5875	5921	5954,53	5979	5998	6014	
	4,6	6862	6926	6972,11	7007	7034	7056	
	5,47	7832	7916	7977,31	8024	8060	8089	
	6,33	8784	8892	8969,87	9029	9076	9112	
	7,2	9721	9854	9950,31	10024	10081	10128	
	8,07	10642	10801	10918,5	11007	11077	11133	
	8,93	11547	11736	11873,8	11980	12063	12130	
	9,8	12436	12656	12817,8	12942	13039	13118	
	10,67	13310	13564	13750	13893	14006	14097	
	11,53	14171	14461	14672	14834	14963	15067	
	12,4	15013	15342	15574,6	15769	15918	16037	
	13,27	15847	16211	16476,8	16684	16854	16987	
	14,13	16663	17066	17368,2	17595	17786	17927	
	15	17468	17912	18245	18497	18701	18866	

Tablica 19. Dobiveni Q_r u kW pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri $S=11300$ kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	3608	3624	3637	3636	3650	3659	Q _r ,kW
	2,87	4552	4581	4601	4616	4628	4636	
	3,73	5480	5523	5554	5577	5594	5610	
	4,6	6395	6454	6497	6529	6554	6574	
	5,47	7294	7373	7430	7473	7506	7533	
	6,33	8179	8279	8351	8406	8449	8483	
	7,2	9048	9171	9261	9329	9382	9426	
	8,07	9902	10051	10160	10242	10308	10359	
	8,93	10742	10918	11047	11145	11223	11285	
	9,8	11567	11773	11923	12038	12129	12202	
	10,67	12379	12615	12789	12921	13027	13112	
	11,53	13175	13444	13643	13795	13915	14013	
	12,4	13964	14266	14488	14661	14795	14905	
	13,27	14733	15071	15323	15513	15668	15791	
	14,13	15494	15867	16147	16360	16529	16670	
15	16239	16651	16961	17194	17389	17538		

Tablica 20. Dobiveni promjer kolone (d) u m pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri $S=8300$ kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	d, m
	2,87	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	
	3,73	2,134	2,134	2,134	2,134	2,134	2,134	
	4,6	2,286	2,286	2,438	2,438	2,438	2,438	
	5,47	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	
	6,33	2,743	2,743	2,743	2,743	2,743	2,743	
	7,2	2,743	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	
	8,07	2,896	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048	
	8,93	3,048	3,048	3,200	3,200	3,200	3,200	
	9,8	3,200	3,200	3,200	3,353	3,353	3,353	
	10,67	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353	3,505	
	11,53	3,505	3,505	3,505	3,505	3,505	3,505	
	12,4	3,505	3,658	3,658	3,658	3,658	3,658	
	13,27	3,658	3,658	3,810	3,810	3,810	3,810	
	14,13	3,810	3,810	3,810	3,962	3,962	3,962	
15	3,810	3,962	3,962	3,962	3,962	4,115		

Tablica 21. Dobiveni d u m pri različitim vrijednostima za V/B i R te pri S=11300 kg/h.

		V/B						
		100	120	140	160	180	200	
R	2	1,676	1,676	1,676	1,676	1,676	1,676	d, m
	2,87	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	
	3,73	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	
	4,6	2,134	2,134	2,134	2,134	2,134	2,134	
	5,47	2,286	2,286	2,286	2,286	2,286	2,286	
	6,33	2,438	2,438	2,438	2,438	2,438	2,438	
	7,2	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	
	8,07	2,591	2,743	2,743	2,743	2,743	2,743	
	8,93	2,743	2,743	2,743	2,743	2,896	2,896	
	9,8	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	
	10,67	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048	
	11,53	3,048	3,048	3,200	3,200	3,200	3,200	
	12,4	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,353	
	13,27	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353	
	14,13	3,353	3,353	3,505	3,505	3,505	3,505	
15	3,505	3,505	3,505	3,505	3,505	3,658		

Tablica 22. Dobiveni d u m pri različitim vrijednostima za N_f i R te pri S=11300 kg/h.

		N _f						
		15	23	31	39	47	55	
R	2	1,676	1,676	1,676	1,676	1,676	1,676	d, m
	2,87	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	
	3,73	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981	
	4,6	2,134	2,134	2,134	2,134	2,134	2,134	
	5,47	2,286	2,286	2,286	2,286	2,286	2,286	
	6,33	2,438	2,438	2,438	2,438	2,438	2,438	
	7,2	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	
	8,07	2,743	2,743	2,591	2,591	2,591	2,591	
	8,93	2,743	2,743	2,743	2,743	2,743	2,743	
	9,8	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	
	10,67	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048	
	11,53	3,200	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048	
	12,4	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	
	13,27	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353	3,200	
	14,13	3,505	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353	
15	3,505	3,505	3,505	3,505	3,505	3,505		

Tablica 23. Dobiveni d u m pri različitim vrijednostima za S i R te pri B=800 kg/h.

		S, kg/h						d, m
		8300	9300	9500	10100	10700	11300	
R	2	1,829	1,676	1,676	1,676	1,676	1,676	
	2,87	1,981	1,981	1,829	1,829	1,829	1,829	
	3,73	2,134	2,134	2,134	1,981	1,981	1,981	
	4,6	2,286	2,286	2,286	2,286	2,134	2,134	
	5,47	2,591	2,438	2,438	2,438	2,286	2,286	
	6,33	2,743	2,591	2,591	2,591	2,438	2,438	
	7,2	2,896	2,743	2,743	2,743	2,591	2,591	
	8,07	3,048	2,896	2,896	2,743	2,743	2,743	
	8,93	3,200	3,048	3,048	2,896	2,896	2,743	
	9,	3,353	3,200	3,200	3,048	3,048	2,896	
	10,67	3,505	3,353	3,353	3,200	3,200	3,048	
	11,53	3,505	3,505	3,353	3,353	3,200	3,200	
	12,40	3,658	3,658	3,505	3,505	3,353	3,353	
	13,27	3,810	3,810	3,658	3,505	3,505	3,353	
	14,13	3,962	3,810	3,810	3,658	3,658	3,505	
15	4,115	3,962	3,962	3,810	3,658	3,658		

Tablica 24. Dobiveni oktanski brojevi (OB) destilata pri različitim vrijednostima za S.

S, kg/h	OB
8300	90,02548
9300	90,65007
10300	91,25185
11300	91,79002

Tablica 25. Dobiveni OB destilata pri različitim vrijednostima za B i Q_r.

B, kg/h	OB	Q _r , kW
300	91,51303	8658,83
450	91,59982	8549,63
600	91,68339	8444,35
750	91,76299	8337,97

Tablica 26. Dobiveni OB destilata pri različitim vrijednostima za S i R.

		S, kg/h			
		8300	9300	10300	11300
R	2	88,5251	88,7526	89,0736	89,339
	3,3	89,3472	89,7834	90,3133	90,7115
	4,6	89,6425	90,207	90,815	91,342
	5,9	89,8018	90,479	91,088	91,6406
	7,2	89,903	90,6791	91,2788	91,8119
	8,5	89,9731	90,848	91,4282	91,9278
	9,8	90,0243	90,9945	91,5525	92,0138
	11,1	90,0634	91,1248	91,6588	92,0794
	12,4	90,0697	91,2427	91,7514	92,1284
	13,7	90,121	91,3504	91,8329	92,1622
	15	90,1412	91,4529	91,9094	92,1833
		OB			