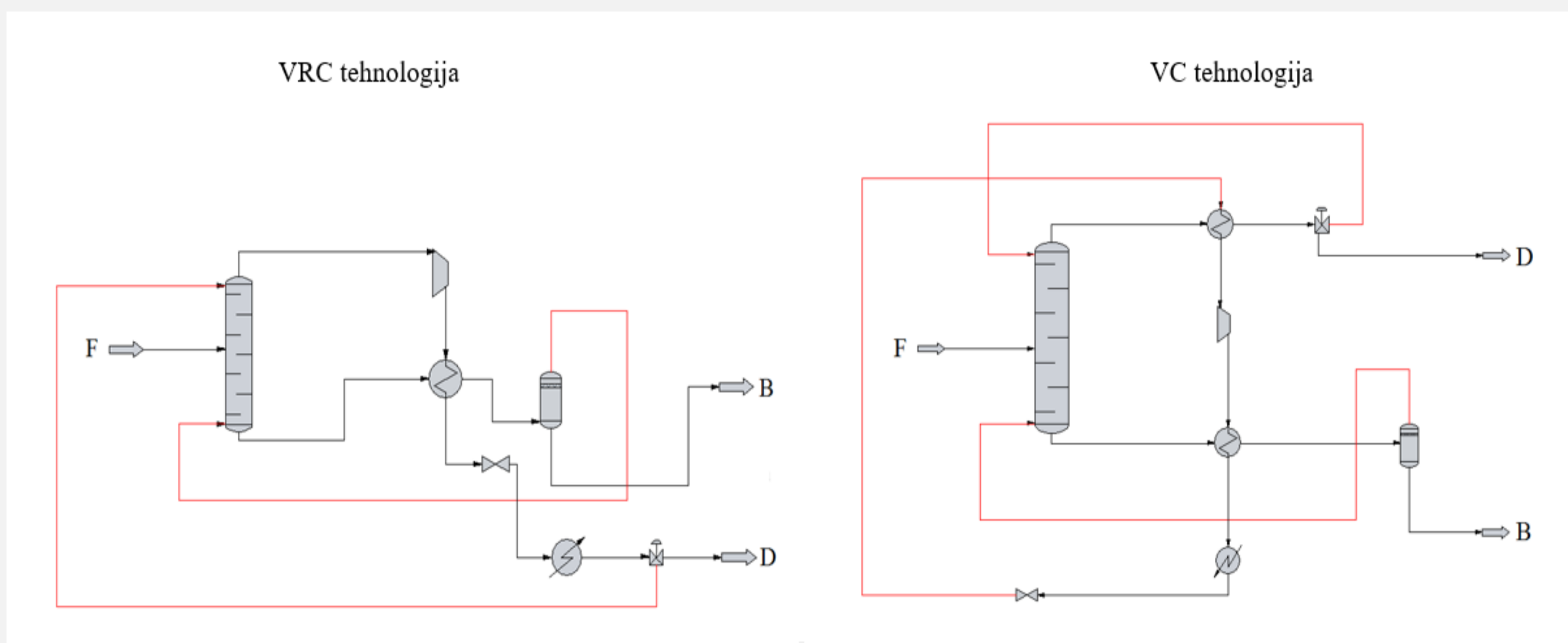


UVOD

Kemijska procesna industrija troši velike količine energije pa je svako ulaganje u povećanje energetske učinkovitosti isplativo. Jedan od energetski najintenzivnijih procesa su toplinski separacijski procesi, a pogotovo destilacija, pa su se na tom polju razvile mnoge strategije povećanja energetske učinkovitosti. Jedan od pristupa je primjena dizalice topline za direktnu toplinsku integraciju kondenzatora i isparivača. Iako mogu donijeti značajne uštede u potrošnji energenata, početna ulaganja su visoka tako da je njihova isplativost opravdana je dužim periodom rada.

Cilj ovog rada je ispitati ekonomsku opravdanost upotrebe dizalica topline u destilacijskoj koloni za separaciju smjese propen-propan.



Slika 1. Primjena parno kompresijskih dizalica topline u procesu destilacije

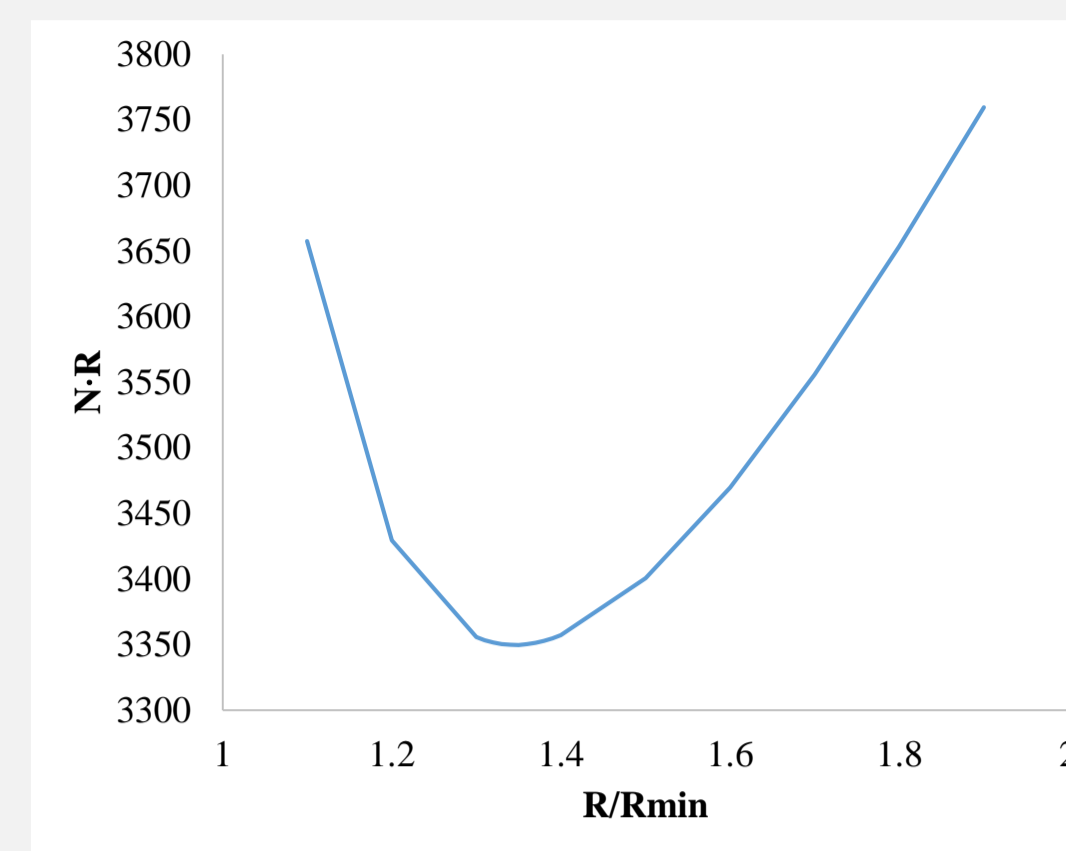
MATERIJALI I METODE

Svrha rada je procijeniti ukupne troškove konvencionalnog procesa destilacije, kao i destilacije uz dizalicu topline, kako bi mogli zaključiti je li njihova upotreba isplativa. Također procjenjuje se vrijeme potrebno da investicija bude ekonomski opravdana. U ovom slučaju, konvencionalni proces se uspoređuje s dvije izvedbe: dizalice topline s rekompresijom vršnih para (VRC) te dizalice topline s vanjskom radnom tvari (VC). Parametri procesa određeni su tako da daju minimum godišnjih troškova. Modeliranje i procjena troškova napravljeni su pomoću programa CHEMCAD.

Tablica 1. Sastav i karakteristike pojne smjese te zahtjevi na čistoću produkata destilacije

Propan, % mol.	50
Propan, % mol.	50
Protok, kg/h	3500
Temperatura, °C	15
Tlak, bar	25
Zahtjevana čistoća propena, % mol.	99,8
Zahtjevana čistoća propana, % mol.	99,8

REZULTATI



Slika 2. Prikaz ovisnosti umnoška N-R o R/Rmin

Tablica 2. SHORTCUT model za minimalni ukupni trošak

R/R _{min}	1,35
Broj teorijskih stupnjeva	171
Minimalni broj teorijskih stupnjeva	99
Teorijski stupanj pojenja	86
Toplinska dužnost kondenzatora, kW	30393,5
Toplinska dužnost isparivača, kW	31169,4
Tlak kolone, bar	16
Minimalni refleksni omjer	14,5171
Izračunati refleksni omjer	19,5981

Tablica 3. SCDS model destilacijske kolone

Teorijski stupanj pojenja	111
Broj teorijskih stupnjeva	171
Produkt dna, mol.% propena	99,8
Produkt vrha, mol.% propena	99,8
Pad tlaka kolone, bar	0,3
Temperatura proizvoda vrha, °C	37,95
Temperatura proizvoda dna, °C	47,06
Tlak kolone na vrhu, bar	16
Toplinska dužnost isparivača, kW	3402,1
Toplinska dužnost kondenzatora, kW	3324,41

Tablica 4. Dimenzioniranje konvencionalne destilacijske kolone korištenjem SCDS modela

Destilacijska kolona	
Promjer kolone, m	1,68; 1,83
Plitice	sitaste
Pojni stupanj	111
Broj sekcija	1
Razmak između plitica, m	0,6096
Broj teorijskih stupnjeva	171
Djelotvornost plitica	0,9
Broj plitica	188
Višina kolone, m	120
Kondenzator	
U-A, kW K ⁻¹	490,30
Protok rashladne vode, m ³ h ⁻¹	286,58
Isparivač	
U-A, kW K ⁻¹	35,59
Protok ogrejne pare, t h ⁻¹	5,13

Tablica 5. Svojstva izlaznih struja u SCDS modelu destilacijske kolone VRC

Temperatura, °C	37,95	47,06
Tlak, bar	16	16,3
Molarni protok, kmol h ⁻¹	40,61	40,61
Maseni protok, kg h ⁻¹	1709,23	1790,55
Propan, % mol.	0,19	99,81
Propen, % mol.	99,81	0,19

Tablica 6. Dimenzioniranje destilacijske kolone VRC korištenjem SCDS modela

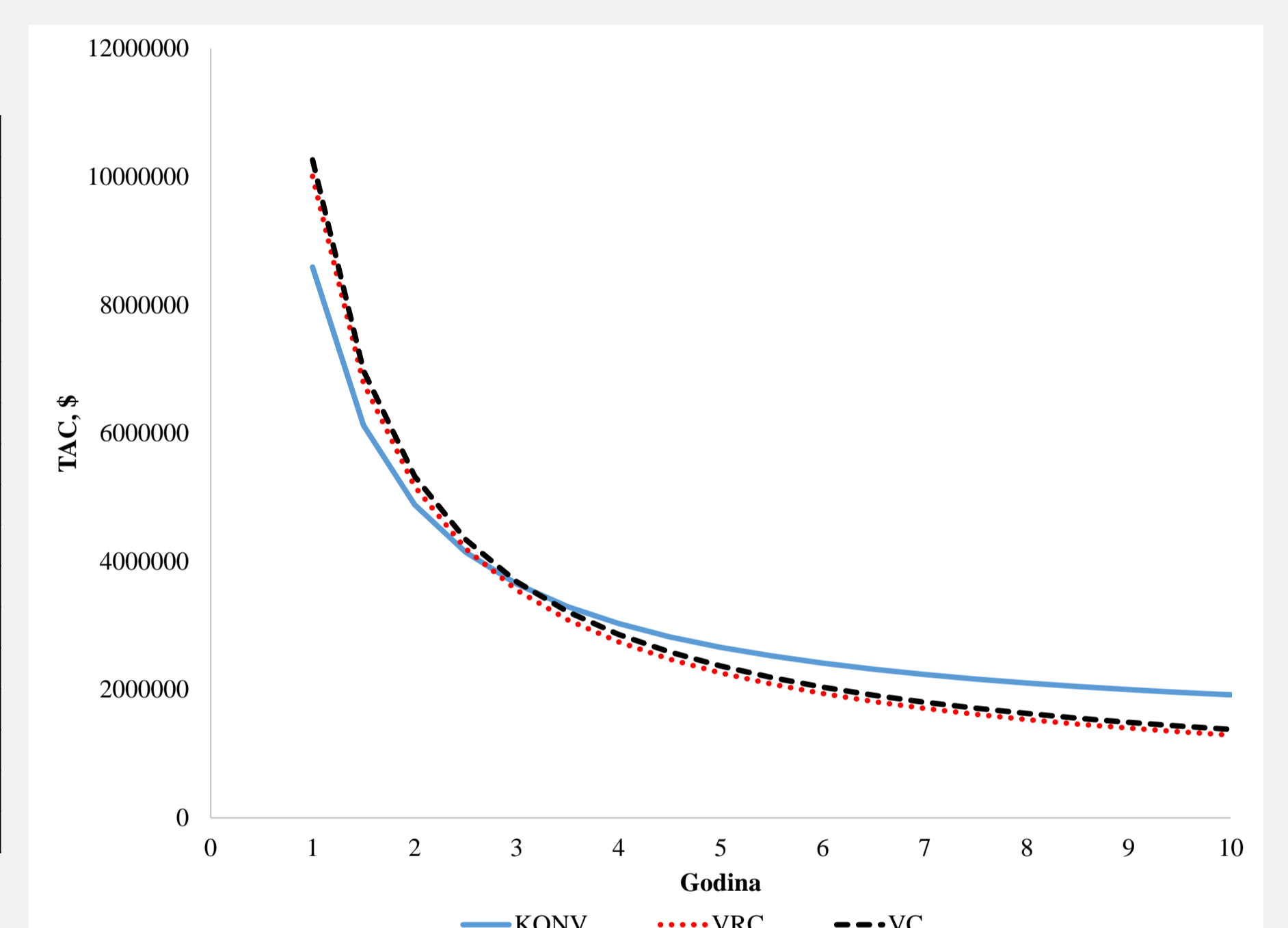
Destilacijska kolona	
Promjer kolone, m	1,68; 1,83
Plitice	sitaste
Broj sekcija	1
Razmak između plitica, m	0,6096
Broj teorijskih stupnjeva	171
Djelotvornost plitica	0,9
Broj plitica	190
Višina kolone, m	120
Isparivač donjeg produkta	
U-A, kW K ⁻¹	107,43
Kondenzator vršnog produkta	
U-A, kW K ⁻¹	70,56
Protok rashladne vode, m ³ h ⁻¹	41,24
Kompresor	
Snaga, kW	555,87

Tablica 7. Svojstva izlaznih struja u SCDS modelu destilacijske kolone VC

Temperatura, °C	37,62	47,06
Tlak, bar	16	16,3
Molarni protok, kmol h ⁻¹	40,61	40,61
Maseni protok, kg h ⁻¹	1709,23	1790,86
Propan, % mol.	0,18	99,80
Propen, % mol.	99,82	0,20

Tablica 8. Dimenzioniranje destilacijske kolone VC korištenjem SCDS modela

Destilacijska kolona	
Promjer kolone, m	1,68; 1,83
Plitice	sitaste
Broj sekcija	1
Razmak između plitica, m	0,6096
Broj teorijskih stupnjeva	171
Djelotvornost plitica	0,9
Broj plitica	190
Višina kolone, m	120
Kondenzator vršnog produkta	
U-A, kW K ⁻¹	128,53
Isparivač donjeg produkta	
U-A, kW K ⁻¹	234,87
Kondenzator vanjskog radnog medija	
U-A, kW K ⁻¹	19,32
Protok rashladne vode, m ³ h ⁻¹	51,50
Kompresor	
Snaga, kW	674,86

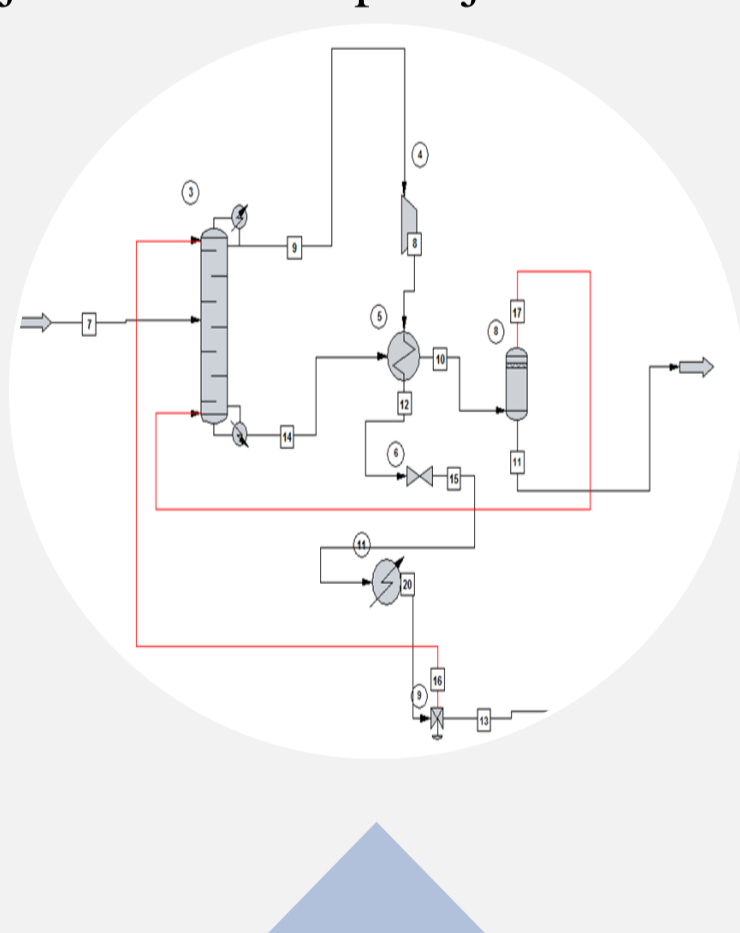


Slika 3. Usporedba ukupnih godišnjih troškova za sva tri slučaja kroz 10 godina amortizacije

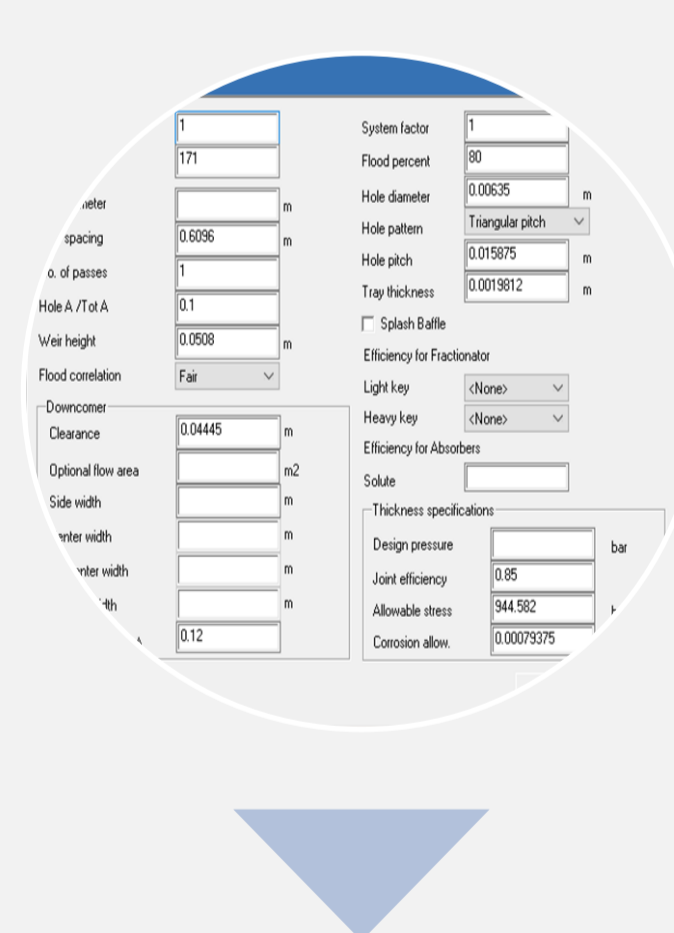
1. Definiranje komponentata u simulaciji



4. Proračun SCDS modela konvencionalne destilacijske kolone uz primjenu dizalica topline



5. Dimenzioniranje procesne opreme



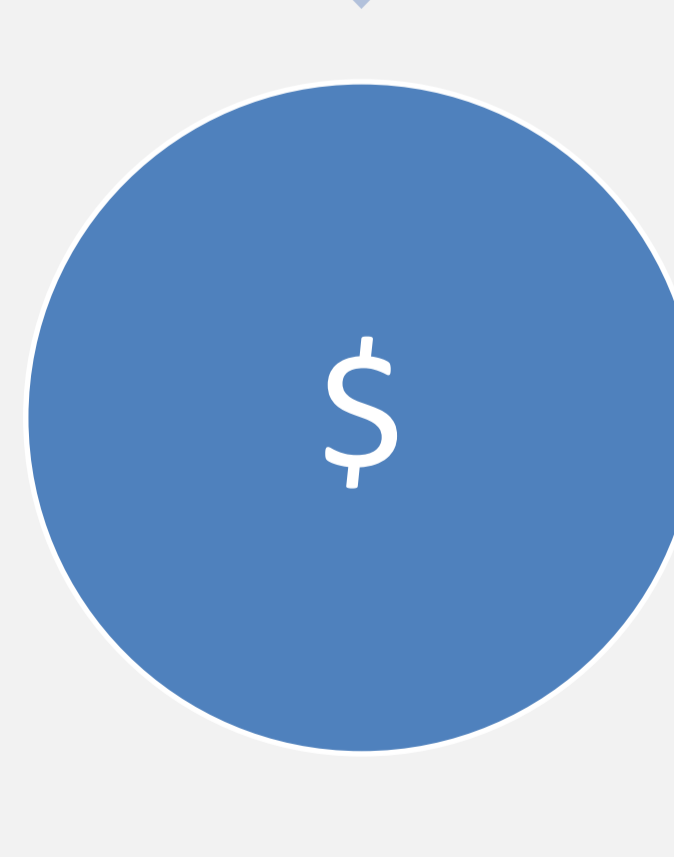
2. Proračun SHORTCUT modela konvencionalne destilacijske kolone i određivanje minimalnih pogonskih troškova



3. Proračun SCDS modela konvencionalne destilacijske kolone uz minimalne troškove



6. Procjena investicijskih i pogonskih troškova postrojenja



ZAKLJUČCI

Model separacije ekvimolarne smjese propan-propen konvencionalnim procesom destilacije, VRC te VC procesom, uspješno je napravljen u procesnom simulatoru CHEMCAD. S obzirom da je separacija smjese izomera, kao što su propen i propan, energetska vrlo intenzivna, nezavisne varijable modela sva tri slučaja optimirane su tako da daju minimum pogonskih troškova. Iako VRC i VC imaju znatno veće investicijske troškove jer koriste kompresor, ukupni godišnji troškovi su niži zbog smanjenih pogonskih troškova. Uz amortizacijski period 10 godina, uštede u odnosu na konvencionalni proces iznose 33 % za VRC, odnosno 28 % uz VC. Iako se primjenom VRC tehnologije ostvaruju 5 % manje uštede, primjena VC je i dalje atraktivna, jer se odvajanjem sustava dizalice topline od procesnog kruga očekuju manji problemi u radu.

CONCLUSIONS

Through optimization of distillation model for separation of equimolar mixture propane-propene, operating conditions leading to minimized operating costs are determined. Capital expenses (CAPEX) and operating expenses (OPEX) were calculated for three optimized cases: conventional distillation process, VRC (vapour recompression column) and VC (vapour compression), with amortization period set to 10 years. It was determined that for the particular separation task, greatest energy savings are accomplished with VRC technology.

Key words: distillation, heat pumps, VRC, VC, energy savings, energy efficiency