

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu  
Kolegij: PROJEKTIRANJE 2

#### PROJEKTNI ZADATAK 1:

### OSNOVNI PROJEKT FRAKCIONACIJE SMJESE PROPEN - PROPAN (C<sub>3</sub>-SPLITTER) UZ KORIŠTENJE DIZALICE TOPLINE

Jedan od proizvoda termičkog krekinga ugljikovodika pri proizvodnji olefina je, pored etena, propen. Kako se prilikom frakcionacije smjese ugljikovodika dobivene termičkim krekingom prvo dobije smjesa propena i propana, tu smjesu treba frakcionacijom razdvojiti. Karakteristika te smjese je jako mala relativna hlapljivost propen-propan, što rezultira velikim brojem potrebnih teorijskih stupnjeva (obično preko 100) te velikim utroškom energije. Jedna od mogućnosti uštede energije je korištenje dizalice topline.

Iz smjese ugljikovodika sastava:

	mol. udjeli
propen	0,5
propan	0,5
protok, kg/h	35000
temperatura, °C	15
tlak, bar	25

treba izdvojiti propen čistoće min. 99,0 mol%.

Na raspolaganju su sljedeći energenti:

el. energija	380 V	50Hz	3 faze	0,06 €/kWh
el. energija	6 kV	50 Hz	3 faze	0,05 €/kWh
vodena para	4 bar	260 °C		22,82 €/t
rashladna voda	4,5 bar	25 °C	$\Delta T = 10 \text{ °C}$	0,025 €/m <sup>3</sup>

Napravite studiju izvodljivosti koja treba pokazati da li je destilacija s dizalicom topline ekonomski opravdana u ovom slučaju. U obzir uzmite kapitalne troškove opreme i operativne troškove na temelju 10 godina rada postojanja.

Dizajn kolone (N, R) optimirajte koristeći  $\min(N(R+1))$  kao funkciju cilja, dok za određivanje  $N_r$  koristite studiju osjetljivosti. Rezultate studija i optimizacije prikažite u završnom izvješću.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu  
Kolegij: PROJEKTIRANJE 2

## PROJEKTNI ZADATAK 2:

### UKLANJANJE H<sub>2</sub>S I CO<sub>2</sub> IZ PROCESNIH PLINOVA

Čest je slučaj da se u procesima, posebno u petrokemiji i/ili preradi nafte, nađu plinoviti procesni tokovi koji sadrže CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>S, koji su smetnja u daljem procesnom lancu. Jedan od postupaka za istovremeno uklanjanje CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>S iz plinovitih procesnih tokova je MEA ili DEA pranje.

Treba načiniti projekt procesa za uklanjanje H<sub>2</sub>S i CO<sub>2</sub> iz plina pomoću vodene otopine monoetanol amina (MEA). Procesna jedinica treba obuhvatiti, pored apsorbera H<sub>2</sub>S i CO<sub>2</sub> i regeneraciju zasićene otopine monoetanol amina (MEA) koja se vraća u apsorber.

Plin na ulazu u procesnu jedinicu je slijedećeg sastava (vol. %):

metan	% vol.	88,00
etan	% vol.	9,50
CO <sub>2</sub>	% vol.	1,75
H <sub>2</sub> S	% vol.	0,75
Ukupni protok (0 °C, 1 bar)	m <sup>3</sup> /h	15000
Tlak	bar	60
Temperatura	°C	35

Sadržaj H<sub>2</sub>S u očišćenom plinu treba biti manji od 10 ppm vol.

Sadržaj CO<sub>2</sub> u očišćenom plinu treba biti manji od 5 ppm vol.

Vodena otopina MEA je sastava:

H <sub>2</sub> O	80% mas
MEA	20% mas
Temperatura, °C	45°C
Tlak, bar	65

Na raspolaganju su energenti:

el. energija	380 V	50Hz	
el. energija	6 kV	50 Hz	
vodena para	50 bar	320 °C	
rashladna voda	4,5 bar	25 °C	ΔT = 15 °C

Optimirajte otopine MEA te dizajn i radne uvjete sekcije regeneracije tako da se minimizira gubitak vode i utrošena energija za regeneraciju.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu  
Kolegij: PROJEKTIRANJE 2

### PROJEKTNI ZADATAK 3:

#### IZDVAJANJE CO<sub>2</sub> IZ PLINOVITIH PROCESNIH TOKOVA

Kada treba iz procesnog toka izdvojiti CO<sub>2</sub> tada je jedan od najčešće korištenih postupaka Benfield postupak pranja plina s vodenom otopinom kalijevog karbonata.

Treba načiniti projekt procesa za selektivno uklanjanje CO<sub>2</sub> iz plina pomoću vodene otopine kalijevog karbonata (Benfield postupak). Procesna jedinica treba obuhvatiti, pored apsorbera CO<sub>2</sub> i regeneraciju zasićene otopine kalijevog karbonata koja se vraća u apsorber.

Plin na ulazu u procesnu jedinicu je sljedećeg sastava (vol. %):

metan	% vol.	67,22
eten	% vol.	0,40
etan	% vol.	21,91
dušik	% vol.	2,78
CO <sub>2</sub>	% vol.	7,63
H <sub>2</sub> O	% vol.	0,06
Ukupni protok (0 °C, 1 bar)	m <sup>3</sup> /h	40000
Tlak	bar	25
Temperatura	°C	35

Vodena otopina kalijevog karbonata trebabit sljedećeg sastava i stanja na ulazu:

H <sub>2</sub> O	60% mas.
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	40% mas.
Temperatura, °C	80
Tlak, bar	1,5

Sadržaj CO<sub>2</sub> u opranom plinu treba biti manji od 20 ppm vol.

Optimirajte protok otopine kalijevog karbonata te dizajn i radne uvjete sekcije regeneracije tako da se minimizira gubitak vode i utrošena energija za regeneraciju.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu  
Kolegij: PROJEKTIRANJE 2

#### PROJEKTNI ZADATAK 4:

#### SELEKTIVNO IZDVAJANJE H<sub>2</sub>S IZ PLINOVITIH PROCESNIH TOKOVA

H<sub>2</sub>S je spoj koji se u pravilu treba izdvojiti iz procesnih tokova. Jedan od načina selektivnog izdvajanja H<sub>2</sub>S iz plinovitih procesnih tokova je pranje plina vodenom otopinom metil dietanolamina (MDEA).

Treba načiniti projekt procesa za selektivno uklanjanje H<sub>2</sub>S iz plina pomoću vodene otopine MDEA. Procesna jedinica treba obuhvatiti, pored apsorbera H<sub>2</sub>S i regeneraciju zasićene otopine MDEA koja se vraća u apsorber.

Plin na ulazu u procesnu jedinicu je sljedećeg sastava (vol. %):

metan	% vol.	87,50
CO <sub>2</sub>	% vol.	8,25
H <sub>2</sub> S	% vol.	4,25
Ukupni protok (0 °C, 1 bar)	m <sup>3</sup> /h	54500
Tlak	bar	70
Temperatura	°C	38

Vodena otopina MDEA-e na ulazu u apsorber treba biti što bliže sljedećem sastavu i stanju:

H <sub>2</sub> O	50 % mas.
MDEA	50 % mas.
Temperatura, °C	50
Tlak, bar	70

Sadržaj H<sub>2</sub>S u opranom plinu treba biti manji od 10 ppm vol.

Optimirajte protok otopine MDEA-e te dizajn i radne uvjete sekcije regeneracije tako da se minimizira gubitak vode i utrošena energija za regeneraciju.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu  
Kolegij: PROJEKTIRANJE 2

#### PROJEKTNI ZADATAK 5:

#### REKUPERACIJA AMONIJAKA I VODIKA IZ OTPADNOG (PURGE) PLINA POSTROJENJA ZA AMONIJAK

Iz sintezne petlje postrojenja za proizvodnju amonijaka kontinuirano se otpušta dio plina nakon reaktora, da se održi stalni parcijalni tlak dušika i vodika, odnosno konstantan sadržaj inertata. Taj otpadni plin sadrži amonijak i vodik u količinama koje opravdavaju njihovo izdvajanje iz otpadnog plina i vraćanje u proces ili za druge namjene.

Postupak je relativno jednostavan te za njega treba načiniti projekt. Iz otpadnog plina se prvo pranjem s vodom izdvoji amonijak. Oprani plin se zatim odvodi u jedinicu za izdvajanje vodika. Iz vodene otopine amonijaka se destilacijom izdvoji amonijak, a voda s dna destilacijske kolone se ponovo koristi za ispiranje amonijaka iz otpadnog plina. Jedinicu za izdvajanje vodika nije potrebno uključiti u simulaciju.

Otpadni (purge) plin:

	Sastav, mol. %
H <sub>2</sub>	62,85
N <sub>2</sub>	20,95
CH <sub>4</sub>	8,97
Ar	5,26
NH <sub>3</sub>	1,97
Protok (0 °C, 1 bar), m <sup>3</sup> /h	10000
Temperatura, °C	9
Tlak, bar	127,5

Plin koji se odvodi u jedinicu za izdvajanje vodika mora biti na temperaturi od 35 °C i tlaku od 126,5 i smije sadržavati najviše 600 ppm mol. NH<sub>3</sub>. Destilaciju vodene otopine amonijaka treba provesti tako da se dobije kapljevit amonijak sljedećih svojstava:

	mol. %
NH <sub>3</sub>	99,89 min
H <sub>2</sub> O	0,085 max
Temperatura, °C	< 70°C
Tlak, bar	32

Na raspolaganju su energenti:

rashladna voda	4,5 bar	T = 25 °C	ΔT = 10 °C
vodena para	50 bar	T = 280 °C	
el. energija	380 V	50 Hz	
	6000 V	50 HZ	

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu  
Kolegij: PROJEKTIRANJE 2

#### PROJEKTNI ZADATAK 6:

#### TOPLINSKI INTEGRIRANE DESTILACIJSKE KOLONE

Jedan od načina uštede energije je toplinska integracija destilacijskih kolona. Kolone rade pod tako odabranim tlakovima da se toplina kondenzacije vršnih para kolone pod višim tlakom koristi za isparavanje u isparivaču kolone pod nižim tlakom.

Smjesu propena i propana sastava:

propen, mol. %	50
propan, mol. %	50
ukupno, kmol/h	145
temperatura, °C	40
tlak, bar	22

treba razdvojiti na produkte:

	Laki produkt	Teži produkt
propen, mol. %	99,5	2,0
propan, mol. %	0,5	98,0

Na raspolaganju su sljedeći energenti:

el. energija	380 V	50Hz	3 faze	0,06 €/kWh
el. energija	6 kV	50 Hz	3 faze	0,05 €/kWh
vodena para	4 bar	260 °C		22,82 €/t
rashladna voda	4,5 bar	25 °C	$\Delta T = 10\text{ °C}$	0,025 €/m <sup>3</sup>

Napravite studiju izvodljivosti koja treba pokazati da li je destilacija sa toplinskom integracijom ekonomski opravdana u ovom slučaju. U obzir uzmite kapitalne troškove opreme i operativne troškove na temelju 10 godina rada postojenja.

Dizajn kolona (N, R) optimirajte koristeći  $\min(N(R+1))$  kao funkciju cilja, dok za određivanje  $N_r$  koristite studiju osjetljivosti. Rezultate studija i optimizacije prikažite u završnom izvješću.