



Univerza v Mariboru

Fakulteta za kemijo  
in kemijsko tehnologijo

Dvojezična srednja šola Lendava

Kolodvorska ulica 2e

9220 Lendava

# PRIMERJAVA KOLIČINE PRIDOBLJENEGA PRODUKTA IN EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV PRI PROIZVODNJI AMONIJAKA BREZ OBTOKA IN Z OBTOKOM

Raziskovalna naloga

Avtor: Domen Pucko

Mentorici: Natalija Pavošević Žoldoš

doc. dr. dr. Andreja Nemet

Lendava, februar 2020



## Kazalo vsebine

POVZETEK.....	3
ABSTRACT.....	4
ZAHVALA.....	5
1. UVOD.....	6
1.1. Hipoteze.....	7
1.2. Metodologija.....	7
2. TEORETIČNI DEL.....	8
2.1. Amonijak.....	8
2.2. Proces proizvodnje amonijaka.....	9
2.2.1. Pridobivanje dušika.....	9
2.2.2. Pridobivanje vodika.....	10
2.2.3. Proizvodnja amonijaka.....	10
2.2.4. Recikliranje z obtokom.....	11
2.3. Toplogredni plini.....	11
3. EKSPERIMENTALNI DEL.....	13
3.1. Program Aspen.....	13
3.2. Sestavljanje simulacije proizvodnje amonijaka brez obtoka.....	14
3.3. Sestavljanje simulacije proizvodnje amonijaka z obtokom.....	18
4. ZAKLJUČEK IN DISKUSIJA.....	19
LITERATURA.....	22

## **Kazalo slik**

Slika 1: Nastanek amonijaka.....	8
Slika 2: Shema proizvodnje amonijaka .....	10
Slika 3: Izpusti toplogrednih plinov v svetu .....	11
Slika 4: Odpiranje nove simulacije v programu.....	14
Slika 5: Vnašanje komponent v program.....	14
Slika 6: Vnašanje modelov v program .....	15
Slika 7: Modeli .....	15
Slika 8: Proces proizvodnje amonijaka .....	16
Slika 9: Določanje vtoka, temperature in pritiska komponent.....	16
Slika 10: Določitev kemijske reakcije .....	17
Slika 11: Končna simulacija procesa.....	17
Slika 12: Simulacija proizvodnje z obtokom .....	18

## **Kazalo tabel**

Tabela 1: Lastnosti toplogrednih plinov .....	12
Tabela 2: Primerjava količine nastalih produktov glede na obtok .....	19
Tabela 3: Primerjava količine nastalega CO <sub>2</sub> .....	20

## **Kazalo grafov**

Graf 1: Primerjava količine nastalega produkta glede na obtok .....	19
Graf 2: Primerjava količine nastalega CO <sub>2</sub> glede na obtok .....	20

## POVZETEK

S proizvodnjo amonijaka, porabo energije pri proizvodnji amonijaka in izpušnimi toplogrednimi plini, ki pri tem nastanejo, sem se seznanil s pomočjo literature. Z eksperimentalnim delom sem ustvaril simulacijo proizvodnje amonijaka brez obtoka odpadnega dela in z obtokom. Ugotovil sem, da z obtokom izpušnih plinov, ki se pri reakciji ne porabijo, povečamo količino nastalega produkta ( $\text{NH}_3$ ) in zmanjšamo količino škodljivega plina ( $\text{CO}_2$ ) v ozračju, pri tem pa hkrati zmanjšamo potrebno količino reaktantov ( $\text{N}_2$  in  $\text{H}_2$ ) in s tem povečamo izkoristek proizvodnje. Potek dela in vsi rezultati so predstavljeni v nalogi.

Ključne besede: amonijak, simulacija proizvodnje amonijaka, toplogredni plini

## **ABSTRACT**

I got familiar with ammonia production, energy consumption in ammonia production and greenhouse gases resulting from it, by reading various literature,. With the experimental work I created the simulation of ammonia production without circulation of the leftover part and with it. I came to the conclusion, that with the circulation of exhaust gases which are not consumed during the reaction we increase the quantity of the created product ( $\text{NH}_3$ ) and we decrease the amount of the harmful gas ( $\text{CO}_2$ ) in the atmosphere. By doing that we also reduce the needed amount of the reactants ( $\text{N}_2$  and  $\text{H}_2$ ) and with that we increase the yield of our production. The course of the work and all the results are presented in the following paper.

Key words: ammonia, simulation of the production of ammonia, greenhouse gasses

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. dr. Andreji Nemet, višji raziskovalki in asistentki na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Mariboru, za vse napotke in pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge in šolski mentorici Nataliji Pavoševič Žoldoš, učiteljici kemije na Dvojezični srednji šoli v Lendavi, za usmerjanje in pomoč pri izdelavi naloge.

# 1. UVOD

Amonijak je ena izmed količinsko najbolj proizvedenih kemikalij na svetu in se ga večino uporabi kot gnojilo. Pridobivamo ga po Haber–Boschevem postopku, saj sta ga leta 1913 odkrila Fritz Haber in Carl Bosch. Ta postopek je znan po izjemno visokem tlaku, ki je potreben za vzdrževanje ravnotežja pri kemijski reakciji. Danes ta postopek proizvede približno 500 milijonov ton dušikovih gnojil na leto in je odgovoren za sposobnost pridelave hrane kar tretjine Zemljinega prebivalstva. [1]

Amonijak nastaja z reakcijo dušika in vodika. Vodik se običajno pridobiva s parnim reformingom metana, dušik pa s frakcionarno destilacijo zraka. Med takim pridobivanjem amonijaka je potrebno veliko energije, zato je velika tudi poraba primarnih virov energije in posledično veliko izpuščenih toplogrednih plinov. Podatki, ki jih je leta 2007 objavila Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj kažejo, da se bodo svetovne emisije toplogrednih plinov do leta 2050 povečale za 50 %, predvsem zaradi velikih porab energije. Po navedbah organizacije bodo emisije ogljikovega dioksida, ki je eden glavnih toplogrednih plinov, do leta 2050 zrasle za 70 %, kar je posledica večje porabe energije. [1] [2]

V raziskovalni nalogi sem s pomočjo programa Aspen Plus V8.0 prikazal simulacijo proizvodnje amonijaka brez obtoka in z obtokom vhodnih plinov (reaktantov). Želel sem ugotoviti, ali obtok pozitivno ali negativno vpliva na količino končnega produkta, torej amonijaka in hkrati tudi na količino stranskega produkta ( $\text{CO}_2$ ), torej toplogrednega plina.



## **1.1. Hipoteze**

Pred začetkom raziskovanja sem si postavil naslednji hipotezi:

1. S povečanjem obtoka je količina produkta (amonijaka) večja.
2. Izpust toplogrednega plina se zmanjša, če povečamo obtok.

## **1.2. Metodologija**

Podatke za teoretični del sem poiskal v diplomskih nalogah, znanstvenih člankih in na spletnih straneh, kot je spletna stran Evropske unije. Eksperimentalni del sem v celoti opravil na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Mariboru. Uporabil sem program Aspen, ki mi je omogočil simulacijo procesa.

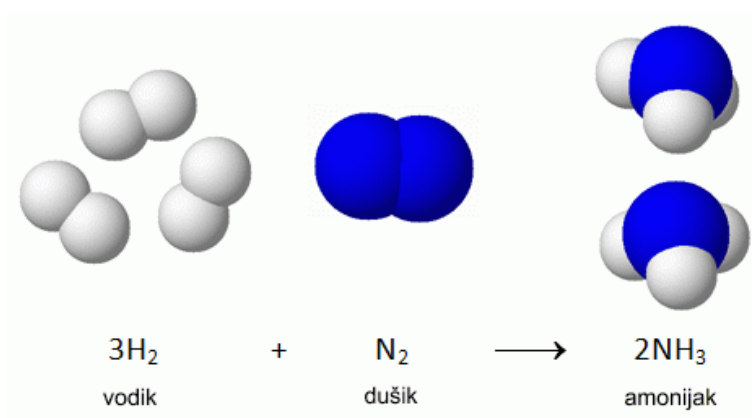
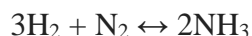
## 2. TEORETIČNI DEL

### 2.1. Amonijak

Amonijak je binarna spojina, sestavljena iz atoma dušika in 3 atomov vodika. Ima en prosti elektronski par in bazičen značaj. Pri normalnih pogojih je brezbarven plin, ostrega, neprijetnega vonja, ki se pri  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  utekočini. Molekule amonijaka v kapljevini so izrazito polarne, kar pomeni, da dobro topijo soli. Iz amonijaka se pri izparevanju sprošča veliko toplote, zato je uporaben v hladilni tehniki. Dobro topen je v vodi, v kateri tvori šibko bazo, amonijev hidroksid. [3] [4]

Amonijak so najprej pridobivali iz živalskih iztrebkov v Afriki. Kemijsko so ga najprej pridobivali kot stranski produkt v proizvodnji koksa iz črnega premoga. Pozneje so ga pridobivali iz kalcijevega cianoamida ( $\text{CaCN}_2$ ) v reakciji z vodo ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Danes pridobivamo amonijak po Haber-Boschovem procesu neposredno iz dušika ( $\text{N}_2$ ) in vodika ( $\text{H}_2$ ). Bistvo tega postopka je spajanje dušika in vodika na katalizatorju. Vlogo katalizatorja ima železo, stabilizirano z aluminijevim in kalijevim oksidom. [3] [5]

Sinteza poteče pri  $400\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$  in tlaku  $200 \times 10^5\text{ Pa}$ , po naslednji enačbi:



Slika 1: Nastanek amonijaka

Gre za eksotermno ravnotežno reakcijo, za katero velja, da je uspešnejša pri nizkih temperaturah in visokem tlaku. Amonijak kljub temu sintetizirajo pri visokih temperaturah, saj vzpostavitev ravnotežja pri nižjih temperaturah traja predolgo. [6]

Amonijak se v glavnem uporablja pri proizvodnji umetnih gnojil, barvil, eksplozivov, dušikove kisline in polimerov. Je tudi sestavina nekaterih gospodinjskih čistil. [3]

## **2.2. Proces proizvodnje amonijaka**

Sinteza amonijaka poteka pri tlaku 200–250 atm in temperaturi 400–500 °C. Reakcijska zmes prehaja skozi štiri sloje katalizatorja in se po vsakem prehodu hladi, da bi se vzdrževala sprejemljiva ravnotežna konstanta. Pri vsakem prehodu je izkoristek samo približno 20-30 %, z vračanjem plinov, ki ne zreagirajo na začetek procesa, se doseže veliko večji izkoristek. [2]

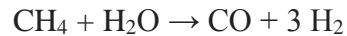
### **2.2.1. Pridobivanje dušika**

Dušik se proizvaja skoraj izključno iz zraka, najpogosteje s frakcionarno destilacijo utekočinjenega zraka. Pri tem se zrak najprej ohladi na temperaturo, ki je nižja od vrelišča komponent v zmesi, torej nekoliko nižja od -200 °C. Nato se tekoči zrak segreje na nižjo točko vrelišča dušika, da ta izhlapi. Dušikov plin, ki uhaja iz tekočega zraka, se zajame, ohladi in še enkrat utekočini. [7]

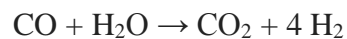
Takšen proces pridobivanja proizvede visoko kvaliteten dušik, ki običajno vsebuje manj kot 20 delcev kisika na milijon vseh delcev. [7]

### 2.2.2. Pridobivanje vodika

Večino vodika, ki je danes proizveden, pridobivamo s pomočjo parnega reforminga metana iz zemeljskega plina. Pri temperaturi 700-1.000 °C metan reagira z vodno paro pri tlaku 3-25 barov v prisotnosti katalizatorja. Pri tem nastanejo vodik, ogljikov monoksid in relativno majhna količina ogljikovega dioksida. [8]

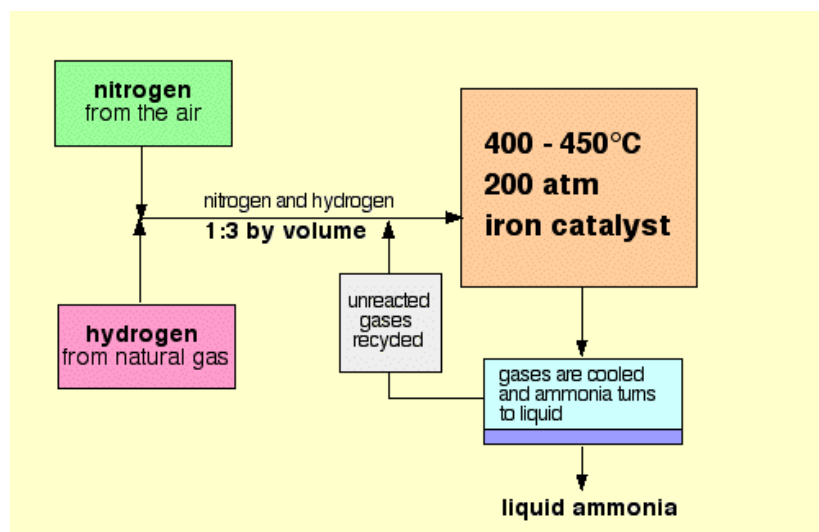


Na koncu presežek vodne pare s pomočjo katalizatorja reagira z ogljikovim monoksidom, da nastane ogljikov dioksid in večja količina vodika. Iz zmesi se nato izločijo ogljikov dioksid in ostale nečistoče, tako nam preostane čisti vodik. [8]



### 2.2.3. Proizvodnja amonijaka

Proces proizvodnje amonijaka združuje dušik iz zraka z vodikom, pridobljenim predvsem iz zemeljskega plina (metan), v amonijak. Reakcija je obojesmerna ali reverzibilna, proizvodnja amonijaka pa eksotermna. Plina morata biti v stehiometrijskem razmerju 1:3, da lahko reakcija pravilno poteče. [6]



Slika 2: Shema proizvodnje amonijaka

## 2.2.4. Recikliranje z obtokom

Pri vsakem prehodu plinov skozi reaktor se le približno 20-30 % dušika in vodika pretvori v amonijak. S stalnim recikliranjem plinov, ki ne zreagirajo v celoti, lahko dosežemo izkoristek tudi do 98 %. [2]

## 2.3. Toplogredni plini

Toplogredni plin je plin v atmosferi, ki Sončevemu kratkovalovnemu sevanju večinoma dopušča vstop v ozračje, verjetno vpije del izhajajočega dolgovalovnega sevanja in tako segreva zrak. Zmerna količina toplogrednih plinov v ozračju je dobrodejna, saj bi bila brez njih temperatura na površju le okoli  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Če se v ozračje izpušča preveč toplogrednih plinov, se povprečna temperatura planeta postopoma viša in pojavljajo se podnebne spremembe. [9]

Kot povzročitelj podnebnih sprememb je največkrat omenjen ogljikov dioksid, saj je kar več kot 80 % vseh izpustov toplogrednih plinov prav on. Največ se ga izloči pri izgorevanju fosilnih goriv, kot so nafta, premog in zemeljski plin, ki jih uporabljamo v domovih, prevoznih sredstvih, industriji. Na vsebnost v zraku močno vplivata tudi izsekavanje in požiganje gozdov. [10]



Slika 3: Izpusti toplogrednih plinov v svetu

Glavni povzročitelj za veliko vsebnost metana v ozračju je človek. Metan najdemo v fosilnih gorivih, na riževih poljih, odlagališčih odpadkov in živinskih farmah, kjer je glavni izvor shranjevanje gnojnice v velikanskih rezervoarjih. [9]

Med zelo nevarnimi toplogrednimi plini je tudi vodna para. Ugotavljamo, da je v ozračju veliko in izračuni kažejo, da je največji povzročitelj za višjo temperaturo na Zemlji. Na vsebnost vodne pare v ozračju žal ne moremo vplivati, ker ne izvira iz človekove dejavnosti. Količina vodne pare v atmosferi je v neposredni povezavi s temperaturo. Če se dvigne temperatura, se več vode z izhlapevanjem spremeni v vodno paro in obratno. Torej, ko se dvigne temperatura (na primer zaradi CO<sub>2</sub> iz fosilnih goriv), več vode izhlapi in se spremeni v vodno paro. Ker je vodna para toplogredni plin, dodatna vodna para povzroči, da se temperatura še bolj dvigne – to je pozitivna povratna zanka. [9] [11]

Kot je iz spodnje preglednice razvidno, se je od začetka industrijske revolucije koncentracija toplogrednih plinov v ozračju močno povečala. Zaradi kurjenja fosilnih goriv se je koncentracija ogljikovega dioksida povišala iz 270 na 380 ppm (parts per million- delcev na milijon). Najpogostejši toplogredni plini so ogljikov dioksid, metan in vodna para. Koncentracija perfluoretana in žveplovega heksafluorida pred industrijsko dobo in danes pa nam ni znana.[9]

Toplogredni plin	Kemijska formula	Antropogeni vir	Življenjska doba v ozračju (leta)	Koncentracija pred industrijsko dobo	Trenutna koncentracija
Vodna para	H <sub>2</sub> O			0-4 %	0-4 %
Ogljikov dioksid	CO <sub>2</sub>	Sežigaje fosilnih goriv	50 - 200	270 ppm	380 ppm
Metan	CH <sub>4</sub>	Fosilna goriva, neoluščen riž, deponije odpadkov	12	700 ppb	1700 ppb
Dušikov dioksid	N <sub>2</sub> O	Gnojila, industrijski procesi, sežiganje	114	275 ppb	315 ppb
CFC - 12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	Tekoča hladilna sredstva, pene, hladilniki	100	0	0,54 ppb
Perfluoretan	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	Pridelava aluminija, izdelava polprevodnikov	10.000	?	?
Žveplov heksafluorid	SF <sub>6</sub>	Izolacijske tekočine	3200	?	?

Tabela 1: Lastnosti toplogrednih plinov

## **3. EKSPERIMENTALNI DEL**

### **3.1. Program Aspen**

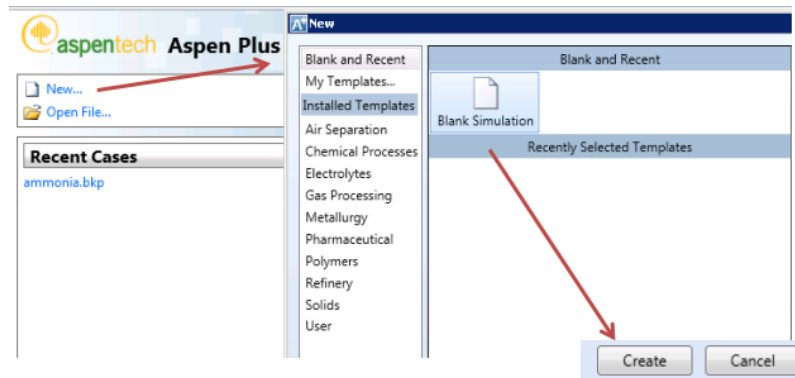
Aspen je programski paket za simulacijo procesov, ki se danes široko uporablja v industriji. Glede na zasnovo postopka in ustrezen izbor termodinamičnih modelov program uporablja matematične modele za napovedovanje učinkovitosti postopka. Te podatke je mogoče nato uporabiti v ponavljajočem se načinu za optimizacijo zasnove. [12]

Takšno modeliranje termodinamičnih lastnosti je še posebej pomembno pri ločevanju neidealnih zmesi. Program lahko upravlja z zelo zapletenimi postopki, vključno s sistemi za ločevanje z več stopnjami, kemičnimi reaktorji, destilacijo kemično reaktivnih spojin in celo raztopinami elektrolitov, kot so mineralne kisline in raztopine natrijevega hidroksida. [12]

Aspen sam ne oblikuje postopka, zato je potreben načrt, ki ga uporabnik oskrbuje in simulira delovanje postopka, ki je določen v tej zasnovi. Za zagotovitev primernih vrednosti vhodnih parametrov in ocenjevanje ustreznosti dobljenih rezultatov je potrebno dobro razumevanje osnovnih načel kemijskega inženiringa. Ta program se uporablja tudi v akademskem krogu za stabilno in dinamično simulacijo, načrtovanje procesov, modeliranje zmogljivosti in optimizacijo. [12]

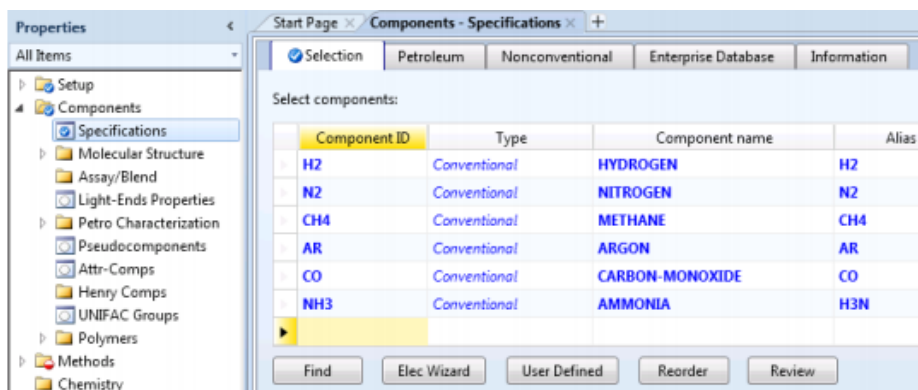
### 3.2. Sestavljanje simulacije proizvodnje amonijaka brez obtoka

Ko sem zagnal program, sem odprl novo stran in izbral opcijo Blank simulation, ki mi je odprla prazno simulacijo.



Slika 4: Opiranje nove simulacije v programu

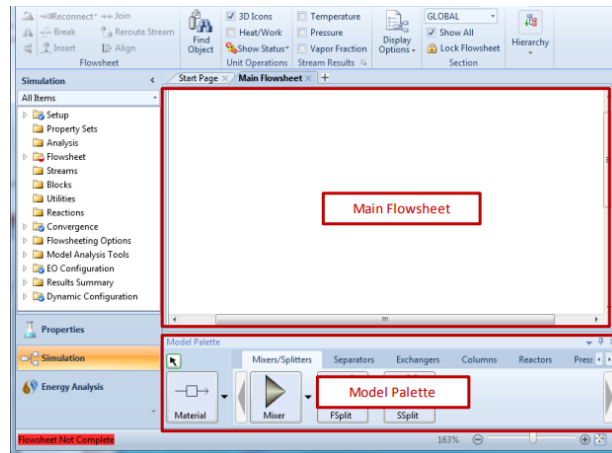
V okence Components sem vnesel komponente, ki so pri reakciji potrebne in ki pri njej nastanejo. V programu so vse komponente že vnesene, zato je dovolj, če vpišemo le ime in želeno spojino izberemo.



Slika 5: Vnašanje komponent v program

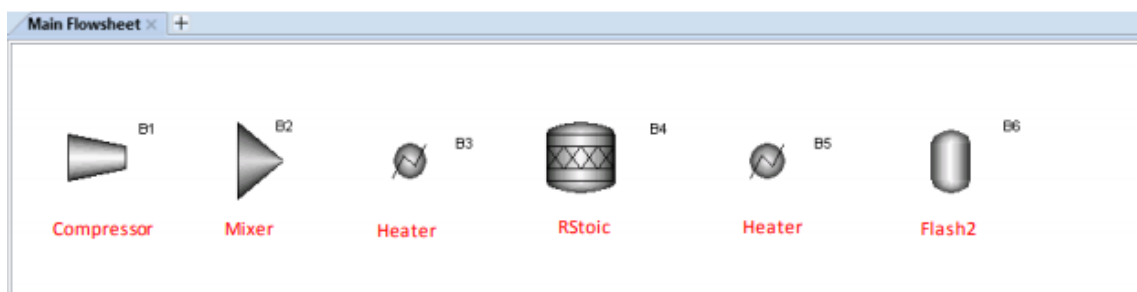


Po odprtju okna z imenom Simulation se je na ekranu pokazala paleta, v kateri so bili zbrani vsi modeli reaktorjev, mešal, grelcev in ostalih naprav. Nad to paletto je okence, v katerega vnašamo te modele.

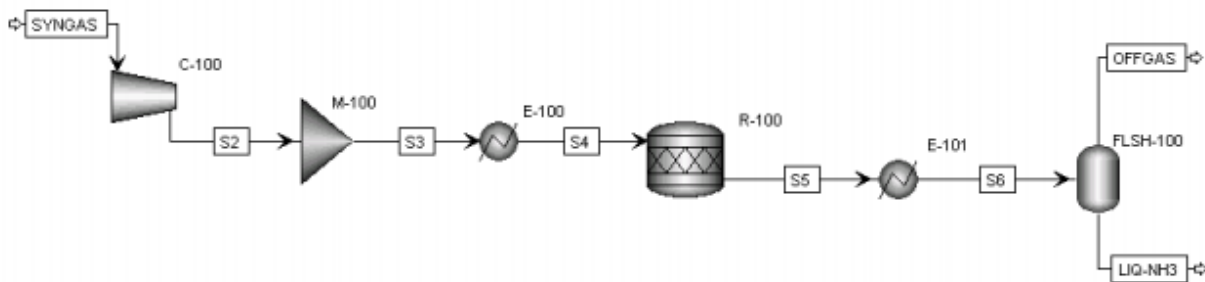


Slika 6: Vnašanje modelov v program

Med paletto sem poiskal modele, potrebne za proizvodnjo amonijaka, in jih po pravilnem vrstnem redu vstavil v shemo. Proces se začne z vnosom vhodnih plinov v kompresor, ki te pline stisne na primeren tlak (271,4 atm). Nato se v mešalu plini premešajo, v grelcu pa segrejejo na temperaturo, ki je potrebna da reakcija sploh steče (755 K). Celotna reakcija med vhodnimi plini poteče v reaktorju v določenem stehiometričnem razmerju. V naslednjem grelcu se nato zmes dejansko ohladi, da amonijak preide v tekoče stanje, nazadnje pa se zmes tekoče – plinasto loči, da dobimo čisti amonijak.

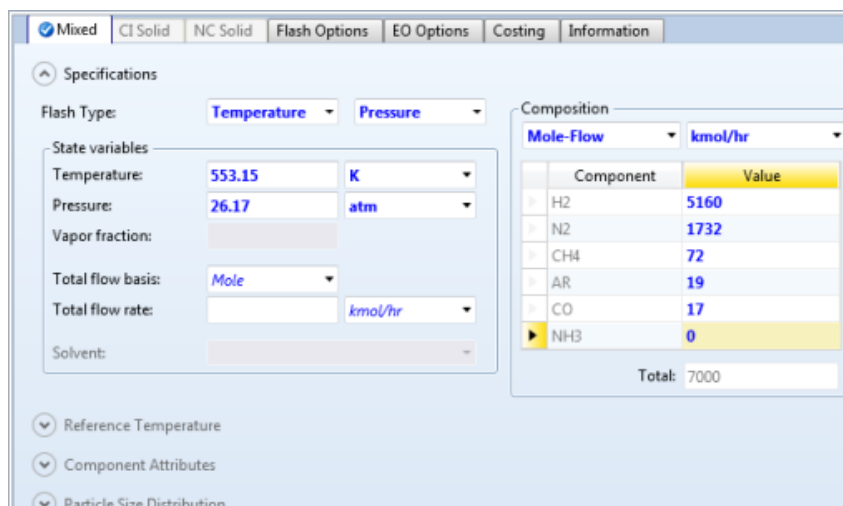


Slika 7: Modeli



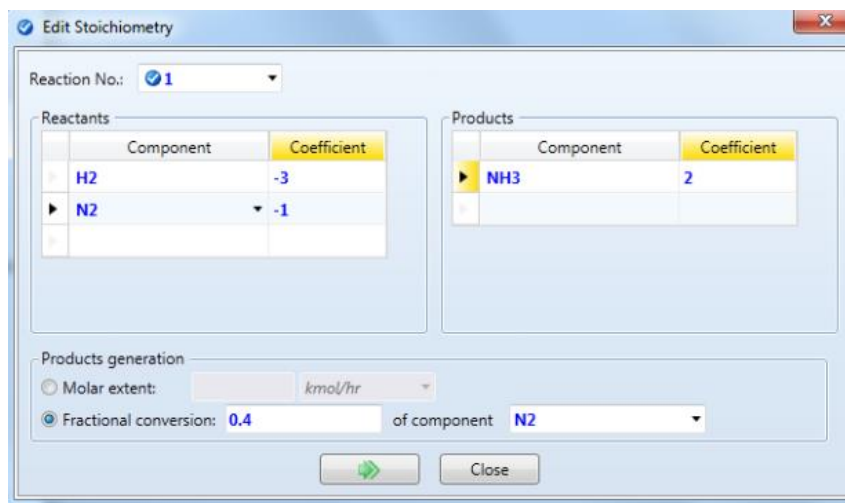
Slika 8: Proces proizvodnje amonijaka

Z dvojnimi klikom na oznako SYNGAS sem odprl okence, v katerega sem vnesel količino posamezne komponente za proces, da bi ta pravilno stekel. Označil sem tudi potreben tlak in temperaturo.



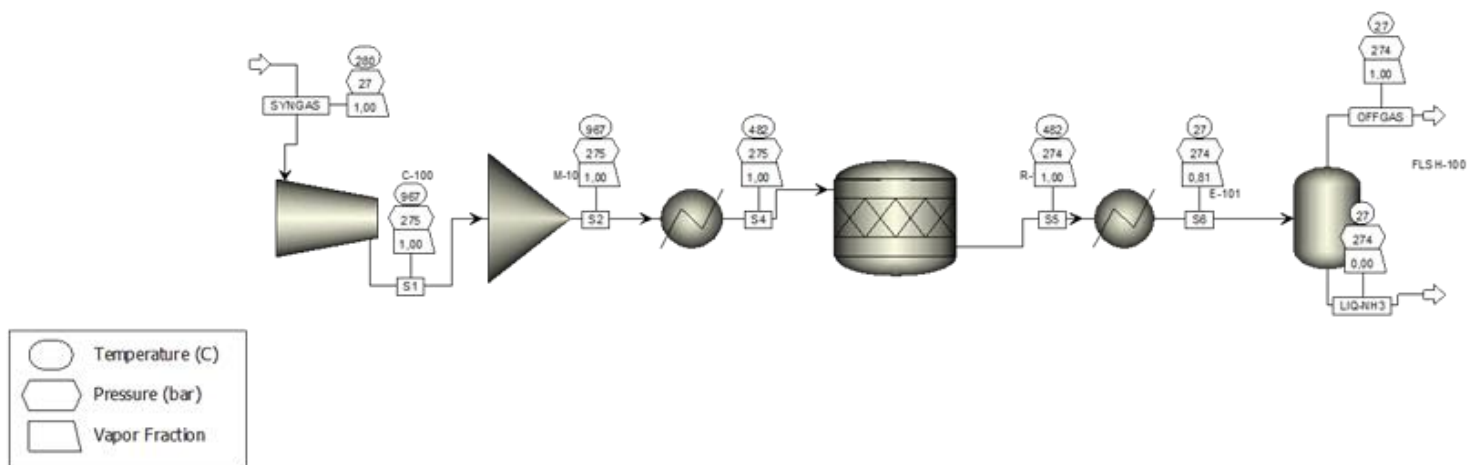
Slika 9: Določanje vtoka, temperature in pritiska komponent

V reaktorju je bilo potrebno tudi določiti, katere komponente v kemijski reakciji so reaktanti in katere produkti ter količino dušika, ki pri reakciji zreagira. Da je reakcija pravilno potekla, sta morala biti dušik in vodik v razmerju 1:3. V program sem pri reaktantih vnesel negativni koeficient, saj se elementi pri reakciji porabljajo.



Slika 10: Določitev kemijske reakcije

Da je celoten proces stekel pravilno, je bilo potrebno vsakemu izmed modelov procesa določiti tlak oziroma temperaturo na enak način kot pri prejšnji točki. Če sem za tlak vnesel podatek 0, je program ta podatek vzel iz prejšnjega modela v procesu. Ti podatki so razvidni v končni simulaciji procesa proizvodnje.

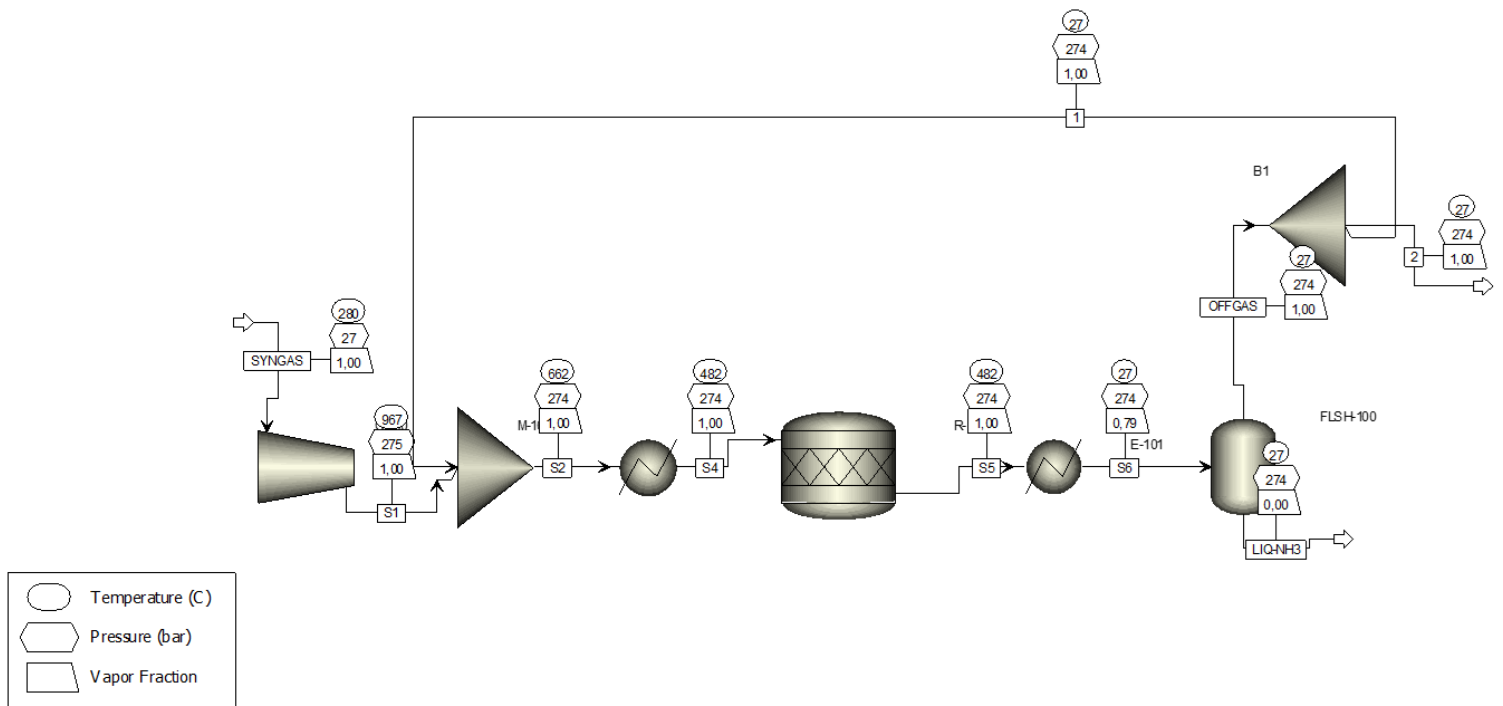


Slika 11: Končna simulacija procesa

### 3.3. Sestavljanje simulacije proizvodnje amonijaka z obtokom

Iz prejšnje simulacije proizvodnje je razvidno, da postopek brez obtoka proizvaja dva toka, in sicer: tekoči tok, ki vsebuje amonijak, in plinasti tok, ki vsebuje večinoma vodik in dušik, ki nista zreagirala. Reakcija, ki je potekla, je obojesmerna oziroma ravnotežna, zato reaktanta nista v celoti zreagirala. Da bi bili stroški proizvodnje čim manjši in donos čim večji, je zaželeno zajeti in reciklirati reaktante, ki niso v celoti zreagirali.

Ko sem imel simulacijo proizvodnje amonijaka brez obtoka že pripravljeno in rezultate shranjene, sem procesu dodal še model ločevalnika, ki loči odpadno snov od še uporabne snovi. Uporabno snov sem speljal ponovno v mešalo, kjer sta komponenti (vodik in dušik) ponovno reagirali. Simulacijo procesa sem opravil s 30 %, 50 %, 70 % in z 90 % obtokom.



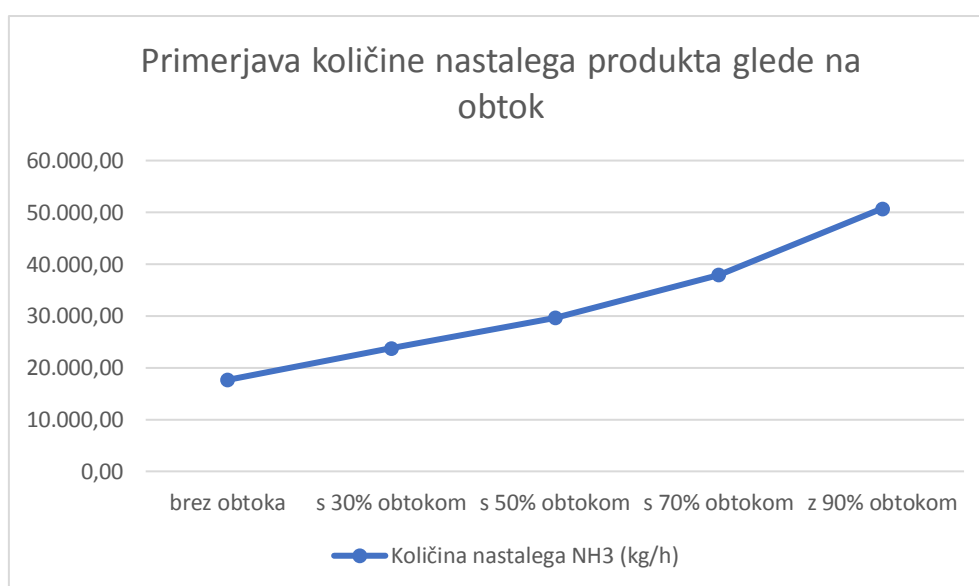
Slika 12: Simulacija proizvodnje z obtokom

## 4. ZAKLJUČEK IN DISKUSIJA

Prvo hipotezo S povečanjem obtoka je količina produkta (amonijaka) večja na osnovi narejenih simulacij potrjujem. Iz spodaj podane preglednice je lepo razvidno, da se pri povečanju obtoka količina nastalega produkta poveča.

	Količina nastalega NH <sub>3</sub> (kg/h)
brez obtoka	17.648,3
s 30% obtokom	23.790,4
s 50% obtokom	29.637,7
s 70% obtokom	37.921,7
z 90% obtokom	50.743,9

Tabela 2: Primerjava količine nastalih produktov glede na obtok

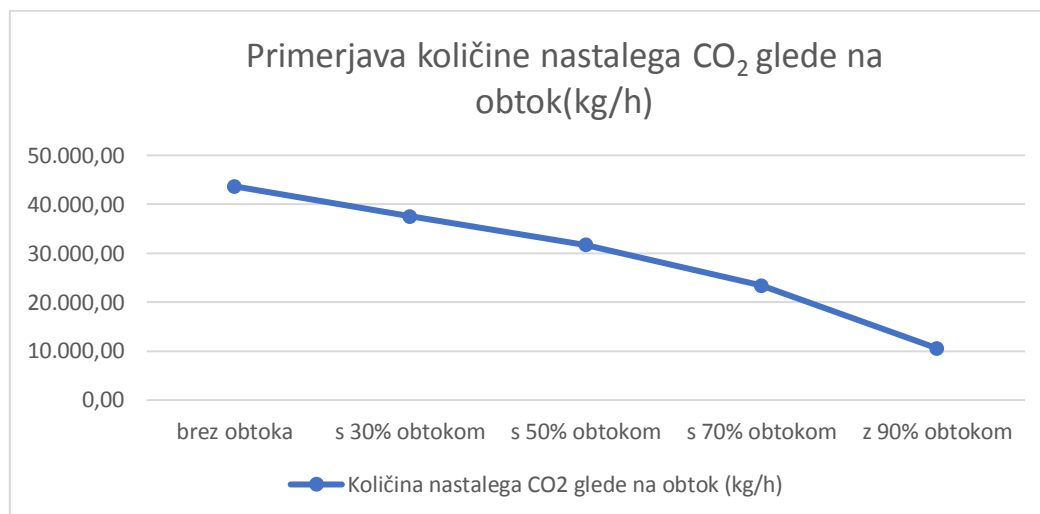


Graf 1: Primerjava količine nastalega produkta glede na obtok

Drugo hipotezo Izpust toplogrednega plina se zmanjša, če povečamo obtok na podlagi zbranih rezultatov potrjujem. Iz spodaj prikazanega grafa je opazno, da se s povečanjem obtoka vhodnih plinov zmanjšajo tudi emisije izpušnih plinov, s tem pa tudi izpust ogljikovega dioksida, ki je toplogredni plin.

	Količina nastalega CO <sub>2</sub> (kg/h)
brez obtoka	43.663,3
s 30% obtokom	37.521,2
s 50% obtokom	31.673,4
s 70% obtokom	23.390,4
z 90% obtokom	10.566

Tabela 3: Primerjava količine nastalega CO<sub>2</sub>



Graf 2: Primerjava količine nastalega CO<sub>2</sub> glede na obtok

S pomočjo dobljenih rezultatov sem prišel do ugotovitve, da se pri uporabi 90 % obtoka količina nastalega ogljikovega dioksida zmanjša za 75 %, hkrati pa se količina končnega produkta poveča za 187 %.

Zrak in okolje, v katerem živimo, jemljemo kot samoumevno. Zrak, ki ga dihamo, nam ne pomeni veliko, vendar brez njega ni življenja. Toplogredni plini so največji povzročitelji onesnaževanja okolja, ljudje pa smo najodgovornejši za njihovo previsoko količino v ozračju. [9]

Proizvodnja amonijaka je v kemijski industriji zelo razširjen proces, zato je tudi izpust toplogrednih plinov velik. S pomočjo narejenih raziskav sem ugotovil, da bi lahko z izvedeno simulacijo zmanjšali nastanek toplogrednih plinov pri takšni proizvodnji in s tem pripomogli k izboljšanju kvalitete zraka in čistosti okolja.

V prihodnje bi želel proces proizvodnje ovrednotiti tudi s finančnega vidika in ugotoviti finančno razliko pri proizvodnji amonijaka brez obtoka in z obtokom. Pregledal bi tudi stroške porabe primarnih virov za gretje in hlajenje pri proizvodnji ter poskušal ugotoviti, ali je proces z 90 % obtokom res najbolj rentabilen.

## LITERATURA

- [1] Aspen tech. (oktober 2012). Ammonia Synthesis with Aspen Plus® V8.0 part 1. [Dostopno: 28.2.2020]. Pridobljeno s:  
<https://lms.nchu.edu.tw/sysdata/doc/1/196bb4d4fac4c3d7/pdf.pdf>
- [2] Flavio V. Tavares, Luciane P. C. Monteiro, Fernando B. Mainier. Indicators of energy efficiency in ammonia productions plants [na spletu]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brazil, 2013. [Dostopno: 28.2.2020]. Pridobljeno s:  
[http://ajer.org/papers/v2\(7\)/N027116123.pdf](http://ajer.org/papers/v2(7)/N027116123.pdf)
- [3] Tement K. Zaznavanje amoniaka na osnovi sol – gel senzorskih nanosov [na spletu]. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, 2016. [Dostopno: 29.2.2020]. Pridobljeno s:  
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=102754>
- [4] Čeh, B. Splošna kemija. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2018.
- [5] Jennings, J. R. (2013). Catalytic Ammonia Synthesis. Cleveland: Springer Science & Business Media 1-13
- [6] Jim Clark. (april 2013). The Haber process. [Dostopno: 28.2.2020]. Pridobljeno s:  
<https://www.chemguide.co.uk/physical/equilibria/haber.html>
- [7] Science Encyclopedia (2020). Nitrogen. [Dostopno: 1.3.2020]. Pridobljeno s:  
<https://science.jrank.org/pages/4683/Nitrogen-How-nitrogen-obtained.html>
- [8] Energy Efficiency & Renewable Energy. Hydrogen Production: Natural Gas Reforming. [Dostopno: 1.3.2020]. Pridobljeno s: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>
- [9] Juhant K. Toplogredni plini [na spletu]. Višja strokovna šola B&B, 2011. [Dostopno: 28.2.2020]. Pridobljeno s: [https://www.bb.si/doc/diplome/Juhant\\_Klara.pdf](https://www.bb.si/doc/diplome/Juhant_Klara.pdf)
- [10] Guillot J. D. (2018). Podnebne spremembe: izpusti toplogrednih plinov v EU [na spletu]. Evropski parlament. [Dostopno: 28.2.2020]. Pridobljeno s:  
<https://www.europarl.europa.eu/news/sl/headlines/society>



[11] Cook J. (2020). Explaining how the water vapor greenhouse effect works. [Dostopno: 2.3.2020]. Pridobljeno s: <https://www.skepticalscience.com/water-vapor-greenhouse-gas.htm>

[12] Michigan State University. Aspen tutorial [na spletu]. College of Engineering, Chemical Engineering and Materials Science. [Dostopno: 1.3.2020]. Pridobljeno s: <https://www.chems.msu.edu/resources/tutorials/ASPEN>