

## REGENERACIJA AMONIJAKA I UGLJEN- DIOKSIDA IZ VIŠEKOMPONENTNIH RASTVORA II – Simulacija i analiza rezultata

*U drugom delu rada prikazuju se rezultati simulacija tehnološkog procesa regeneracija amonijaka i ugljendioksida iz višekomponentnog rastvora  $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-NaCl-NH}_4\text{Cl}$ , a na osnovu razvijenog matematičkog modela procesa (Hem.ind., 56 (7–8) (2002) 330–337). Simulacijom su definisani parametri tehnološkog procesa koji su označeni na tehnološkoj šemi, kao što su protoci, količine, fizičko–hemijske osobine i određujući parametri procesa (pritisak, temperatura, ...) svih tokova. Pored toga, proračun velikog broja različitih varijanti ovog procesa omogućava analizu i stvaranje funkcionalne zavisnosti određenih ključnih veličina procesa (masenog protoka matičnog rastvora kojim se napaja postrojenje; količina upotrebene vodene pare). Dobijene funkcionalne zavisnosti određenih ključnih veličina su bitne za sintezu apsorpciono–desorpcionih procesa, za analizu eksplotacije procesa i za upravljanje procesom.*

Simulacija je oblik prikazivanja nekih aspekata određenog konkretnog sistema pomoću brojeva i simbola čijim se jednostavnim manipulisanjem olakšava analiza takvog sistema. Za hemijskog inženjera "određeni konkretan sistem", u najvećem broju slučajeva, predstavlja hemijsko–tehnološki proces prikazan njegovom procesnom šemom. Pri rešavanju svakog simulacionog problema nailazi se uglavnom na tri osnovne faze: opis tehnološkog procesa, njegovo prikazivanje terminologijom modela (matematički ili pomoću simbola) i na kraju rešavanje matematičkog modela u cilju dobijanja brojeva ili simbola. Zadaci simulacije procesnih šema su najčešće veoma složeni, kako u fazi formulisanja problema tako i u fazi njegovog rešavanja.

U ovom radu je prikazana simulacija jedne klasične procesne šeme regeneracije amonijaka i ugljendioksida iz višekomponentnih sistema, na osnovu matematičkog modela procesa koji je razvijen i predstavljen algoritmom u prethodnom radu [1]. Rezultati koji se mogu dobiti rešavanjem ovog matematičkog modela, a posebno mnogobrojne varijante i alternative ulaznih promenljivih, omogućuju izvlačenje veoma korisnih zaključaka primenljivih za projektovanje procesa, analizu procesa i eksploataciju ili pak upravljanje procesom. Zato se u ovom delu rada detaljno prikazuje međusobna zavisnost određenih bitnih karakteristika procesa. Neposredna korist od istraživanja prikazanih u ovom radu je mogućnost simulacije procesa na osnovu razvijenog matematičkog modela, čiji rezultati omogućavaju izračunavanje materijalnog i toplotnog bilansa, poznavanje svih relevantnih parametara procesa prikazanih na procesnoj šemi i razmatranje funkcionalne zavisnosti jednih karakteristika procesa od drugih.

### TEHNOLOŠKI PROCES REGENERACIJE AMONIJAKA I UGLJENDIOKSIDA KAO OBJEKT SIMULACIJE

Simulacija tehnološkog procesa regeneracije amonijaka i ugljendioksida iz višekomponentnog rastvora  $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-NaCl-NH}_4\text{Cl}$  sa svim svojim osobenostima iskazanim određenim parametrima tehnološkog režima, izvršena je na osnovu razvijenog matematičkog modela koji je prikazan u radu [1], gde je detaljno prikazan ovaj tehnološki proces. U drugom delu se, radi lakšeg praćenja objekta simulacije i rezultata simulacije, ponovo slikom 1 prikazuje tehnološka šema procesa regeneracije amonijaka i ugljendioksida. Na šemi su označeni svi postojeći tokovi sa relevantnim parametrima koji definišu protoke, sastav i fizičko–hemijske osobine svakog pojedinačnog toka. Ovi procesni parametri i računске varijable su određene simulacijom čiji su rezultati predmet ovog drugog dela rada.

Simulacija procesa regeneracije amonijaka i ugljendioksida i izračunavanje materijalnog i toplotnog bilansa daje brojčane vrednosti relevantnih parametara označenih na tehnološkoj šemi procesa (slika 1), dok su rezultati prikazani u prilogu ovog rada.

### ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE

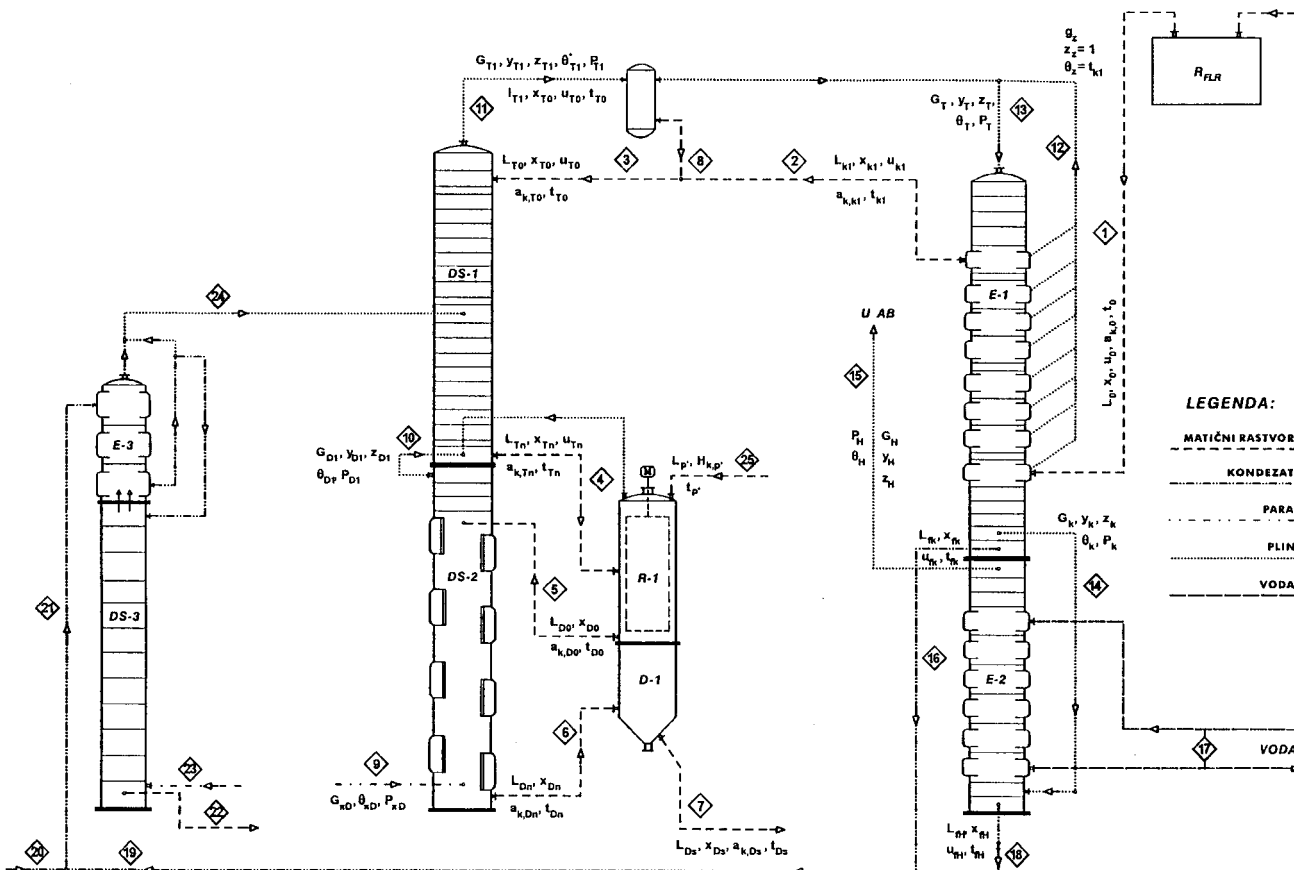
U prvom delu rada razvijen je matematički model koji se može iskoristiti za simulaciju jednog standardnog tehnološkog procesa kao što je proces regeneracije amonijaka i ugljendioksida iz višekomponentnog sistema  $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-NaCl-NH}_4\text{Cl}$ . Nakon proračuna izvedenog u velikom broju raznih varijanti, menjajući pri tome kapacitet postrojenja C, količinu dodane vodene pare  $G_{\text{TP}}$  i druge ulazne varijable, izvršena je analiza dobijenih rezultata. Za ovu analizu izdvojene su neki karakteristični parametri procesa bitni za sintezu apsorpciono–desorpcionih procesa, za analizu ponašanja postrojenja i procesa u eksploataciji ili za potrebe upravljanja procesom.

Tehnološki proces regeneracije amonijaka i ugljendioksida odvija se sa naglašenim učešćem desorpcije  $\text{NH}_3$  i to manjim delom termičkom razgradnjom, a većim

Adresa autora: M.B. Jotanović, Nova Skojevska 57–4, 11000 Beograd

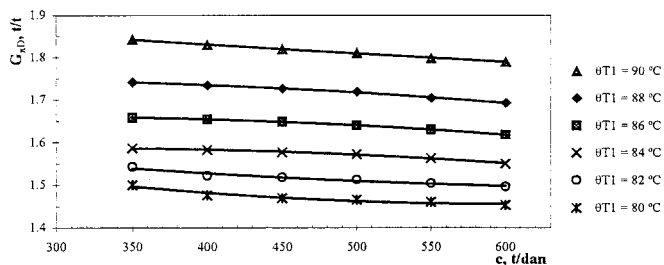
Rad primljen: Septembar 18, 2002.

Rad prihvaćen: Oktobar 28, 2002.



Slika 1. Šema regeneracije amonijaka i ugljen dioksida kao objekta simulacije  
Figure 1. Scheme of NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> regeneration as a simulation object

destilacijom sa vodenom parom, pa je potreba i potrošnja vodene pare određenih karakteristika veoma važan faktor za tehnološka i ekonomska razmatranja procesa. Potrošnja vodene pare zavisi od napajanja postrojenja matičnim rastvorom (odnosno od kapaciteta postrojenja), od temperature gasovite faze na izlazu iz desorbera DS-1 i od drugih veličina. Ova zavisnost prikazana je na slici 2. Uticaj napajanja postrojenja matičnim rastvorom (ulaz tečne faze) na proces desorpcije NH<sub>3</sub> odražava se i preko broja teoretskih podova i hidrauličke slike desorbera. Povećanje napajanja izaziva porast hidrauličkog



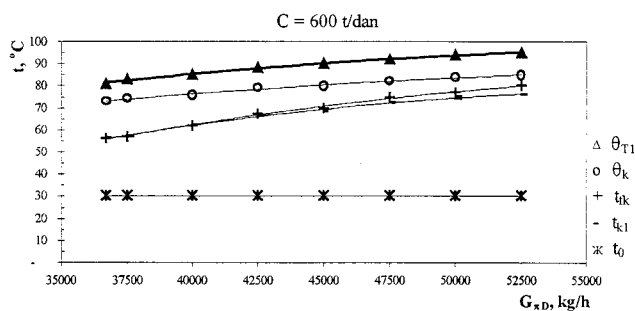
Slika 2. Promena količine vodene pare u zavisnosti od kapaciteta postrojenja pri konstantnim temperaturama gasovite faze na izlazu iz DS-1.

Figure 1. Amount of steam as a function of plant capacity for constant temperatures at the exit of DS-1

otpora aparata i odnošenja kapljica pa samim tim smanjuje koeficijent korisnog delovanja rada. Ovo smanjenje teoretskog broja podova kompenzira se povećanjem količine vodene pare, što opet pogoršava hidrauličku sliku desorbera.

Promenom količine vodene pare koja se dodaje u postrojenje menja se i temperaturni profil procesa regeneracije amonijaka i ugljendioksida. Promena temperature nekih karakterističnih tokova, označenih na tehnološkoj šemi, u zavisnosti od dodate količine vodene pare prikazana je na slici 3. Naravno, uticaj količine vodene pare na temperaturu nekih tokova u procesu je zanemarljiv (kao npr. na temperaturu matičnog rastvora  $t_0$ ), dok je taj uticaj na temperaturu drugih tokova od suštinskog značaja (kao npr. na temperaturu gasovite smeše  $\theta_{T1}$  i  $\theta_k$  ili na temperaturu kondenzata i predgrejanog matičnog rastvora  $t_{k1}$  i  $t_{k1}$ ).

Parno-gasovita faza na izlazu iz desorbera DS-1 sadrži NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O u količini koja nije u faznoj ravnoteži sa tečnom fazom na vrhu desorbera pri postojećim parametrima (p, t). Praktično, količina NH<sub>3</sub> i CO<sub>2</sub> u ovom smeši je jednaka količini NH<sub>3</sub> i CO<sub>2</sub> u tečnoj fazi na ulazu u postrojenje. Količina vodene pare (H<sub>2</sub>O) u njoj je jednaka količini vodene pare  $G_{vD}$  dodate u postrojenje i umanjena za količinu kondenzovane vodene pare utro-



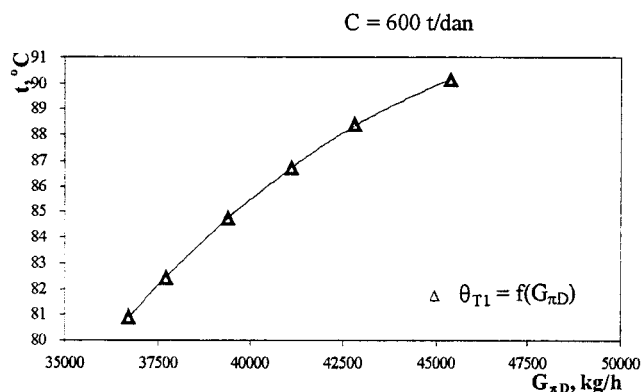
Slika 3. Promena temperature u zavisnosti od količine vodene pare

Figure 3. Temperature as a function of the amount of steam

šene na zagrevanje tečne faze, na razlaganje ugljeničnih jedinjenja amonijaka i na desorpciju  $\text{NH}_3$  i  $\text{CO}_2$ . Temperatura ove parnogasovite faze, na izlazu iz desorbera,  $\theta_1$ , zavisi od njenog sastava i pritiska. Iz dijagrama trokomponentnog sistema  $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  [2] jasno se vidi da su izoterme praktično paralelne hipotenuzi trougla, što znači da temperatura parno-gasovite faze ne zavisi od masenog odnosa  $\text{CO}_2 : \text{NH}_3$ , već isključivo od sadržane u njoj vodene pare ( $\text{H}_2\text{O}$ ) odnosno, posredno, od količine dodate vodene pare  $G_{\pi D}$  u postrojenje. Ova zavisnost je potvrđena dobijenim rezultatima simulacije procesa i prikazana je na slici 4. Ako se uzme u obzir promena masenog napajanja matičnim rastvorom (odnosno promena kapaciteta postrojenja) onda se dobija očekivana funkcionalna zavisnost prikazana na slici 5. Nisu velika odstupanja temperaturnog nivoa između različitih napajanja (kapaciteta) što se jasno zaključuje iz dosta zbijenog položaja odgovarajućih krivih linija.

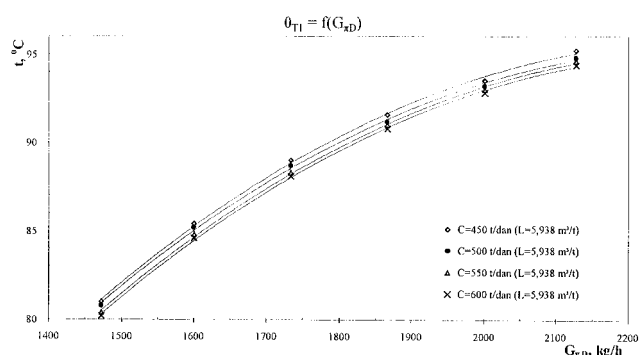
Temperatura parno-gasovite faze  $\theta_{T1}$  na izlazu iz desorbera DS-1 je od ključnog značaja za upravljanje procesom regeneracije amonijaka i ugljendioksida pa je time od većeg značaja poznavanje zavisnosti prikazanih na ovim dijagramima (slika 4 i slika 5).

Promena količine parno-gasne faze  $G_{T1}$  i  $G_K$ , kondenzata  $L_{tk}$ , desorbovanog ugljendioksida  $g_z$  i sadržaja  $\text{CO}_2$  i  $\text{NH}_3$  u njima, u zavisnosti od količine vodene pare  $G_{\pi D}$ , prikazana je na slici 6 i slici 7. Oblik krivih linija uka-



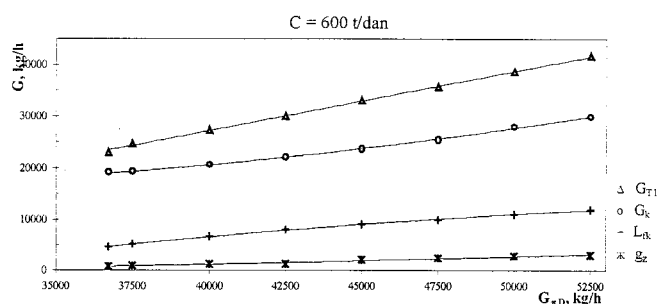
Slika 4. Promena temperature gasne faze u zavisnosti od količine vodene pare

Figure 4. Gas phase as a function of the amount of steam



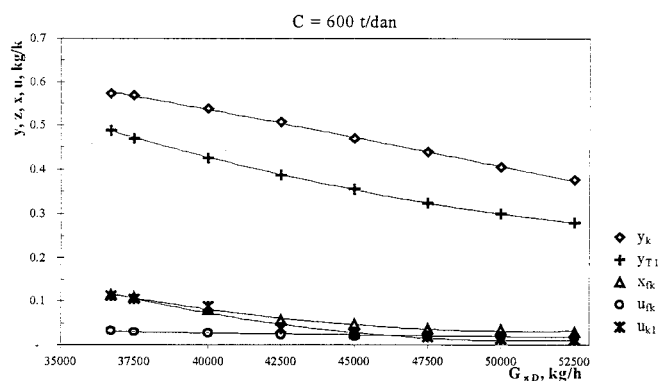
Slika 5. Promena temperature gasne faze u zavisnosti od količine vodene pare pri različitim protocima tečne faze

Figure 5. Gas phase temperature as a function of the amount of steam for various liquid phase flows



Slika 6. Promena količine gasne faze i kondenzata u zavisnosti od količine vodene pare

Figure 6. Gas phase quantity and condensate quantity as a function of the amount of steam

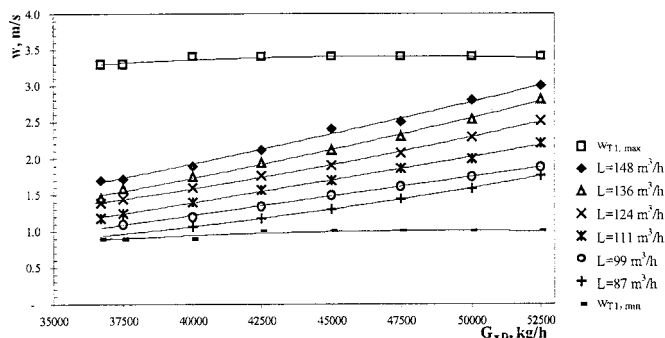


Slika 7. Promena sadržaja  $\text{NH}_3$  i  $\text{CO}_2$  u gasnoj fazi i kondenzatu u zavisnosti od količine vodene pare

Figure 7. Change of the amounts of  $\text{NH}_3$  and  $\text{CO}_2$  in the gas phase and condensate as a function of the amount of steam

zuje na očekivanu matematičku zavisnost i očekivano ponašanje navedenih parametara.

Hidrodinamički profil desorbera najkarakterističnije je prikazan promenom brzine parno-gasovite smeše na podovima u desorberu. Na istom dijagramu su prikazane i granične vrednosti brzina (slika 8), naravno u zavisnosti od napajanja postrojenja vodenom parom. Ovaj dijagram pokazuje da se za sve vrednosti realnih kapaciti-



Slika 8. Promena brzine gasne faze u DS-1 u zavisnosti od količine vodene pare i tečne faze

Figure 8. the change of gas phase velocity as a function of the amounts of liquid phase

teta (odnosno napajanja matičnim rastvorom) i za realne količine dodate vodene pare, brzina parno-gasovite smeše na podovima desorbera nalazi između minimalne i maksimalne vrednosti (između graničnih vrednosti brzina). Ovako širok dijapazon vrednosti brzina omogućavaju konstrukcione karakteristike podova, jer je poznato da barbotazni podovi različitih tipova, a posebno podovi sa zvonima omogućavaju širok dijapazon vrednosti za radnu brzinu parno-gasovite faze.

Ovo su neke od važnijih veličina apsorpciono-desorpcionog procesa regeneracije amonijaka i ugljendioksida iz višekomponentnog rastvora  $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-NaCl-NH}_4\text{Cl}$ , prikazane u međusobnoj zavisnosti. Inače, osnovna vrednost matematičkog modela je mogućnost izvođenja proračuna velikog broja varijanti od kojih se može odabrati optimalna koja definiše:

- masene protoke, fizičko-hemijske osobine i odgovarajuće parametre (pritisak, temperatura,...) svih tokova prikazanih na slici 1;
- relevantne međufazne transformacije u procesu;
- hidrodinamičke karakteristične veličine za određene elemente za razmenu mase i toplote;
- druge relevantne veličine tehnološkog i konstruktivnog proračuna procesa i aparata.

## ZAKLJUČAK

U ovom drugom delu rada kojim se analizira regeneracija amonijaka i ugljendioksida iz višekomponentnih rastvora, prikazani su rezultati simulacije ovog tehnološkog procesa, na osnovu razvijenog matematičkog modela prikazanog u prvom delu rada. Izvršena je analiza i proračuni velikog broja različitih varijanti od kojih je odabrana jedna i rezultati dati u prilogu ovog rada, a koja prikazuje osnovne parametre kao što su: maseni protoci, pritisak, temperatura, svih tokova prikazanih na tehnološkoj šemi procesa. Rezultati izvedenih simulacija omogućavaju definisanje hidrodinamičkih karakterističnih veličina određenih elemenata (uređaja) za razmenu mase i toplote, kao i drugih relevantnih veličina neophodnih za tehnološko i konstruktivno izračunavanje ovog procesa i pojedinih uređaja.

Analiza rezultata simulacija, data u ovom radu, pokazuje funkcionalne zavisnosti određenih ključnih parametara procesa od količine dodate vodene pare ili masenog protoka matičnog rastvora sa kojim se napaja postrojenje. Funkcionalne zavisnosti određenih ključnih veličina su bitne za sintezu apsorpciono-desorpcionog procesa regeneracije amonijaka i ugljendioksida, za analizu ponašanja postrojenja u eksploataciji ili za potrebe upravljanja procesom.

## OZNAKE PROMENLJIVIH

- a – koncentracija materije u tečnoj fazi, kg/kg;
- c – specifična toplota, kJ/(kg·K);
- G – maseni protok parno-gasovite faze, kg/h;
- g – maseni fluks desorbirane (apsorbirane) materije, kg/(m<sup>2</sup>·h);
- i – sadržaj toplote vodene pare, kJ/kg;
- L – maseni protok tečne faze, kg/h;
- l – odnošenjekapljičica tečne faze sa jedinične površine poda (fluks), kg/(m<sup>2</sup>·h);
- P – pritisak, bar, N/m<sup>2</sup>;
- ΔP – hidraulični otpor, bar, N/m<sup>2</sup>;
- Q – količina toplote, kJ/kg;
- q – toplotni efekat reakcije i toplota međufaznog prelaza, kJ/kg;
- r – toplota isparavanja vode, kJ/kg;
- t – temperatura tečne faze, °C;
- u – koncentracija CO<sub>2</sub> u tečnoj fazi, kg/kg;
- w – linearna brzina, m/s;
- x – koncentracija NH<sub>3</sub> u tečnoj fazi, kg/kg;
- y – koncentracija NH<sub>3</sub> u parno-gasovitoj fazi, kg/kg;
- z – koncentracija CO<sub>2</sub> u parno-gasovitoj fazi, kg/kg;
- α – koeficijent prelaza toplote, W/(m<sup>2</sup>·h);
- θ – temperatura parno-gasovite faze, °C;
- λ – toplotna provodljivost, W/(m·K);
- μ – dinamički viskozitet, N·s/m<sup>2</sup>;
- ν – kinematički viskozitet, m<sup>2</sup>/s;
- ρ – gustina, kg/m<sup>3</sup>;
- σ – površinski napon, N/m;
- τ – vreme, h ili s.

## INDEKSI

- G – parametar parno-gasovite faze;
- L – parametar tečne faze;
- G-L – parametar dvofaznog toka;
- f – parametar toka kondenzata;
- k – komponenta rastvora.

## LITERATURA

- [1] M. Jotanović, Hemijska industrija, **56** (2002) 330.
- [2] G.I. Mikulin, I.K. Poljakov, Distiljacija v proizvodstve sodji, Goshimizdat, Moskva, 1956.

## PRILOG I

## POLAZNE I ZADATE VELIČINE

## I Rastvor soli (koncentracija jona)

1. Sadržaj natrijuma, [ND],	106,500
2. Sadržaj hlorida, [ND],	105,600
3. Sadržaj sulfata, [ND],	0,900

## II Matični rastvor

1. Sadržaj jona natrijuma, [ND],	29,350
2. Sadržaj hloridnog jona, [ND],	92,700
3. Ukupan sadržaj amonijaka, [ND],	90,090
4. Titar, [ND],	25,090
5. Sadržaj CO <sub>2</sub> , [ND],	36,350
6. Sadržaj sulfatnog jona, [ND],	0,900
7. Temperatura, [°C],	30,0

## III Kalcijum hidroksid

1. Sadržaj CaO, [ND],	230,000
2. Sadržaj karbonatnog jona, [ND],	10,000
3. Sadržaj netopivih materija, [kg/m <sup>3</sup> ],	60,000
4. Temperatura, [°C],	96,000
5. Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1250,0

## IV Kapacitet postrojenja

1. Kapacitet postrojenja, [t/dan],	600,0
------------------------------------	-------

## V Vodena para

1. Protok, [kg/h],	42500,0
2. Temperatura, [°C],	118,0
3. Pritisak, [bar],	1,850
4. Koeficijent	6,633

## VI Ostale zadate veličine

1. Sadržaj CO <sub>2</sub> u tečnoj fazi na izlazu iz DS-1, [ND],	1,000
2. Sadržaj CO <sub>2</sub> u tečnoj fazi na izlazu iz DS-1, [maseni %],	0,102
3. Sadržaj NH <sub>3</sub> u tečnoj fazi na izlazu iz DS-2, [ND],	0,100
4. Sadržaj NH <sub>3</sub> u tečnoj fazi na izlazu iz DS-2, [maseni %],	0,0076
5. Minimalna temperatura parno-gasovite faze na izlazu iz DS-1, [°C],	82,0
6. Proizvoljno zadata vrednost temperature za izračunavanje graničnih uslova prirasta temperature matičnog rastvora u E-2, [°C],	35,0
7. Pritisak na vrhu E-1, [bar],	1,003
8. Temperatura površine aparata sa spoljne strane, [°C],	44,0
9. Srednja temperatura vazduha u zgradi gde se nalazi postrojenje, [°C],	20,0
10. Molska masa vode, kg/kmol	18,0
11. Pritisak pod kojim se nalazi DS lužina, [bar],	1,697
12. Koeficijent preračuna ako je p izraženo u barima,	10,882
13. Toplota razlaganja amonijum hlorida, [kJ/kg],	218,000
14. Dopuštene greške:	
– za protoke, [%],	0,070
– za temperature, [%],	0,250

## VII Konstruktivne karakteristike aparata

1. Radna površina poda u DS-1, (Ft = [( $\pi D^2/4$ ) - 2F <sub>prej</sub> ], [m <sup>2</sup> ],	6,320
2. Visina poda u DS-1, [m],	1,000

3. Koeficijent u jednačini za wt1max,	0,025
4. Maseni protok tečne faze (standardni), [kg/h],	168959,4
5. Koeficijenti:	
– Ah	0,260
– ah	-0,940
– bh	1,730
– ch	-7,100
– Al	0,120
– al	1,190
– bl	0,000
– cl	0,000
– dl	26,290
6. Spoljna površina aparata, [m <sup>2</sup> ],	427,0
7. Površina poprečnog preseka međucevnog prostora rashladnog snopa u E-1, [m <sup>2</sup> ],	7,140
8. Koeficijent slobodnog preseka međucevnog prostora rashladnog snopa u E-1, [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ],	0,260
9. Spoljni prečnik rashladne cevi, [m],	0,065
10. Debljina cevi, [m],	0,0075
11. Debljina inkrustacije sa spoljne strane cevi, [m],	0,000
12. Debljina inkrustacije sa unutrašnje strane cevi, [m],	0,000
13. Koeficijent provođenja toplote za inkrustacije sa unutrašnje strane cevi, [kW/m],	0,0012
14. Koeficijent provođenja toplote za inkrustacije sa spoljne strane cevi, [kW/mK],	0,0012
15. Koeficijent provođenja toplote za konstrukcioni materijal cevi, [kW/mK],	0,0463
16. Broj rashladnih snopova u E-1,	8
17. Unutrašnji prečnik rashladne cevi, [m],	0,050
18. Broj cevi u vertikalnom redu cevnog snopa	8
19. Broj redova cevi u smeru gasovite struje	12
20. Korak cevi u horizontalnom redu, [m],	0,080
21. Korak cevi u vertikalnom redu, [m],	0,070
22. Površina razmene toplote jednog rashladnog snopa, [m <sup>2</sup> ],	169,0
23. Broj cevi u jednom rashladnom snopu,	312

## IZRAČUNATE VELIČINE

• Rastvor soli	
1. Protok, [m <sup>3</sup> /h],	5,213

## □ Tok broj 1: Matični rastvor na ulazu u E-1

1. Zapreminski protok, [m <sup>3</sup> /h],	5,938
2. Maseni protok, [kg/t],	6758,4
3. Maseni protok, [kg/h],	168959,4
4. Hemijski sastav [maseni %]:	
– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub> ,	1,909
– Vezani ugljendioksid,	3,574
– Amonijum hlorid, NH <sub>4</sub> Cl,	15,539
– Natrijum hlorid, NaCl,	7,234
– Natrijum karbonat, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,	0,178
– Natrijum sulfat, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,	0,286
– Amonijum bikarbonat, NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> ,	3,977
– Amonijum karbonat, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,	2,966
5. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1138,2
– Specifična toplota, [kJ/kg K],	3,302
– Viskozitet, [Pa·s],	0,00161

– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0006
6. Temperatura, [°C],	30,0

□ **Tok broj 2: Matični rastvor na izlazu iz E-1**

1. Maseni protok, [kg/h],	1 674 83,8
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub> ,	1,926
– Vezani ugljendioksid,	2,725
– Amonijum hlorid, NH <sub>4</sub> Cl,	15,676
– Natrijum hlorid, NaCl	7,297
– Natrijum karbonat, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,179
– Natrijum sulfat, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,288
– Amonijum karbonat, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5,428
3. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1 143,5
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	3,67
– Viskozitet, [Pa·s],	0,00974
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0006
4. Temperatura, [°C],	63,3

□ **Tok broj 3: Matični rastvor na ulazu u DS-1**

1. Maseni protok, [kg/h],	1 693 71,4
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub>	1,926
– Vezani ugljendioksid	2,725
– Amonijum hlorid, NH <sub>4</sub> Cl	15,676
– Natrijum hlorid, NaCl	7,297
– Natrijum karbonat, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,179
– Natrijum sulfat, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,288
– Amonijum karbonat, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5,428
3. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1 143,5
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	3,67
– Viskozitet, [Pa·s],	0,00974
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0006
4. Temperatura, [°C],	63,3

□ **Tok broj 11: Parno-gasovita smeša, izlaz iz DS-1**

1. Protok, [kg/h],	28868,1
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Amonijak NH <sub>3</sub>	40,12
– Ugljendioksid, CO <sub>2</sub>	15,80
3. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	0,621
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	1,843
– Viskozitet, [Pa·s],	0,0000118
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0000
4. Temperatura, [°C],	86,9

□ **Tok broj 12: Desorbovani ugljendioksid u E1**

1. Protok, [kg/h],	1 475,6
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Ugljendioksid, CO <sub>2</sub>	100,0000
3. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1,59
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	0,893
– Viskozitet, [Pa·s],	0,0000168
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0000
4. Temperatura, [°C],	63,3
5. Pritisak, [bar],	1,003

□ **Tok broj 13: Parno-gasovita smeša, ulaz u E1**

1. Protok, [kg/h],	30343,6
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Amonijak NH <sub>3</sub>	38,16
– Ugljendioksid, CO <sub>2</sub>	19,90
3. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	0,673
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	1,747
– Viskozitet, [Pa·s],	0,0000129
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0000
4. Temperatura, [°C],	88,8
5. Pritisak, [bar],	1,0030

□ **Tok broj 8: Tečna faza u DS-1 sa parno-gasovitom smešom**

1. Protok, [kg/h],	1 887,5
2. Hemijski sastav, fizičko-hemijske osobine i temperatura toka identični su sa parametrima tečne faze na ulazu u DS-1	

• **Toplotne veličine i toplote međufaznih transformacija**

1. Toplotna isparavanja vode, [kJ/kg],	2 289,3
2. Entalpija vodene pare koja se uvodi u DS,	2 706,3
[kJ/kg],	
3. Parcijalna toplota rastvaranja amonijaka, [kJ/kg],	2 055,4
4. Ukupna toplota rastvaranja CO <sub>2</sub> , [kJ/kg],	1 670,3
5. Toplotni gubici u okolinu, [kJ/h],	4 798 11,4

• **Hidrodinamičke veličine na podu DS-1**

1. Brzina parno-gasovite smeše na poslednjem podu DS-1, [m/s],	2,04
2. Maksimalna brzina parno-gasovite smeše na poslednjem podu DS-1, [m/s],	3,36
3. Minimalna brzina parno-gasovite smeše na poslednjem podu DS-1, [m/s],	0,95
4. Faktor penjanja na poslednjem podu DS-1,	1,01
5. Visina parno-gasovitog sloja na poslednjem podu DS-1, [m],	0,043
6. Visina separacionog prostora na poslednjem podu DS-1, [m],	0,957

□ **Tok broj 4: Tečna faza na izlazu iz DS-1**

1. Maseni protok, [kg/h],	1 651 98,4
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub>	1,950
– Vezani ugljendioksid	0,102
– Amonijum hlorid, NH <sub>4</sub> Cl,	15,997
– Natrijum hlorid, NaCl,	7,684
– Natrijum sulfat, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,	0,295
– Amonijum karbonat, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,	0,222
3. Fizičko-hemijske osobine	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1 057,5
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	3,282
– Viskozitet, [Pa·s],	0,000399
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0006
4. Temperatura, [°C],	93,7

□ **Tok broj 25: Kalcijum hidroksid na ulazu u R-1**

1. Protok, [kg/h],	56403,9
2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Kalcijum hidroksid, Ca(OH) <sub>2</sub> ,	34,077

– Kalcijum karbonat, CaCO <sub>3</sub> ,	2,002	– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	3,392
3. Fizičko–hemijske osobine		– Viskozitet, [Pa·s],	0,000491
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1250,0	– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0007
– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	2,800	4. Temperatura, [°C],	119,9
4. Temperatura, [°C],	96,0		
<b>□ Tok broj 5: Tečna faza na izlazu iz R–1</b>		<b>□ Tok broj 16: Kondenzat nastao u E–1</b>	
1. Maseni protok, [kg/h],	221602,3	1. Maseni protok, [kg/h],	6809,9
2. Hemijski sastav: [maseni %]		2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub>	5,270	– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub>	6,687
– Vezani ugljendioksid	0,000	– Rastvoreni i vezani ugljendioksid CO <sub>2</sub>	4,578
– Kalcijum hlorid, CaCl <sub>2</sub>	12,110	3. Fizičko–hemijske osobine	
– Natrijum hlorid, NaCl,	5,910	– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1011,2
– Kalcijum hidroksid, Ca(OH) <sub>2</sub> ,	0,374	– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	3,837
– Kalcijum karbonat, CaCO <sub>3</sub> ,	0,682	– Viskozitet, [Pa·s],	0,00194
– Kalcijum sulfat, CaSO <sub>4</sub> ,	0,211	– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0006
– Suspendirane materije	1,222	4. Temperatura, [°C],	64,1
3. Fizičko–hemijske osobine		<b>□ Tok broj 14: Parno–gasovita smeša, izlaz iz E–1</b>	
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1078,7	1. Protok, [kg/h],	22058,2
– Viskozitet, [Pa·s],	0,000506	2. Hemijski sastav: [maseni %]	
– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0006	– Amonijak, NH <sub>3</sub> ,	50,437
4. Temperatura, [°C],	99,0	– Ugljendioksid, CO <sub>2</sub> ,	19,266
<b>□ Tok broj 6: Tečna faza (destiler lužina) na izlazu iz DS–2</b>		3. Fizičko–hemijske osobine	
1. Maseni protok, [kg/h],	236257,6	– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	0,663
2. Hemijski sastav: [maseni %]		– Specifična toplota, [kJ/kg·K],	1,772
– Slobodni i poluvezani NH <sub>3</sub>	0,008	– Viskozitet, [Pa·s],	0,0000126
– Kalcijum hlorid, CaCl <sub>2</sub>	11,358	– Toplotna provodljivost, [kW/m·K],	0,0000
– Natrijum hlorid, NaCl,	5,543	4. Temperatura, [°C],	78,0
– Kalcijum hidroksid, Ca(OH) <sub>2</sub> ,	0,351	5. Pritisak, [bar],	0,970
– Kalcijum karbonat, CaCO <sub>3</sub> ,	0,640	<b>□ Tok broj 9: Vodena para na ulazu u DS–2</b>	
– Kalcijum sulfat, CaSO <sub>4</sub> ,	0,198	1. Protok, [kg/h],	42500,0
– Suspendirane materije	1,146	2. Temperatura, [°C],	118,0
3. Fizičko–hemijske osobine		3. Pritisak, [bar],	1,850
– Gustina, [kg/m <sup>3</sup> ],	1078,1	4. Entalpija pare, [kJ/kg],	2706,3

## SUMMARY

### AMMONIA AND CARBON DIOXIDE REGENERATION FROM MULTICOMPONENT SOLUTIONS II SIMULATION AND ANALYSIS OF RESULTS

(Professional paper)

Milovan B. Jotanović

Faculty of Technology University of Srpsko Sarajevo, Republic Srpska, Bosnia and Herzegovina

This study describes the simulation of the technological process of NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> regeneration from the multicomponent solution NH<sub>3</sub>–CO<sub>2</sub>–NaCl–NH<sub>4</sub>Cl, based on a developed mathematical model of the process. All the parameters of the technological process were obtained from the simulation, and they represent the mass flow rates as well as the physical and chemical properties (pressure, temperature,...) of all the flows shown on the process flowsheet. The calculation of numerous variations of the process also enabled the analysis and establishment for a relation between the crucial process variables and the steam and liquid phase supply. These relations are important for the absorption–desorption process of synthesis, operating process analysis and process control.

Key words: Soda ash production • Ammonia and Carbon dioxide regeneration • Process simulation • Analysis of simulation results •  
Ključne reči: Natrijum karbonat • Proizvodnja • Regeneracija amonijaka • Regeneracija ugljen dioksida • Simulacija procesa • Analiza rezultata •

