



Processing '21

ZBORNIK RADOVA

34. Međunarodni kongres o procesnoj industriji

3. i 4. jun 2021
Novi Sad

ZBORNİK RADOVA

**pisanih za 34. Međunarodni kongres o procesnoj industriji
PROCESING '21**



2021

ZBORNİK RADOVA

pisanih za 34. Međunarodni kongres o procesnoj industriji
PROCESING '21

Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad

Izdavač

Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)
Društvo za procesnu tehniku
Kneza Miloša 7a/II,
11000 Beograd

Predsednik Društva za procesnu tehniku pri SMEITS-u

prof. dr Aleksandar Jovović, dipl. inž.

Urednici

Prof. dr Miroslav Stanojević, dipl. inž.

Prof. dr Aleksandar Jovović, dipl. inž.

Tiraž

50 primeraka

CD umnožava

SMEITS, Beograd

ISBN

978-86-85535-08-6

Godina izdavanja

2021.



Društvo za procesnu tehniku
pri SMEITS-u



Katedra za procesnu tehniku
Mašinskog fakulteta u Beograd



Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621(082)(0.034.2)
66.01(082)(0.034.2)

МЕЂУНАРОДНИ конгрес о процесној индустрији ПРОЦЕСИНГ (34 ; 2021 ; Нови Сад)

Zbornik radova [pisanih za] 34. Međunarodni kongres o procesnoj industriji, PROCESING '21, 3. i 4. jun 2021, Novi Sad [Elektronski izvor] / [organizator Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)]; [urednici Miroslav Stanojević, Aleksandar Jovović]. - Beograd : Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Društvo za procesnu tehniku, 2020 (Beograd : SMEITS). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemska zahteva: Nisu navedeni. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Tiraž 50. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-85535-08-6

a) Машинство -- Зборници б) Процесна индустрија -- Зборници

COBISS.SR-ID 42858249

Održavanje 34. Procesinga finansijski je pomoglo
Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog
razvoja Republike Srbije



Programski pokrovitelji

- MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU, BEOGRAD
- TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU, BEOGRAD
- FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA UNIVERZITETA U NOVOM SADU, NOVI SAD
- DEPARTMAN ZA ENERGETIKU I PROCESNU TEHNIKU FAKULTETA TEHNIČKIH NAUKA UNIVERZITETA U NOVOM SADU, NOVI SAD
- TEHNOLOŠKI FAKULTET UNIVERZITETA U NOVOM SADU, NOVI SAD
- FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA UNIVERZITETA U BEOGRADU, BEOGRAD

34. Procesing se održava uz podršku



Ministarstvo zaštite životne sredine
Republike Srbije



Privredna komora Srbije
Beograd



Inženjerska komora Srbije
Beograd

Sponzori



Indija



BOSCH
Tehnologija za život

Beograd



Beograd



Subotica



Beograd



COROSYS
Beverage Technology

Ruma



Novi Sad



OD-JU

Irig



Gornja Toplica, Popadić



Beograd



Beograd

MEĐUNARODNI NAUČNI ODBOR

- Prof. dr Ivan Božić** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Mirko Dobrnjac *Mašinski fakultet, Univerzitet u Banja Luci, Banja Luka, BiH*
Prof. dr Damir Đaković *Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*
Dr Maja Đolić *Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Prof. dr Mladen Đurić** *Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Srbislav Genić *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Milan Gojak *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Dušan Golubović *Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Sarajevo, BiH*
Prof. dr Zvonimir Guzović *Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska*
- Prof. dr Vladan Ivanović** *Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, Crna Gora*
Prof. dr Jelena Janevski *Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš*
Prof. dr Aleksandar Jovović *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd (predsednik)*
Dr Milica Karanac *Envico, Beograd*
Mr Vesna Alivojvodić *Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd – Odsek Beogradska politehnika*
- Prof. dr Rade Karamarković** *Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu*
- Prof. dr Mirjana Kijevčanin** *Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Prof. dr Miroslav Kljajić** *Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*
Prof. dr Atanas Kočov *Mašinski fakultet Univerziteta u Skoplju, Skoplje, Severna Makedonija*
- Prof. dr Filip Kokalj** *Mašinski fakultet Univerziteta u Mariboru, Slovenija*
Prof. dr Dejan Krčmar *Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*
- Dr Čedo Lalović** *Akademija strukovnih studija Šumadija – Odsek Aranđelovac*
Prof. dr Dorin Lelea *Polytechnic University of Timisoara, Timisoara, Rumunija*
Dr Stefan Mandić Rajčević *University of Milan, Italija*
Prof. dr Sanja Milivojević *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Ljiljana Medić-Pejić *Universidad Politecnica de Madrid, Španija*
Prof. dr Sanda Midžić-Kurtagić *Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, BiH*
Prof. dr Biljana Miljković *Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*
Dr Dobrica Milovanović *Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac*
- Prof. dr Srđan Nešić** *Ohio University, Russ College of Engineering and Technology, Ohio, SAD*
- Prof. dr Branislava Nikolovski** *Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*
Prof. dr Nataša Nord *Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norveška*
- Prof. dr Marko Obradović** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Olga Petrov *British Columbia Institute of Technology, Canada*
Prof. dr Nataša Petrović *Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Aleksandar Petrović *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Dejan Radić *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Ivona Radović *Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Prof. dr Dunja Sokolović** *Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad*
Prof. dr Mirjana Stamenić *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
Prof. dr Olivera Stamenković *Tehnološki fakultet u Leskovcu, Univerzitet u Nišu*
Dr Nikola Tanasić *Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd*
Doc. dr Dušan Todorović *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*

- Dr Marta Trninić** *Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd – Odsek Beogradska politehnika*
- Dr Nikola Živković** *Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Beograd, Srbija*

ORGANIZACIONI ODBOR

- Mr. Boris Hrnčić** *Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, Crna Gora*
- Dr Gorica Ivaniš** *Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Dr Miloš Ivošević** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Doc. dr Mladen Josijević** *Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac*
- Dr Nikola Karličić** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Prof. dr Miljan Marašević** *Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerziteta u Kragujevcu*
- Dr Nenad Mitrović** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Dr Jelena Ruso** *Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Dr Jasna Tolmač** *Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“ Univerziteta u Novom Sadu, Zrenjanin*
- Prof. dr Miroslav Stanojević** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Prof. dr Marija Tasić** *Tehnološki fakultet u Leskovcu, Univerzitet u Nišu*
- Mr Milan Travica** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- Prof. dr Goran Vučković** *Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš*
- Jelena Salević** *SMEITS, Beograd*
- Vladan Galebović** *SMEITS, Beograd*

POČASNI ODBOR

- Prof. dr Bratislav Blagojević** *predsednik SMEITS-a*
- Prof. dr Radivoje Mitrović** *dekan Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu*
- Prof. dr Rade Doroslovački** *dekan Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu*
- Prof. dr Martin Bogner** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu*
- Prof. dr Goran Jankes** *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu*
- Bratislav Sadžaković** *GasTeh, Indija*
- Dušan Durković** *Grundfos Srbija, Beograd*
- Jovanka Jovanović** *Robert Bosch, Beograd*
- Čaba Kern** *Cim Gas, Subotica*
- Nemanja Tubić** *Wilo Beograd, Beograd*
- Aleksandar Klevernić** *Vupis, Ruma*
- Dušan Bajatović** *JP "Srbijagas", Novi Sad*
- Jovo Jurić** *OD-JU, Irig*
- Dejan Margetić** *Vodavoda, Mionica*
- Prof. dr Snežana Pajović** *Institut za nuklearne nauke, Univerzitet u Beogradu, institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Beograd*
- Marica Mijajlović** *Inženjerska komora Srbije, Beograd*

ORGANIZATOR

Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS),
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd
Tel. +381 (0) 11 3230-041, +381 (0) 11 3031-696,
tel./faks +381 (0) 11 3231-372
E-mail: procesing@smeits.rs
web: www.smeits.rs

PREDGOVOR

U ovom zborniku su kompletni radovi koje je Naučno-stručni odbor 34. Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji Procesing '21. posle obavljenih recenzija prihvatio za izlaganje.

Zbornik radova će biti objavljen elektronski i na sajtu www.izdanja.smeits.rs.

Međunarodni karakter Procesinga '21 i ove godine ostvaren je inostranim učesnicima sa radovima, kao i članovima naučnog odbora. Zvanični jezici za izlaganje radova na kongresu su srpski i engleski.

Osnovni ciljevi kongresa su inoviranje i proširivanje znanja inženjera u procesnoj industriji, energetici, rudarstvu, komunalnom sektoru (vodovodima, toplanama) i podrška istraživačima u predstavljanju ostvarenih rezultata istraživačkih projekata.

Tematika Procesinga '21 obuhvata osnovne procesne operacije – mehaničke, hidromehaničke, toplotne, difuzione, hemijske i biohemijske, kao i procesna postrojenja i opremu (aparate i mašine).

Program Procesinga '21 obuhvata oblasti: projektovanja i razvoja u procesnoj industriji; konstruisanja mašina, aparata i uređaja; pripreme i vođenja izgradnje i montaže industrijskih postrojenja; industrijskih i laboratorijskih merenja; ispitivanja i atestiranja materijala, proizvoda, mašina i aparata; istraživanja i razvoja nove opreme i industrijskih sistema.

U program Procesinga '21 po tradiciji, pored prezentacije radova uključena su tri Okrugla stola iz aktuelnih tema u oblasti procesne tehnike:

- *Cirkularna ekonomija – alat za održivost industrije,*
- *Tretman voda u industriji – iskustva i buduće potrebe,*
- *Gasovi u industriji – primeri dobre prakse.*

Procesing '21 organizuje Društvo za procesnu tehniku pri SMEITS-u, a u Naučnom i Organizacionom odboru prisutni su predstavnici svih Mašinskih fakulteta u Srbiji kao i Tehnoloških i drugih fakulteta u okviru kojih je oblast procesne tehnike zastupljena u nastavi.

Pomoć u organizovanju Procesinga '21 dali su članovi Katedre za procesnu tehniku Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Departmana za energetiku i procesnu tehniku Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada.

Sa Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu, pored drugih vidova saradnje kroz Društvo za procesnu tehniku prijavljen je i značajan broj radova za ovogodišnji Procesing.

*U Beogradu
juli 2021.*

SADRŽAJ

Inženjerstvo životne sredine i održivi razvoj u procesnoj industriji

1. PRIMJENA DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U CILJU OTKLANJANJA POSLJEDICA PANDEMIJE COVID-19 NA INDUSTRIJSKI SEKTOR
Igor Grujić, Darko Vujasinović 15
2. ENERGETSKA VALORIZACIJA OTPADNIH VODA IZ INDUSTRIJE PRERADE MLEKA U SRBIJI
Slobodan Cvetković, Mirjana Kijevčanin, Vlado Kovačević 21

Procesi i postrojenja u pripremi i prečišćavanju vode u procesnoj industriji

3. UPOTREBA FENTONOVOG REAGENSA U ŠARŽNIM POSTUPCIMA OBEZBOJAVANJA OBOJENE OTPADNE VODE
Ana Dajić, Milica Karanac, Marina Mihajlović 27
4. POKAZATELJI RADA UREĐAJA ZA AERACIJU U POSTROJENJIMA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA
Nikola Karličić, Aleksandar Jovović, Dejan Radić, Marko Obradović, Dušan Todorović, Miroslav Stanojević 33
5. PRIRODNI ADSORBENTI NA BAZI METALNIH OKSIDA ZA UKLANJANJE JONA OLOVA I ARSENA IZ VODENIH RASTVORA
Tijana Stanišić, Nataša Karić, Milica Karanac, Maja Đolić, Mirjana Ristić, Aleksandra Perić-Grujić 43
6. SINTEZA I KARAKTERIZACIJA KATJONSKOG SKROBA ZA PRIMENU U TRETMANU OTPADNIH VODA
Nataša Karić, Tijana Stanišić, Maja Đolić, Marija Vukčević, Mirjana Ristić, Aleksandra Perić-Grujić, Aleksandar Marinković, Katarina Trivunac 49
7. VEŠTAČKI ZASLAĐIVAČI U PODZEMNOJ VODI KAO INDIKATORI KOMUNALNOG ZAGAĐENJA
Eleonora Gvozdić, Ivana Matić-Bujagić, Tatjana Đurkić, Svetlana Grujić 55
8. HIDRODINAMIČKE KARAKTERISTIKE EKSTRAKCIONIH KOLONA TIPRA OLDŠU-REŠTON
Milan N. Sovilj, Momčilo Đ. Spasojević 61

Procesne tehnologije

9. MODEL OPTIMALNOG SISTEMSKOG UPRAVLJANJA U VOJNOJ PROCESNOJ INDUSTRIJI U USLOVIMA PANDEMIJE COVID-19
Zdravko Bijelić, Biljana Milanović, Mitar Bijelić 67
10. PRIMENA TESTA GORENJA ZA BRZU IDENTIFIKACIJU TIPOVA POLIMERNIH MATERIJALA NA BAZI PVC
Matilda Lazić, Dragan Halas, Duško Salemović, Aleksandar Dedić 77
11. SINTEZA I BIOLOŠKA SVOJSTVA NEKIH AZO BOJA NA BAZI 3-CIJANO-6-HIDROKSI-4-METIL-1-PROPIL-2-PIRIDONA
Julijana Tadić, Milica Svetozarević, Luka Matović, Aleksandra Mašulović, Jelena Ladarević, Dušan Mijin 83

| | | |
|-----|---|-----|
| 12. | SINTEZA DISUPSTITUISANIH DERIVATA PIROLIDIN-2,5-DIONA PRIMENOM MIKROTALASNOG POSTUPKA I EVALUACIJA NJIHOVIH FARMAKOKINETIČKI RELEVANTNIH SVOJSTAVA Anita Lazić, Kristina Gak-Simić, Nemanja Trišović, Nebojša Banjac | 89 |
| 13. | REVERZIBILNI HALOGEN SUPSTITUISANI BENZILIDENHIDANTOINSKI MOLEKULSKI PREKIDAČI Kristina Gak-Simić, Anita Lazić, Luka Matović, Nemanja Trišović, Nataša Valentić | 97 |
| 14. | ALTERNATIVNE TEHNOLOGIJE ZA KONZERVISANJE PROIZVODA BILJNOG PORIJEKLA Radoslav Grujić, Mirko Dobrnjac | 105 |
| 15. | ANALIZA OBRADNE VISOKOPARAFINSKIH NAFTI DODATKOM MODIFIKATORA REOLOŠKIH OSOBINA Saša Jovanović, Jasna Tolmač, Slavica Prvulović, Milan Marković, Boško Lalović, Dragiša Tolmač | 113 |
| 16. | PROCENA EKOLOŠKOG RIZIKA USLED PRISUSTVA BENZOFENONA-4 U OTPADNIM VODAMA Jelena Lukić, Tatjana Đurkić, Tamara Bakić, Jelena Radulović, Antonije Onjia | 119 |
| 17. | EKSTRAKCIJA ESTROGENIH HORMONA IZ VODE KORIŠĆENJEM UGLJENIČNOG KRIOGELA KAO SORBENTA Danijela Prokić, Marija Vukčević, Marina Maletić, Ana Kalijadis, Biljana Babić, Ivona Janković-Častvan, Tatjana Đurkić | 123 |
| 18. | TERMODINAMIČKA SVOJSTVA SMEŠE CITRALA I HLOOROFORMA NA TEMPERATURAMA T= (288,15–323,15) K I NA ATMOSFERSKOM PRITISKU Nikola Grozdanić, Ivona Radović, Mirjana. Lj. Kijevčanin | 129 |
| 19. | POROZNI ADSORPCIONI MATERIJAL U FORMI MIKROSFERA NA BAZI LIGNINA, FUNKCIONALIZOVAN NANOČESTICAMA MAGNETITA, ZA EFIKASNO UKLANJANJE HROMATNIH ANJONA Ana Popović, Jelena Rusmirović, Maja Đolić, Zlate Veličković, Aleksandar Marinković | 133 |
| 20. | PRIMENA RAVNOTEŽE TEČNOST-TEČNOST TERNARNIH VODENIH RASTVORA U SEPARACIONIM PROCESIMA Zoran Simić, Mirjana Kijevčanin, Ivona Radović | 141 |

Gasna tehnika

| | | |
|-----|--|-----|
| 21. | ISPITIVANJE REGULATORA PRITISKA Radojka Janjić, Martin Bogner | 145 |
|-----|--|-----|

Osnovne i pomoćne operacije, aparati i mašine u procesnoj industriji

| | | |
|-----|---|-----|
| 22. | ANALIZA PARAMETARA TRANSPORTA SIROVE NAFTE PRI IZOTERMNOM SRUJANJU Jasna Tolmač, Slavica Prvulović, Saša Jovanović, Marija Nedić, Aleksandra Aleksić, Dragiša Tolmač | 157 |
| 23. | STRUJNO-TERMIČKI PRORAČUN REBOJLERA E10 U PROCESU DESORPCIJE LAKIH UGLJOVODONIKA U POGONU „RAFINERIJA TNG” ELEMIR Matilda Lazić, Dragan Halas, Duško Salemović, Aleksandar Dedić | 165 |

Energetska efikasnost u procesnoj industriji

24. SISTEMSKA ANALIZA MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA
RAZVOJA I PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE
U MALIM OBNOVLJIVIM IZVORIMA
Biljana Milanović, Zdravko Bijelić, Mitar Bijelić, Željka Bijelić 173

Menadžment kvaliteta i standardizacija u organizacijama

25. ODNOS VEŠTAČKE INTELIGENCIJE I MENADŽMENTA KVALITETA I
STANDARDIZACIJE
Miljana Velojić, Petar Atlagić, Mladen Đurić 183
26. RAZVOJ STANDARDA U OBLASTI CIRKULARNE EKONOMIJE
Marija Radovanović, Mladen Đurić 193
27. MODEL LEAN & SIX SIGMA KAO OSNOVA
MENADŽMENTA KVALITETA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI
Marija Savković, Mladen Đurić, Milica Barjaktarević 205

Radovi koji će biti objavljeni u časopisu „Procesna tehnika“ u 2021. godini

28. PROCENA UGLJENIČNOG OTISKA PROIZVODA FABRIKE
„ELIXIR ZORKA“ MINERALNA ĐUBRIVA I MOGUĆNOSTI SMANJENJA
EMISIJE UGLJEN-DIOKSIDA KROZ ODGOVORNO POSLOVANJE
Alija Salkunić, Ljiljana Stanojević, Slavica Bogdanović, Nikola Belobaba 221
29. HIBRIDNI HIDROGELOVI OSETLJIVI NA SPOLJNE STIMULANSE
ZA KONTROLISANO OTPUŠTANJE LOKALNOG ANESTETIKA
Maja D. Marković, Vesna V. Panić, Pavle M. Spasojević, Sanja I. 222
30. POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI PARNOG BLOKA ISKORIŠĆENJEM
OTPADNE TOPLOTE DIMNOG GASA
Sanja Milivojević, Vladimir Stevanović, Milan M. Petrović, Milica Ilić 223
31. PRIMENA PREKIDNIH REŽIMA ZA SUŠENJE PŠENICE U SLOJU
Đorđije Doder, Damir Đaković 224
32. TEHNOLOGIJE I PRINCIPI SOLARNOG ADSORPCIONOG HLAĐENJA
Branislav Petrović, Milan Gojak, Đorđe Kozic 225
33. UTICAJ USLOVA UMREŽAVANJA NA SVOJSTVA LIVENOG
TERMOBARIČNOG PBX EKSPLOZIVA
Danica Bajić, Ivan Dimitrijević, Bojana Fidanovski, Jelena Rusmirović,
Slavko Mijatov, Tihomir Kovačević, Maja Milić 226
34. EKOLOŠKI PRIHVATLJIVO REŠENJE POSTROJENJA
ZA MEHANIČKO-BIOLOŠKI TRETMAN OTPADA U KRALJEVU
Radmila Lišanin, Čedo Lalović 227
- Oglasni deo 229

PRIMENA RAVNOTEŽE TEČNOST-TEČNOST TERNARNIH VODENIH RASTVORA U SEPARACIONIM PROCESIMA

LIQUID-LIQUID EQUILIBRIUM OF THE TERNARY WATER SOLUTIONS SYSTEM IN SEPARATION PROCESSES

Zoran SIMIĆ*, Mirjana KIJEVČANIN, Ivona RADOVIĆ

Tehnološko Metalurški Fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

Zbog globalnog trenda povećanja potrošnje energenata, kao i njihove cene, teži se ka tome da se ispituju nove mogućnosti zamene klasičnih energetski zahtevnih separacionih procesa zasnovanih na isparavanju lakše isparljivih komponenata, na procese separacije zasnovanih na ravnoteži tečnost-tečnost (LLE), odnosno na ekstrakciji komponenata iz tečnih rastvora. Pored toga što bi ovaj postupak podrazumevao smanjenu upotrebu različitih izvora energije, on bi uključio i zamenu standardnih industrijskih rastvarača sa karakteristikama štetnim po životnu sredinu, novim, zelenim rastvaračima. U ovom radu biće prikazan način korišćenja ravnoteže tečnost-tečnost na separacione procese, na primeru ternarnog sistema voda + i-propanol + dimetil adipat, a kroz određivanje binodalnih krivih i ravnotežnih linija na atmosferskom pritisku i temperaturi od 298.15K.

Ključne reči: Ravnoteža tečnost-tečnost (LLE); binodalna kriva; ternarni dijagram; vodeni rastvori; zelena hemija

Due to the global trend of increasing energy consumption, as well as their prices, the aim is to examine the possibilities of replacing energy-intensive classical separation processes based on evaporation of more volatile components, to separation processes based on liquid-liquid equilibria (LLE), i.e. extraction of components from liquid solutions. Beside that this procedure would involve the reduced use of various energy sources, it would also include the replacement of standard industrial solvents with harmful characteristics for the environment, new green solvents. This paper will show the method of using liquid-liquid equilibrium on the example of the ternary system water + i-propanol + dimethyl adipate through the determination of binodal curves and tie lines at atmospheric pressure and temperature of 298.15 K.

Key words: Liquid-liquid equilibrium (LLE); binodal curve; ternary diagram; aqueous solutions; green chemistry

1 Uvod

Poslednjih godina sve više se govori o štednji električne energije kako zbog povećanja troškova korišćenja tako i zbog smanjenja količine energenata. Da bi se se prevazišao ovaj problem u industrijskim procesima neophodno je okrenuti se nekim novim procesima u kojima se koristi manje energije, odnosno raditi na povećanju energetske efikasnosti procesa. Jedan od energetski zahtevnih procesa je i separacija rastvora zasnovana na ravnoteži tečnost-tečnost (LLE). Takođe, zamena klasičnih, toksičnih organskih rastvarača novim zelenim rastvaračima je jedan od industrijskih trendova. Da bi se ispitala mogućnosti upotrebe zelenih rastvarača, mogućnosti adekvatne zamene i projektovanje procesa, neophodno je poznavanje termodinamičkih podataka kao što su podaci za ravnotežu tečnost-tečnost (LLE), odgovarajuću binodalnu krivu i ravnotežne linije.

I-propanol je važna organska sintetička sirovina i rastvarač koji se široko koristi u proizvodnji mnogih industrijski značajnih proizvoda i međuproizvoda¹. Uglavnom se koristi kao sredstvo za dehidraciju i sredstvo za čišćenje u farmaceutskoj, kozmetičkoj, polimernoj i elektronskoj industriji. Takođe u laboratorijama se koristi kao i referentni material za hromatografiju. U mnogim industrijskim procesima, izopropil alkohol se koristi kao jeftiniji rastvarač i ekstraktant i može se koristiti kao zamena etanolu². Izdvajanje i-propanola iz vodene faze je veoma važan proces, te se

* Corresponding author, e-mail: apopovic@politehnika.edu.rs

poslednjih godina istražuju mogućnosti kako bi se izdvajanje moglo ostvariti pomoću ekstrakcije tečnost-tečne.

U ovom radu su određeni termodinamički podaci, odnosno podaci ravnoteže tečnost-tečnost, kao što su binodalna kriva i ravnotežne linije ternarnog sistema voda + i-propanol + dimetil adipat(DMA) i ispitivana je mogućnost ekstrakcije i-propanola iz vodene faze pomoću dimetil DMA, s obzirom na veoma malu rastvorljivost DMA u vodi a veliku u alkoholu. Dodatna prednost ovakvog sistema predstavlja činjenica da DMA na osnovu svojih pozitivnih karakteristika na životnu sredinu spada u grupu zelenih hemikalija.

2 Eksperimentalni deo

Eksperimentalno merenje ravnoteže tečno-tečno (LLE) ternarnih sistema je izvedeno na 298.15 K i 0.1 MPa. Eksperiment ima dve faze: (i) određivanje fazne granice, tj. binodalne krive i (ii) određivanje koegzistirajućih LLE linija, takozvanih ravnotežnih linija (tie-lines).

Binodalne krive su određene pomoću sintetičkog metoda zamućenja korišćenjem ujedno i titracione tehnike³. Eksperiment počinje pripremom binarnih smeša dve nemešljive komponente (rafinat + rastvarač) u koničnom staklenom Pyrex sudu sa mešanjem. Treća komponenta (ekstrakt) se dodaje titriranjem, uz kontinualno mešanje, dok smeša ne postane homogena (nestanak turbidnosti). Sastav ternarne smeše u momentu kada postane čista i transparentna tečnost pripada binodalnoj krivoj.

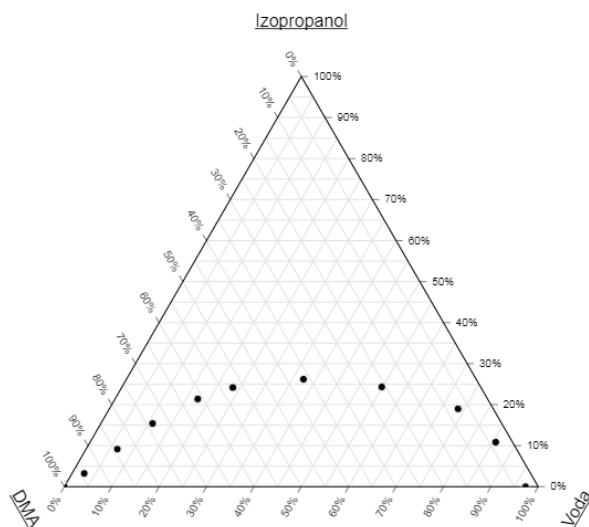
Za određivanje ravnotežnih linija, ternarne smeše A (rafinat) + B (ekstrakt) + C (rastvarač) poznatog sastava napravljene su u oblasti nemešljivosti (oblast ispod binodalne krive). Smeša je energično mešana oko sat vremena i ostavljena da se faze uravnoteže u periodu od 24 sata u termostatskom kupatilu na 298.15 K. Kao rezultat, dobijene su dve faze u ravnoteži, gornja faza (rafinat) i donja faza (ekstrakt). Uzorci su uzeti iz obe faze. Sastavi dve faze u ravnoteži određivani su preko indeksa refrakcije.

Indeks refrakcije n_D je meren na automatskom refraktometru (model Anton Paar RXA 156), koji radi na talasnoj dužini 589 nm. Tokom merenja temperatura uzorka je održavana konstantnom pomoću ugrađenog termostata tačnosti ± 0.03 K. Kalibracija aparature je izvođena dnevno korišćenjem Milipor vode.

Detaljan opis Anton Paar DMA 5000 i Anton Paar RXA 156 instrumenata, kao i princip po kome funkcioniše merenje gustine i indeksa refrakcije dat je u literaturi⁴.

3 Rezultati i diskusija

Prema navedenoj metodi zamućenja dobijene su tačke binodalne krive za sistem voda + i-propanol + dimetil adipat prikazane na slici 1.



Slika 1. Eksperimentalne tačke binodalne krive sistema voda + i-propanol + dimetil adipat

Nakon određivanja binodalne krive meren je indeks refrakcije za svaku tačku na temperaturi od 298.15K i atmosferskom pritisku.

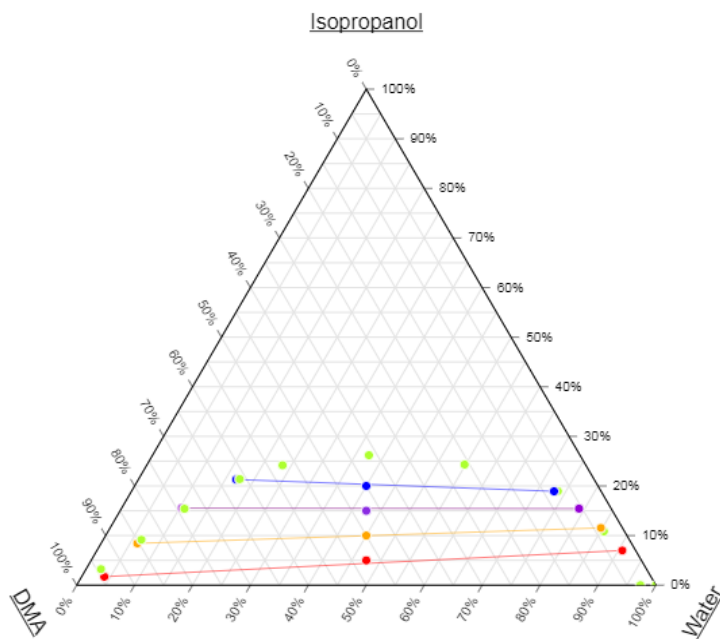
Sastavi faza četiri ispitivane smeše nakon razdvajanja dobijeni su iz podataka za indeks refrakcije i primenom sledećih jednačina, a na osnovu masenih udela komponenata u smeši (w)⁵:

$$n_D = Aw_1 + Bw_1^2 + Cw_2 + Dw_2^2 + Ew_3 + Fw_3^2 \quad (1)$$

$$w_3 = G \exp |Hw_1^{0.5} + Iw_1^3| \quad (2)$$

$$w_2 = 1 - w_1 - w_3 \quad (3)$$

Optimizacijom parametara A - I dobijene su ravnotežne linije koje su prikazane na slici 2.



Slika 2. Ravnotežne linije sistema voda + i-propanol + dimetil adipat

Tabela 1. Početni sastavi smeše za određivanje ravnotežnih linija.

| | w_1 | w_2 | w_3 |
|---------|--------|--------|--------|
| Smeša 1 | 0.4000 | 0.2000 | 0.4000 |
| Smeša 2 | 0.4250 | 0.1500 | 0.4250 |
| Smeša 3 | 0.4500 | 0.1000 | 0.4500 |
| Smeša 4 | 0.4750 | 0.0500 | 0.4750 |

Tabela 2. Izačunati maseni udeli vode, izopropanola i dimetil adipata u donjoj i gornjoj fazi dobijeni optimizacijom parametara.

| | Donja faza | | | Gornja faza | | |
|---------|------------|--------|--------|-------------|--------|--------|
| | w_1 | w_2 | w_3 | w_1 | w_2 | w_3 |
| Smeša 1 | 0.1689 | 0.2131 | 0.6180 | 0.7321 | 0.1899 | 0.0816 |
| Smeša 2 | 0.1040 | 0.1554 | 0.7406 | 0.7919 | 0.1547 | 0.0557 |
| Smeša 3 | 0.0627 | 0.0843 | 0.8530 | 0.8481 | 0.1156 | 0.0373 |
| Smeša 4 | 0.0392 | 0.0171 | 0.9437 | 0.9077 | 0.0700 | 0.0231 |

4 Zaključak

U ovom radu je ispitivana ravnoteža tečnost tečnost na atmosferskom pritisku i temperaturi od 298.15 K na sistemu voda + i-propanol + dimetil adipat. Određena je binodalna kriva za navedeni sistem, dok su ravnotežne linije dobijene preko indeksa refrakcije.

Ispitivana je mogućnost ekstrakcije i-propanola iz vodenih rastvora pomoću zelenog rastvarača dimetil adipata na osnovu prethodno utvrđene dobre mešljivosti dimetil adipata sa izopropanolom i veoma male rastvorljivosti u dimetil adipata u vodi. Utvrđeno je da se i-propanol delimično ravnomerno raspoređuje u obe faze trokomponentne smeše navedenog sistema.

4.1 Finansiranje

Autori se zahvaljuju finansijskoj podršci koju su dobili od strane istraživačkog fonda Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije i Tehnološko metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu (br. ugovora 451-03-9/2021-14/200135).

5 Literatura

- [1] **A. Pereiro, J. Araújo, J. Esperança, I. Marrucho, L. Rebelo, J.** Chem. Thermodyn. 46 (2012) 2-28.
- [2] *** <http://ba.hfchemicals.com/info/the-role-and-use-of-isopropyl-alcohol-25237813.html>, pristup: 29.04.2021.
- [3] **V. Najdanović-Višak, A. Rodriguez, Z.P. Višak, J.N. Rosa, C.A.M. Afonso, M.N. da Ponte, L.P.N. Rebelo,** Fluid Phase Equilib. 254 (2007) 35-41.
- [4] **Radović I.** Doktorska disertacija. Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu; 2008.
- [5] **F. S. Oliveira, A. B. Pereiro, L. P. N. Rebelo and I. M. Marrucho,** Green Chem., 15 (2013) 1326-1330.