

**EMISIJE INDIVIDUALNIH I UKUPNIH LAKOISPARLJIVIH ORGANSKIH
JEDINJENJA IZ OFSET I TAMPON GRAFIČKIH BOJA****EMISSIONS OF INDIVIDUAL AND TOTAL VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS
FROM OFFSET AND PAD PRINTING INKS**Andrea Salma, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN**

Kratak sadržaj – *Koncentracije individualnih i ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz grafičkih boja u vazduh učionice detektovane su u radu. Kvantitativna analiza lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja na bazi rastvarača sprovedena je primenom gasno hromatografske metode.*

Ključne reči: *Grafička boja, ofset i tampon štampa, lakoisparljiva organska jedinjenja, gasna hromatografija*

Abstract – *Concentrations of individual and total volatile organic compounds emitted from printing inks into classroom air were detected in the paper. Quantitative analysis of volatile organic compounds emitted from process offset and pad solvent-based printing inks was carried out using the gas chromatographic method.*

Keywords: *Printing ink, offset and pad printing process, volatile organic compounds, gas chromatography*

1. UVOD

Boje koje se koriste u grafičkoj industriji, odnosno u procesu štampe, mogu biti potencijalno veoma štetne po zdravlje zaposlenih. Isparenja koja se emituju u procesu štampe, dospevaju u radnu i životnu okolinu i vrlo se lako inhalacijom unose u organizam. Tehnike štampe koriste boje različitog hemijskog sastava [1].

Lakosparljiva organska jedinjenja (*Volatile organic compounds*, VOCs) čine oko 98 do 99% ukupnih emisija toksičnih zagađivača iz grafičke industrije. Tokom procesa štampe, ključni izvori emisije ovih jedinjenja obuhvataju sledeće materijale: sredstvo za vlaženje u ofset štampi, razvijače, organske rastvarače, kao i sredstva za čišćenje. Značajna VOCs isparenja mogu nastati i iz procesa lakiranja lakovima na bazi rastvarača. Ostali VOCs izvori u grafičkoj proizvodnji obuhvataju: procese spajanja, premazivanja, sušenja, čišćenja, mešanja boja, izrade ploča i otiskivanja [2].

U okviru grafičke industrije, često se prate koncentracije VOCs kako bi se definisali potencijalni rizici od zagađenja vazduha. Toluol, metiltil keton, izopropil alkohol i aceton su neka od uobičajenih VOCs koja podležu analizi. Brzina isparavanja je direktno zavisna od pritiska rastvarača: veći

pritisak rastvarača rezultira većom brzinom isparavanja, kao što je slučaj sa toluolom.

Radi smanjenja VOCs emisija tokom procesa štampanja, ključno je redukovati upotrebu materijala koji sadrže isparljiva organska jedinjenja, i po mogućstvu, zameniti ih manje isparljivim alternativama [2].

Gasna hromatografija predstavlja specifičnu, osetljivu i dinamičnu metodu za separaciju i detekciju komponenata prisutnih u smešama isparljivih organskih komponenata ili trajnih neorganskih gasova. Da bi neka supstanca mogla biti analizirana tehnikom gasne hromatografije, neophodno je da bude lako isparljiva i stabilna na temperaturama isparavanja. Takođe, od suštinske važnosti je adekvatno definisati i izabrati mobilnu i stacionarnu fazu [3, 4].

U eksperimentalnom segmentu rada, sprovedena je kvantitativna gasno-hromatografska analiza lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz ofset i tampon grafičkih boja na bazi rastvarača. Pojedinačna i ukupna lakoisparljiva jedinjenja su analizirana u neposrednoj blizini odabranih grafičkih boja korišćenjem mobilnog gasnog hromatografa Voyager. Uporednom analizom koncentracija pojedinačnih i ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz ofset i tampon grafičkih boja, utvrđen je doprinos ispitivnih boja na kvalitet vazduha učionice.

2. EKSPERIMENTALNI DEO**2.1. Karakteristike grafičkih boja**

Za procenu prisustva i koncentracija individualnih (*Individual Volatile Organic Compounds*, IVOCs) i ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja (*Total Volatile Organic Compounds*, TVOCs) na kvalitet vazduha učionice odabrane su ofset i tampon procesne grafičke boje: cijan (C), magenta (M), žuta (Y) i crna (K).

Procesne ofset boje (proizvođača SunChemical a member of the DIC group, Engleska) su na bazi mineralnih ulja, lakova i rastvarača, dok su odabrane procesne Glass Ink GL tampon boje (proizvođača Marabu GmbH & Co. KG, Nemačka) dvokomponentne boje sačinjene od pigmenta i veziva na bazi rastvarača.

2.2. Uzorkovanje lakoisparljivih organskih jedinjenja

Gasoviti uzorci za analizu IVOCs i TVOCs iz odgovarajuće grafičke boje sakupljani su mobilnim gasnim hromatografom Voyager (proizvođača Perkin Elmer Photovac, USA) po otvaranju posude na svakih 40 minuta i sa povećanjem rastojanja od posude boje za 0,5 m. Šema uzimanja gasovitih uzorak za analizu lakoisparljivi jedinjenja iz grafičke boje prikazana je na slici 1. Posuda sa odgovarajućom bojom se

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, vanr. prof.

nalazila na sredini prostorije (učionice) dimenzija: 4 m širine, 4 m dužine i 3 m visine.

Merno mesto	I	II	III	IV
Vreme (min)	0	40	80	120
Rastojanje (m)	0	0,5	1,0	1,5
Visina (cm)	5	5	5	5

C M Y K

Slika 1. Šema uzorkovanja lakoisparljivih organskih jedinjenja iz procesnih grafičkih boja

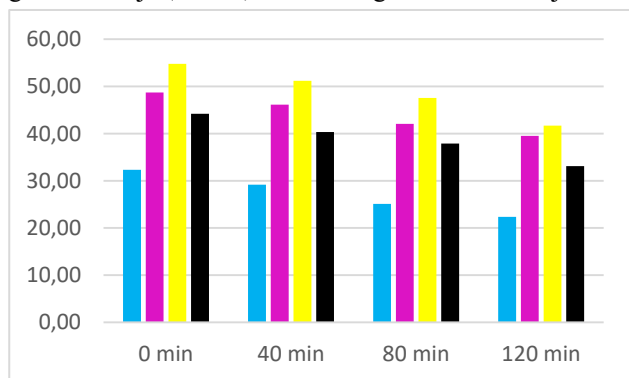
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Lakoisparljiva organskih jedinjenja emitovana iz procesnih ofset grafičkih boja

Iz procesnih ofset grafičkih boja u neposredno grafičko okruženje se emituju: izopropanol i aceton. Detektovane su i koncentracije TVOCs iz analiziranih boja.

Izopropanol

Koncentracije izopropanola opadaju u sledećem nizu ofset grafičkih boja (slika 2): žuta > magenta > crna > cijan.



Slika 2. Koncentracije izopropanola emitovanog iz procesnih ofset grafičkih boja

Izopropanol emitovan iz cijan ofset boje detektuje se u intervalu od 32,32 do 22,34 ppm. Iz magenta ofset boje izopropanol se emituje u intervalu od 48,71 do 39,51 ppm. Za žutu ofset boju detektovane su koncentracije u intervalu od 54,77 do 41,69 ppm, dok je za crnu boju interval od 44,21 do 33,12 ppm.

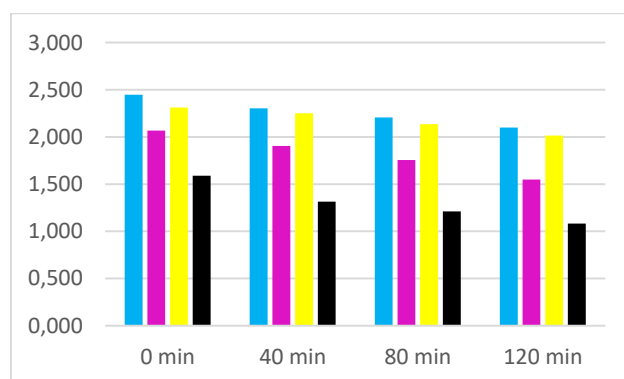
Udaljavanjem od same grafičke boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije izopropanola opadaju za: 30,7% (cijan), 18,9% (magenta), 23,9% (žuta) i 25,1% (crna).

Aceton

Detektovane koncentracije acetona opadaju u sledećem nizu ofset grafičkih boja (slika 3): cijan > žuta > magenta > crna.

Cijan ofset boja emituje aceton u intervalu od 2,447 do 2,099 ppm, dok žuta emituje u intervalu od 2,311 do 2,015 ppm. Detektovane koncentracije acetona za magentu i crnu ofset boju su u intervalima od 2,068 do 1,549 ppm i od 1,589 do 1,081 ppm, redom.

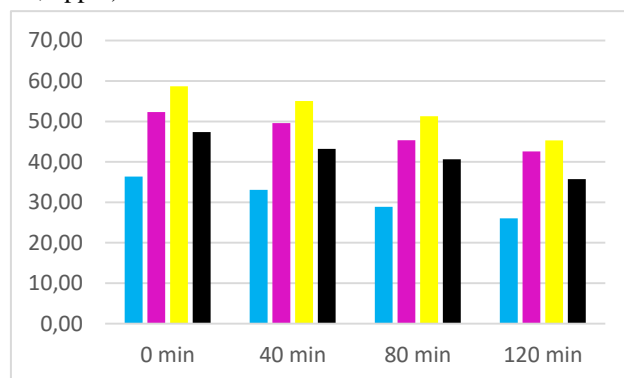
Rezultati detekcije pokazuju da udaljavanjem od same ofset grafičke boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije acetona opadaju za: 14,2% (cijan), 25,1% (magenta), 12,8% (žuta) i 32,0% (crna).



Slika 3. Koncentracije acetona emitovanog iz procesnih ofset grafičkih boja

TVOCs

Koncentracije TVOCs opadaju u sledećem nizu ofset grafičkih boja (slika 4): žuta (58,7 - 45,3 ppm) > magenta (52,3 - 42,6 ppm) > crna (47,4 - 35,8 ppm) > cijan (36,4 - 26,0 ppm).



Slika 4. Koncentracije ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih ofset grafičkih boja

Dobijeni rezultati pokazuju da se koncentracije TVOCs smanjuju, sa povećanjem rastojanja (od 0 do 1,5 m) i vremena analize (od 0 do 120 min), kao i koncentracije detektovanih IVOCs, tj. izopropanola i acetona.

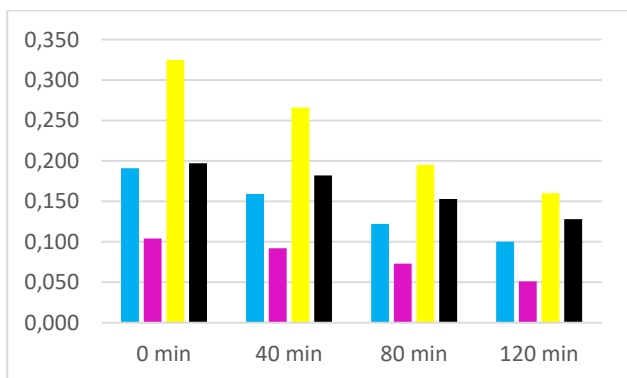
Maksimalne razlike između zbira koncentracija IVOCs i TVOCs iznose: 1,614, 1,550, 1,621 i 1,563 ppm za cijan, magentu, žutu i crnu ofset boju, redom. Razlike koncentracija ukazuju na prisustvo IVOCs koje mobilni gasni hromatograf Voyager ne može da detektuje. Za njihovu detekciju je potrebna primena drugih instrumentalnom metodom, poput apsorpcije.

3.2. Lakoisparljiva organskih jedinjenja emitovana iz procesnih tampon grafičkih boja

Rezultati gasno hromatografskog monitoringa lakoisparljivih organskih jedinjenja iz procesnih tampon grafičkih boja pokazuju da iste emituju u neposredno grafičko okruženje: izopropanol, aceton i metiltil keton (MEK). Takođe su detektovane i koncentracije TVOCs emitovanih iz procesnih tampon grafičkih boja.

Izopropanol

Koncentracije izopropanola opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 5): žuta > crna > cijan > magenta.



Slika 5. Koncentracije izopropanola emitovanog iz procesnih tampon grafičkih boja

Izopropanol emitovan iz cijan tampon boje detektuje se u intervalu od 0,191 do 0,100 ppm.

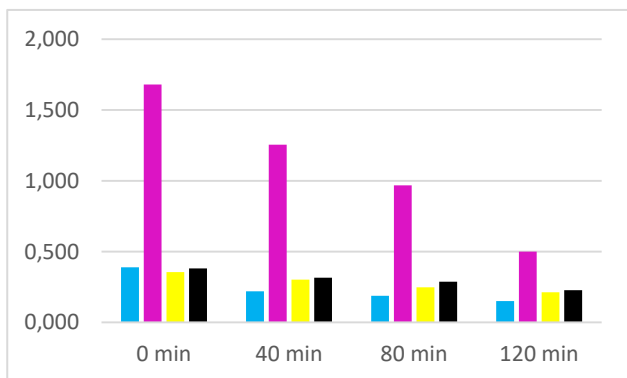
Iz magenta tampon boje izopropanol se emituje u intervalu od 0,104 do 0,051 ppm.

Za žutu tampon boju detektovane su koncentracije u intervalu od 0,325 do 0,160 ppm, dok je za crnu boju interval od 0,197 do 0,128 ppm.

Evidentno je da sa udaljavanjem od same tampon boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije izopropanola opadaju za: 47,7% (cijan), 51% (magenta), 50,8% (žuta) i 35% (crna).

Aceton

Uočava se da koncentracije acetona opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 6): magenta > cijan > crna > žuta.



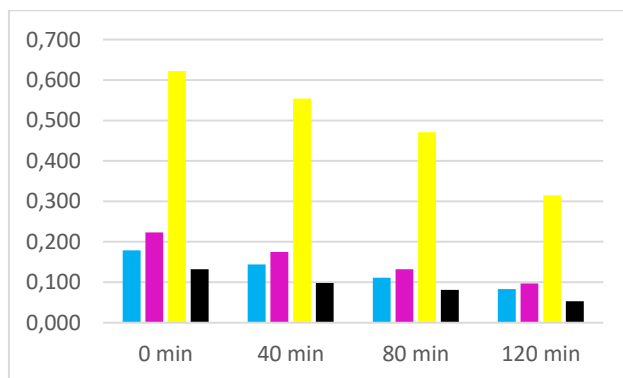
Slika 6. Koncentracije acetona emitovanog iz procesnih tampon grafičkih boja

Cijan tampon boja emituje aceton u intervalu od 0,389 do 0,150 ppm. Magenta tampon boja emituje aceton u intervalu od 1,680 do 0,499 ppm. Detektovane su koncentracije acetona za žutu i crnu tampon boju u intervalima od 0,355 do 0,212 ppm i od 0,381 do 0,227 ppm, redom.

Rezultati detekcije pokazuju da udaljavanjem od same tampon grafičke boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije acetona opadaju za: 61,4% (cijan), 70,3% (magenta), 44,4% (žuta) i 36,1% (crna).

Metiletil keton

Na osnovu dobijenih rezultata uočava se da koncentracije MEKa opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 7): žuta > magenta > cijan > crna.



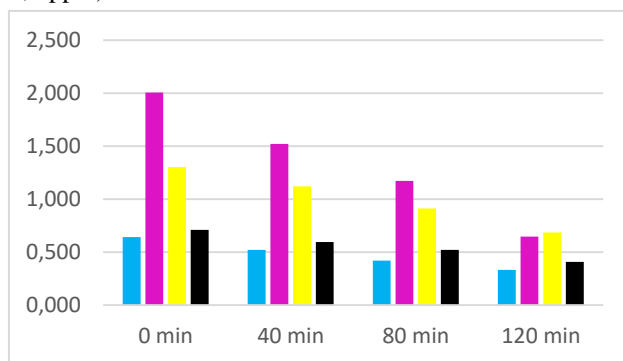
Slika 7. Koncentracije metiletil ketona emitovanog iz procesnih tampon grafičkih boja

Cijan i magenta tampon boje emituju MEK u intervalima od 0,179 do 0,083 ppm i od 0,223 do 0,097 ppm, redom. Koncentracije MEK detektovane za žutu i crnu tampon boju su u intervalima od 0,622 do 0,315 ppm i od 0,132 do 0,053 ppm, redom.

Kao i u slučaju izopropanola i acetona, rezultati detekcije pokazuju da udaljavanjem od same tampon grafičke boje i sa porastom vremena detekcije koncentracije MEKa opadaju za: 53,6% (cijan), 56,5% (magenta), 49,4% (žuta) i 59,8% (crna).

TVOCs

Koncentracije TVOCs opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 8): magenta (2,0 - 0,65 ppm) > žuta (1,3 - 0,69 ppm) > crna (0,71 - 0,41 ppm) > cijan (0,6 - 0,3 ppm).



Slika 8. Koncentracije ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih tampon grafičkih boja

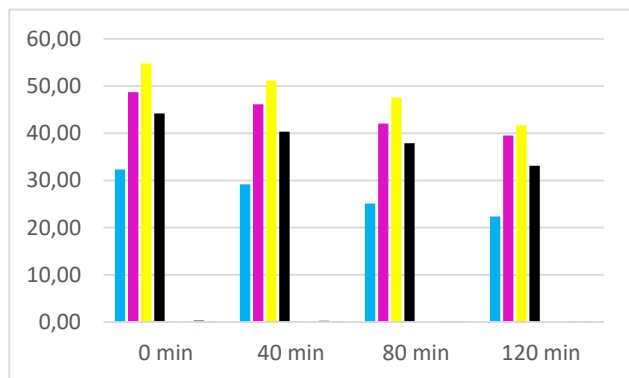
Maksimalne razlike između zbira IVOCs i TVOCs iznose: 0,829, 0,523, 0,698 i 0,591 ppm za cijan, magentu, žutu i crnu tampon boju, redom. Razlike ukazuju na prisustvo IVOCs koje mobilnim gasnim hromatograf Voyager ne može da detektuje, pa je potrebna primena druge instrumentalne metode za njihovu detekciju.

Dobijeni rezultati pokazuju da se koncentracije TVOCs iz analiziranih procesnih tampon grafičkih boja smanjuju sa rastojanjem i vremenom analize kao i detektovani IVOCs.

3.3. Komparacije koncentracija IVOCs i TVOCs emitovanih iz ofset i tampon grafičkih boja

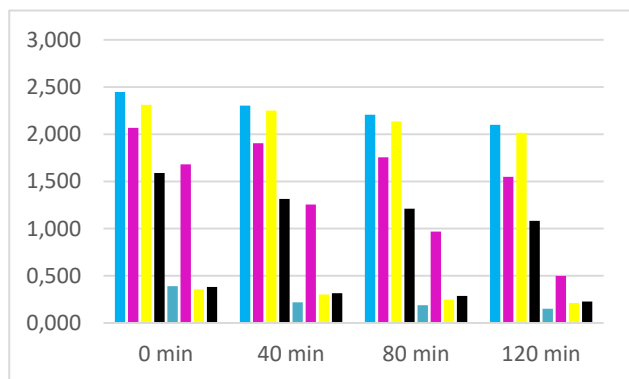
Poređenjem koncentracija IVOCs emitovanih iz analiziranih grafičkih boja uočava se da sve četiri procesne ofset

boje emituju za više od 99,4% izopropanola u odnosu na procesne tampon boje (slika 9).



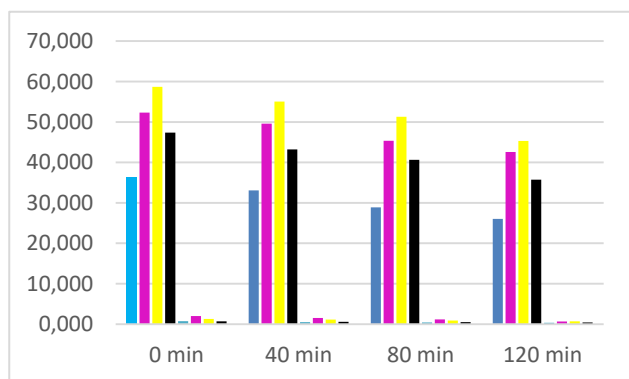
Slika 9. Poređenje koncentracija izopropanola emitovanog iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja

Koncentracije acetona emitovane iz procesnih ofset grafičkih boja su više, u odnosu na tampon boje, u intervalu: od 84,1 do 92,9% za cijan, od 18,8 do 67,8% za magentu, od 84,6 do 89,5% za žutu i od 76,0 do 79,0% za crnu boju (slika 10).



Slika 10. Poređenje koncentracija acetona emitovanog iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja

Poređenje koncentracija TVOCs emitovanih iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja pokazuje da se preko 96,2% više TVOCs oslobađa u grafičko okruženje iz procesnih ofset boja (slika 11).



Slika 11. Poređenje koncentracija ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu kvantitativne gasno hromatografske analize utvrđeno je da procesne ofset grafičke boje u neposredno

grafičko okruženje od IVOCs emituju izopropanol i aceton, dok procesne tampon grafičke boje emituju: izopropanol, aceton i MEK.

Najviše izopropanola emituje žuta ofset boja intervalu od 54,77 (na početku analize) do 41,69 ppm (posle 120 min). Dok su kod žute tampon boje koncentracije izopropanola u intervalu od 0,325 do 0,160 ppm. Dakle, utvrđeno je da četiri procesne ofset boje emituju za više od 99,4% izopropanola u odnosu na procesne tampon boje.

Cijan ofset boja najviše emituje aceton u intervalu od 2,447 do 2,099 ppm. Kod tampon procesnih boja magenta emituje najviše acetona u intervalu od 1,680 do 0,499 ppm. Utvrđeno je da procesne cijan, magenta, žuta i crna ofset boje odnosu na procesne tampon boje emituju aceton za više od 84,1%, 18,8 %, 84,6% i 76,0 %, redom.

Koncentracije MEKa su detektovane samo kod procesnih tampon boja, među kojima žuta boja emituje najviše MEKa u intervalu od 0,622 do 0,315 ppm.

Kod obe vrste procesnih boja je utvrđeno da:

- Udaljavanjem od same grafičke boje (od 0 do 1,5 m) i sa porastom vremena uzorkovanja (od 0 do 120 min) koncentracije IVOCs i TVOCs opadaju.
- Razlike između zbira koncentracija IVOCs i TVOCs ukazuju na prisustvo IVOCs koje mobilnim gasnim hromatograf Voyager ne može da detektuje. Za njihovu detekciju koje je potrebna primena drugih instrumentalnih metoda (npr. apsorpcije).
- U Republici Srbiji ne postoji zakonska regulativa kojom se propisuju maksimalno dozvoljene koncentracija IVOCs i TVOCs u učionicama.

5. LITERATURA

- [1] <https://vtsns.edu.rs/tempus/wp-content/uploads/2013/05/Uticaj-boja-u-grafickoj-industriji-na-radnu-i-zivotnu-sredinu.pdf> (pristupljeno u avgustu 2023.)
- [2] B. Ružičić, N. Babić, "Isparljiva organska jedinjenja u grafičkoj industriji", Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2013.
- [3] D. Šojić Merkulov, B. Abramović, S. Armaković, N. Finčur, "Hromatografske metode analize", Novi Sad, Republika Srbija, Prirodno-matematički fakultet, 2021.
- [4] M. Prica, S. Adamović, "Hemija u grafičkom inženjerstvu", Novi Sad, Republika Srbija, Fakultet tehničkih nauka, 2020.

Kratka biografija:

Andrea Salma rođena je u Zrenjaninu 1996. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičkog inženjerstva i dizajna odbranila je 2023. godine.
kontakt: andrea.salma@yahoo.com

Savka Adamović rođena je u Novom Sadu 1976. godine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine, a od 2022. godine je u zvanju vanredni profesor.
kontakt: adamovicsavka@uns.ac.rs