

**KONCENTRACIONI NIVOI ČESTIČNIH MATERIJAMA I LAKOISPARLJIVIH
KOMPONENATA U DIGITALNOJ ŠTAMPARIJI**

**CONCENTRATION LEVELS OF PARTICULATE MATTER AND VOLATILE
COMPONENTS IN DIGITAL PRINTING OFFICE**

Ljiljana Pavlić, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – Digitalna štampa kao revolucionarna tehnologija predstavlja direktnu štampu sa računara na supstrat. Parametri koji je definišu i po kojima se razlikuje od konvencionalnih tehnika štampe su kvalitetan otisak, produktivnost i industrijska primenljivost. Cilj rada je praćenje uticaja digitalnih mašina na kvalitet vazduha štamparije tokom osmočasovnog radnog vremena.

Ključne reči: Digitalna štampa, suspendovane čestice, lakoisparljiva jedinjenja

Abstract – Digital printing process as a revolutionary technology represents direct printing from a computer to substrate. The parameters that define it and by which it differs from conventional printing techniques are quality print, productivity and industrial applicability. The aim of this paper is to monitor the impact of digital machines on the air quality of the printing house during the eight-hour working times.

Keywords: Digital printing process, suspended particles, volatile compounds

1. UVOD

Grafička industrija je najveći zagađivač vazduha i treći najveći potrošač fosilnih goriva na svetu, odmah posle automobilske i metaloprerađivačke industrije.

Digitalna štampa je najmlađa tehnika štampe ali istovremeno i najnaprednija [1]. Uporedo sa automatizacijom procesa rada, digitalna štampa se neposredno razvija i polako preuzima primat nad drugim tehnikama štampe. Najrasprostranjeniji Non Impact štamparski postupak je elektrofotografija [2].

Osim naziva elektrofotografija, za navedenu tehniku štampe, mogu da se koriste i nazivi elektrostatička štampa, kserografija, laserska štampa, tonerska štampa, NIP postupak i digitalna štampa.

Zagađenje vazduha je i lokalni i globalni problem izazvan emisijom određenih zagađivača koji sami ili kroz neku hemijsku reakciju dovode do negativnih uticaja na životnu sredinu i zdravlje. Radnici u grafičkoj industriji su izloženi potencijalno opasnim nivoima rastvarača, boja, lepila, organskih i neorganskih pigmenta, akrilata,

NAPOMENA:

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

suspendovanim česticama, itd. Zaposleni imaju bliski kontakt sa hemikalijama koje se koriste za čišćenje ili rastvaranje boje i koje isparavaju tokom procesa štampe. Zabeleženo je mnogo zdravstvenih problema radnika grafičke industrije, koji uključuju kancer, neurološke poremećaje, iritaciju sluzokože i oboljenja kože. Pored raka mokraćne bešike i pluća, javlja se i rak kože i bubrega [3].

Suspendovane čestice poput PM₁₀ su među najopasnijim polutantima, one prilikom udisanja napadaju ljudski respiratorni sistem, utiču na njegovu otpornost i deponuju se u najdubljim delovima pluća. Zdravstveni problemi otpočinju kada organizam počne da se brani od svih stranih tela (čestica). PM₁₀ izazivaju ili osnažuju astmu, bronhitis i druga oboljenja pluća, a samim tim smanjuju ukupnu otpornost organizma [3].

Cilj rada je praćenje uticaja digitalnih mašina na kvalitet vazduha štamparije tokom osmočasovnog radnog vremena. Uticaj dve vrste digitalnih mašina (jednoboje i četvoroboje) je praćen na osnovu emisije PM₁₀ i PM_{2,5} suspendovanih čestica i ukupnih lakoisparljivih organskih komponenata. Dobijeni rezultati desetodnevnog monitoringa upoređeni su sa graničnim vrednostima emisije koje propisuju Uredbe Republike Srbije, Evropske unije, Svetske zdravstvene organizacije i Službe za bezbednost na radu i zdravlje radnika.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Opis radnog okruženja štamparije

Emisije suspendovanih čestica i ukupnih lakoisparljivih organskih komponenata monitoringovane su u ambijentalnom vazduhu štamparije departmana za Grafičko inženjerstvo i dizajn, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

Tokom desetodnevnog monitoringa (5 + 5 radnih dana) ispitivanih zagađujućih materija u ambijentalnom vazduhu, u štampariji su se sprovodili procesi digitalne štampe (elektrofotografski postupak) na jednoboju štamparskoj mašini Xerox D95A i četvoroboju štamparskoj mašini Xerox DocuColor 252. U procesima digitalne štampe upotrebljeni su ofset papir (G = 80 g/m²) i CMYK (cijan, magenta, žuta i crna) digitalne boje, proizvođača Xerox.

Prema Xerox proizvođaču svi materijali ili proizvodi prolaze kroz potpunu toksikološku procenu njihovih osobina i potencijalne izloženosti potrošača i tehničkog osoblja u štamparijama. Proces evaluacije bezbednosti razmatra moguće akutne i hronične efekte [4].

2.2. Analiza suspendovanih čestica

Masene koncentracije PM₁₀ i PM_{2,5} suspendovanih čestica, detektovane pored digitalnih mašina, određene su primenom gravimetrijske metode prema standardu SRPS EN 12341:2015.

Uzorkovanje PM₁₀ i PM_{2,5} suspendovanih čestica vršeno je uređajem za analizu čestičnih materija (BAGHIRRA s.r.o., Prag, Češka), preko filter papira (Whatman, UK) za PM₁₀ ili PM_{2,5} čestice koji se postavljaju na mrežice duraluminskog držača filtera. Mase odgovarajućih filter papira pre i posle 1 h uzorkovanja merene su na analitičkoj vagi, sa tačnošću ±0,0001g. Dnevne osmočasovne vrednosti izračunate su kumulativnim sabiranjem jednočasovnih podataka ažuriranih svakog sata.

Masene koncentracije PM₁₀ i PM_{2,5} suspendovanih čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije određuje se prema formuli (1) [5]:

$$Q_{sc} = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 10^6 \quad (1)$$

gde su: Q_{sc} – masene koncentracije PM₁₀ i PM_{2,5} suspendovanih čestica (µg/m³), m_1 – masa filter papira za PM₁₀, ili PM_{2,5} čestice pre uzorkovanja (g), m_2 – masa filter papira PM₁₀, ili PM_{2,5} čestice posle uzorkovanja (g) i V – zapremina propuštenog vazduha (m³).

2.3. Analiza lakoisparljivih organskih komponenata

Emisije ukupnih lakoisparljivih organskih komponenata detektovane tokom rada digitalnih mašina određene su primenom gasnohromatografske metode i mobilnog gasnog hromatografa Voyager-Photovac. Softverski paket (Site Chart) upotrebljen je za brzu i preciznu obradu dobijenih rezultata [6].

Vreme potrebno za uzorkovanje, analizu i obradu podataka od strane gasnog hromatografa Voyager-Photovac iznosi 40 minuta. Monitoring ukupnih lakoisparljivih komponenata sprovodio se na svakih sat vremena. Dnevne osmočasovne vrednosti izračunate su kumulativnim sabiranjem jednočasovnih podataka ažuriranih svakog sata.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Masene koncentracije suspendovanih čestica u štampariji

Desetodnevni monitoring PM_{2,5} suspendovanih čestica pokazao je da od 80 ukupnih merenja, samo dva merenja (2,5%) pored četvorobojne digitalne mašine imaju vrednost od 0,13 µg/m³, pa su dobijeni rezultati odbačeni kao merna nesigurnost. Detektovane koncentracije PM_{2,5} suspendovanih čestica pre rada mašina su bile u intervalu od 0,11 do 0,12 µg/m³ i dokaz su prisustva PM_{2,5} čestica iz spoljašnosti. Rezultati desetodnevnog monitoringa PM_{2,5} suspendovanih čestica pokazuju da ispitivane digitalne mašine ne proizvode i ne doprinose povećanju koncentracija PM_{2,5} čestica u vazduhu štamparije.

Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica pored jednobojne štamparske mašine Xerox D95A opadaju u nizu: 1. > 2. > 3. > 4. > 5. dan za prvu nedelju i 8. > 7. > 10. > 6. > 9. dana za drugu nedelju monitoringa.

Najveća pojedinačna količina suspendovanih PM₁₀ čestica (1,77 µg/m³) pored jednobojne štamparske mašine

izmerena je šestog sata drugog dana monitoringa. Najniže pojedinačne količine suspendovanih PM₁₀ čestica (0,16 µg/m³) izmerene su šestog, sedmog i osmog sata devetog dana monitoringa.

Odnosi najveća/najmanja količina suspendovanih PM₁₀ čestica tokom desetodnevnog monitoringa pored jednobojne mašine iznosili su: 1,7, 3,0, 2,1, 2,9, 1,7, 2,1, 1,8, 1,8, 2,4 i 2,3, redom. Dakle, najveća razlika između najmane i najveće količine suspendovanih PM₁₀ čestica izmerena je drugog dana.

Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica pored četvorobojne štamparske mašine Xerox D95A opadaju u nizu: 4. > 3. > 2. > 5. > 1. dan, za prvu nedelju i 8. > 6. > 7. > 10. > 9. dana za drugu nedelju monitoringa.

Desetodnevni monitoring pored četvorobojne štamparske mašine pokazuje da su najveće količine suspendovanih PM₁₀ čestica od 0,71 i 0,70 µg/m³ izmerene četvrtog dana (peti sat) i osmog dana (treći sat), dok je najniža količina (0,10 µg/m³) izmerena osmog sata desetog dana.

Za četvorobojnu digitalnu mašinu, kao i u slučaju za jednobojnu štamparsku mašinu, ne postoji obrazac po kome se koncentracije menjaju u toku jednog dana monitoringa, jer je rad digitalne mašine diskontinualan i zavisi od obima posla i organizacije tehničara štampe i njegove kompjuterske aktivacije mašine.

Rezultati za četvorobojnu mašinu pokazuju da su odnosi najveća/najmanja količina suspendovanih PM₁₀ čestica tokom prve nedelje monitoringa u intervalu od 1,1 do 2,8 puta, dok su za drugu nedelju u intervalu od 1,8 do 3,8 puta. Najveća razlika između najmane i najveće količine suspendovanih PM₁₀ čestica izmerena je sedmog dana monitoringa.

Dobijeni rezultati pokazuju da kumulativne i srednje vrednosti, odnosno količine emitovanih suspendovanih PM₁₀ čestica iz digitalne mašine zavise od tiraža i frekvencije aktivacije rada digitalne mašine tokom jednog sata. Tiraž je tokom prve nedelje bio u intervalu od 572 do 2303 strana za 8 sati. Druge nedelje, tiraž tokom osmočasovnog monitoringa je bio viši i u intervalu od 652 do 2610 strana za 8 sati.

Upoređujući uticaj vrste digitalne mašine na povećanje koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije utvrđeno je da veći doprinos ima jednobojna u odnosu na četvorobojnu mašinu. Kumulativne i srednje vrednosti za jednobojnu digitalnu mašinu su u intervalima: 1,84 - 9,66 µg/m³ i 0,23 - 1,21 µg/m³. Iste vrednosti za četvorobojnu digitalnu mašinu su niže i iznose: 0,97 - 4,24 µg/m³ (kumulativna) i 0,12 - 0,53 µg/m³ (srednja).

Tokom rada digitalne mašine, vrlo male količine papirne prašine i tonera se emituju u vazduh. Većina prašine koja se stvara unutar mašine odlazi se kroz izduvne gasove i zadržava se na filterima. Prašina povezana sa kopiranjem i štampanjem se sastoji prvenstveno od čestica i vlakana papira. Na kraju, nivoi papirne prašine zavise od sastava i kvaliteta korišćenog papira. Manje od 10% prašine proizvedeno je od čestica tonera. Nivoi su znatno ispod standardnih granica izloženosti za respiratornu prašinu [7].

Monitoring suspendovanih PM₁₀ čestica je sproveden u maloj štampariji koja radi samo osmočasovno radno vreme tako da nije bilo potrebno sprovoditi uzorkovanje

tokom 24 sata. Na osnovu najvećih kumulativnih vrednosti koncentracija suspendovanih PM₁₀ čestica od 9,66 µg/m³ (jednobojna mašina) i 4,25 µg/m³ (četvorbojna mašina) i uz pretpostavku kada bi štamparija radila istim kapacitetom kada su detektovane maksimalne vrednosti, vrednosti tokom 24 sata bi bile 28,98 i 12,75 µg/m³, redom. Čak i tri puta veće koncentracije ne prelaze GVE (50 µg/m³) za 24 sata prema navedenim zakonskim aktima.

3.2. Masene koncentracije lakoisparljivih organskih komponenata u štampariji

Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracije ukupnih lakoisparljivih komponenata (TVOC) pored jednoboje štamparske mašine Xerox D95A opadaju u nizu: 1. > 2. > 3. > 4. > 5. dan za prvu nedelju i 8. > 7. > 10. > 6. > 9. dana za drugu nedelju monitoringa. Rezultati pokazuju da TVOC koncentracije opadaju po istom nizu kao i koncentracije PM₁₀ suspendovanih čestica za obe nedelje monitoringa.

Najniža koncentracija TVOC (0,10 ppm) pored jednoboje štamparske mašine izmerena je osmog sata šetog dana monitoringa. Najveća pojedinačna koncentracija TVOC (1,06 ppm) izmerena je četvrtog sata prvog dana monitoringa.

Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracioni nivoi TVOC pored četvorboje štamparske mašine Xerox D95A opadaju u nizu: 4. > 3. > 2. > 5. > 1. dan, za prvu nedelju i 8. > 6. > 7. > 10. > 9. dana za drugu nedelju monitoringa.

Monitoring pored četvorboje štamparske mašine u periodu od deset radnih dana pokazuje da je najveća koncentracija TVOC od 4,66 ppm izmerena petog sata četvrtog dana, dok je najniža koncentracija (1,11 ppm) izmerena osmog sata desetog dana.

Kumulativne vrednosti koncentracija TVOC za četvorbojnu mašinu tokom osmočasovnog radnog vremena opadaju u nizu: 8. > 4. > 6. > 3. > 7. > 2. > 10. > 5. > 9. > 1. dan. Takođe, srednje dnevne vrednosti koncentracija tokom prve i druge nedelje monitoringa opadaju po istom obrazcu kao i kumulativne vrednosti.

Upoređujući uticaj vrste digitalne mašine na povećanje koncentracije TVOC u ambijentalnom vazduhu štamparije utvrđeno je da veći doprinos ima četvorbojna u odnosu na jednoboju mašinu. Kumulativne i srednje vrednosti za četvorbojnu digitalnu mašinu su u intervalima: 14,01 - 24,84 ppm i 1,75 - 3,11 ppm, redom. Za jednoboju digitalnu mašinu su kumulativne i srednje vrednosti su niže i iznose: 0,56 - 5,90 ppm i 0,07 - 0,74 ppm, redom.

Emisija TVOC tokom rada digitalnih mašina zavisi od sledećih faktora: vrste tonera, vrste mašine, tiraža, dimenzija prostorije i ventilacionog sistema. Dakle, veliki broj parametara može da utiče na detekciju polutanata u ambijentalnom vazduhu, zato je neophodno sprovesti monitoring u dužem vremenskom intervalu sa većim obimom promenljivih kako bi se dobili relevantni podaci o emitovanim koncentracijama ukupnih, ali i pojedinačnih lakoisparljivih komponenata (VOC).

4. ZAKLJUČAK

Sprovedeni desetodnevni monitoring je pokazao da digitalni proces štampe doprinosi kvalitetu ambijentalnog

vazduha kroz emisiju suspendovanih PM₁₀ čestica i ukupnih lakoisparljivih organskih komponenata. Rezultati monitoringa koncentracija TVOC pokazuju da su najveće koncentracije od 1,06 ppm i 4,66 ppm detektovane tokom jednočasovnog monitoringa za jednoboju i četvorboju mašinu, redom.

Upoređujući uticaj vrste digitalne mašine na povećanje koncentracije suspendovanih PM₁₀ čestica u ambijentalnom vazduhu štamparije utvrđeno je da veći doprinos ima jednoboju u odnosu na četvorboju mašinu.

Kumulativne vrednosti za jednoboju digitalnu mašinu su u intervalu od 1,84 do 9,66 µg/m³ i aproksimativno su veće 2,3 i 1,9 puta u odnosu na iste veličine za četvorboju mašinu.

Na povećanje koncentracije TVOC u ambijentalnom vazduhu digitalne štamparije utvrđeno je da veći doprinos ima četvorbojna u odnosu na jednoboju mašinu. Na osnovu dobijenih rezultati uočava se da ne postoji obrazac po kome se menjaju koncentracioni nivoi suspendovanih PM₁₀ čestica i TVOC za osmočasovno radno vreme, jer je rad digitalnih mašina poluautomatski i zavisi isključivo od frekvencije rada operatera.

Služba za bezbednost na radu i zdravlje radnika propisuje dozvoljene granične vrednosti izlaganja i granice kratkotrajnog izlaganja za pojedinačne VOC, ali ne i za ukupne VOC. Ni Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha Republike Srbije ("Sl. glasnik R Srbije", br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013) ne propisuje GVE za TVOC. Zato je neophodno sprovesti dugoročniji monitoring u digitalnoj ali i u ostalim tehnikama štampe i obuhvatiti veći broj proizvodnih pogona (koji se razlikuju po veličini, vrsti mašina koje upotrebljavaju, vrsti grafičkih materijala, sistemu ventilacije, itd.) kako bi se dobili relevantni podaci na osnovu kojih bi se dopunile zakonske uredbe Republike Srbije.

5. LITERATURA

- [1] D. Novaković, N. Kašiković, "Digitalna štampa", Novi Sad, FTN izdavaštvo, 2013.
- [2] D. Novaković, Ž. Pavlović, N. Kašiković, "Tehnike štampe: priručnik za vežbe", Novi Sad, FTN Izdavaštvo, 2015.
- [3] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4886190/> (pristupljeno 29.05.2020.)
- [4] https://www.xerox.com/downloads/usa/en/e/environment_safetyfacts.pdf (pristupljeno 27.09.2020.)
- [5] https://iss.rs/sr_Cyrl/publication/show/iss:pub:50728
- [6] PE Photovac, "PE Photovac Voyager users manual", 1997.
- [7] https://www.xerox.com/downloads/usa/en/e/environment_safetyfacts.pdf (pristupljeno 27.09.2020.)

Adrese autora za kontakt:

Ljiljana Pavlić - ljiki83@gmail.com

Doc. dr Savka Adamović - adamovicsavka@uns.ac.rs

Grafičko inženjerstvo i dizajn, FTN, UNS.