

## Analiza proizvodnog procesa u funkciji minimizacije uticaja na životnu sredinu

VELJKO ĐUKIĆ, Panevropski univerzitet APEIRON, Banja Luka,  
Bosna i Hercegovina

Pregledni rad  
UDC: 628.4.034  
502/504

DOI: 10.5937/tehnika1801153D

*Rad daje sažeti pristup sinteze i analize proizvodnog procesa s ciljem smanjenja zagađenja životne sredine. Praćenjem kretanja sirovina, produkata, sporednih produkata, pomoćnih materijala kroz proces i njihovim karakteristikama, moguće je preusmjeravanjem tokova postići ekonomski i ekološki prihvatljiv proces. Održive industrijske aktivnosti moraju zadovoljiti potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja potreba budućih generacija, što znači da hemijski procesi trebaju koristiti sirovine, vodu i energiju na takav način da ne ugrožavaju životnu sredinu i da budu ekonomski prihvatljivi.*

*U početku dvije ključne grane integracije procesa bile su integracija energije i integracija mase, ali s razvojem matematičkih metoda programiranja, optimizacije te sve jačom programskom podrškom proširilo se i područje djelovanja. Integracija procesa usmjerena je na četiri područja djelovanja: djelotvornu upotrebu sirovina, energetske djelotvornost, smanjenje emisija i na procesne operacije što je ujedno i osnovna strategija čistije proizvodnje.*

*U radu će se dati poveznica osnovnih koraka strategije čistije proizvodnje i metoda integracije procesa,*

**Ključne riječi:** *čistija proizvodnja, integracija procesa, životna sredina*

### 1. UVOD

Ne postoji proizvodni proces koji pored glavnog proizvoda ne proizvodi sporedne produkte ili proizvode u plinovitom, tekućem ili krutom stanju. To su ostaci koji se mogu iskoristiti kao pomoćni mediji ili kao sirovine za neku drugu proizvodnju, a ako ne postoji tehnička i ekonomska opravdanost za takvo iskorištenje onda se govori o otpadu koji zagađuje životnu sredinu [1].

Proizvođač proizvoda od kojega potiče otpad odgovoran je za odabir rješenja najprihvatljivijeg za životnu sredinu prema svojstvima proizvoda i tehnologiji proizvodnje, uključujući vijek trajanja proizvoda i upotrebu najbolje dostupne tehnologije. Proizvođač otpada podmiruje sve troškove preventivnih mjera i mjera zbrinjavanja otpada, troškove upravljanja otpadom koji nisu pokriveni prihodom ostvarenim od prerade otpada, te je finansijski odgovoran za provođenje

preventivnih i sanacijskih mjera zbog štete za životnu sredinu koju je prouzročio ili bi je mogao prouzročiti otpad.

Zahtjevi IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) direktive se zasnivaju na primjeni najbolje raspoloživih tehnika (BAT – Best Available Technique) koji se utvrđuju Zakonom o zaštiti životne sredine. BAT tehnike podrazumijevaju sve tehnike uključujući tehnologiju, planiranje, izgradnju, održavanje, rad i zatvaranje postrojenja, koje su primjenjive u praksi pod prihvatljivim tehničkim i ekonomskim uslovima te su najdjelotvornije u postizanju najvišeg stepena zaštite životne sredine kao cijeline [2].

Emisije u životnoj sredini, propisane posebnim propisima, iz postrojenja za obradu otpada i odlagališta otpada moraju se umanjiti, koliko je to moguće, na tehnički najefikasniji način.

Sa stajališta hemijsko inženjerske struke, kada je industrijski otpad u pitanju, uvijek se prati proizvodni proces i emisije koje pri tome nastaju, a koje zagađuju životnu sredinu – vodu, vazduh i zemljište. Zadatak hemijskih inženjera je prepoznati mjesta na procesnim postrojenjima na kojima se javlja zagađenje i mjesta na kojima nije iskorištena toplota, te raznim vještinama i alatima dati rješenje za ekonomski i ekološki prihvatljiv proces.

---

Adresa autora: Veljko Đukić, Panevropski univerzitet, APEIRON, Banja Luka, Pere Krece 13, Bosna i Hercegovina

e-mail: vjljuki@gmail.com

Rad primljen: 26.10.2017.

Rad prihvaćen: 23.11.2017.

## 2. IZVORI ZAGAĐENJA U PROIZVODNIM PROCESIMA

Svi procesi, pored glavnog proizvoda, proizvode i sporedne produkte koji se mogu koristiti kao sirovine za neku drugu proizvodnju ili kao pomoćni materijali, kad je to tehnički ili ekonomski opravdano. Ako to nije moguće, tada se govori o otpadu. Dva su osnovna pristupa postupanja s zagađenjem u obliku otpada [3]:

- Obrada otpada raznim hemijskim, fizičkim i biološkim postupcima kako bi se preveo u oblik pogodan za ispuštanje u životnu sredinu (tzv. „end-of-pipe“ obrade ili tehnologije).
- Minimizacija proizvedenog otpada na mjestu nastanka analizom i projektovanjem ekološki prihvatljivih procesa.

Tri su osnovna izvora zagađenja u procesima:

- Reaktor – procesna jedinica u kojoj se odvija prevođenje sirovina u željeni produkt, većinom uz nepotpunu konverziju, uz dodatka aditiva i katalizatora. Osim toga u reaktoru se odvijaju egzotermne ili endotermne reakcije kojima treba odvesti ili dovesti toplotu tako da je reaktor energetski aktivna jedinica koja ima potencijal za iskorištenje toplote u procesu.
- Separacijski uređaj – procesna jedinica za odvajanje produkta od ostalih neželjenih komponenta koje su potencijalni otpad. Separacijski uređaji koriste separacijska sredstva koji su također izvori zagađenja.
- Procesne operacije – to su jedinice za izmjenu toplote, transport fluida – cjevovodi, pumpe, kompresori, spremnici i ostale karakteristične jedinice u zavisnosti od tehnologije koja se analizira.

## 3. SPRIJEČAVANJE ZAGAĐENJA U PROCESIMA

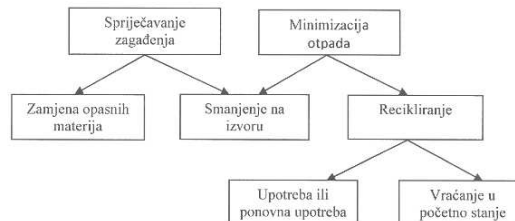
Spriječavanje zagađenja (pollution prevention) podrazumjeva efikasnije korištenje sirovina i energije kako bi se smanjilo ili u potpunosti eliminisalo nastajanje zagađenja.

Pojam obuhvaća smanjenje na izvoru, recikliranje unutar postrojenja te modifikacije u procesu i na postrojenju koja rezultiraju većom energetskom efikasnošću, boljim iskorištenjem sirovina te smanjenjem nastajanja otpada.

Spriječavanje zagađenja ne podrazumjeva spaljivanje otpada, recikliranje izvan postrojenja, obradu otpada i odlaganje. Prevencija zagađenja i minimizacija otpada prema EPA (Environmental Protection Agency) prikazana je na slici 1.

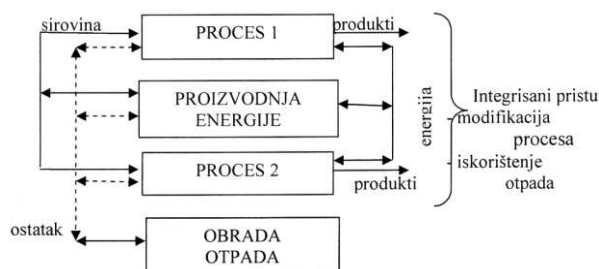
Ako neka od navedenih aktivnosti nije izvodljiva, tada se takvom toku dodaju slijedeća dva stepena:

obrada end-of-pipe tehnologijama koje smanjuju toksičnost i/ili volumen nastalog otpada hemijskim, biohemijskim i fizičkim procesima i uključivanje raspoloživih aktivnosti za rukovanje otpadom izvan procesnog prostora [4].



Slika 1 - Prevencija zagađenja i minimizacija otpada prema EPA (Izvor: EPA, 2005)

Kod proizvodnih procesa integracijom procesa smanjuje se zagađenje vode, vazduha i zemljišta (slika 2). Međutim, takva rješenja moraju biti izvodljiva u tehničkom i ekonomskom smislu. To je poznato kao čistija proizvodnja. Čistija proizvodnja podrazumijeva primjenu principa sprječavanja (prevencije) zagađenja na samom izvoru njegovog nastanka zamjenom klasičnih rješenja koja tretiraju otpad na kraju proizvodnog procesa. Rezultati uvođenja čistije proizvodnje su: uštede, smanjeni uticaj na životnu sredinu i bolja usklađenost sa domaćim zakonodavstvom, EU propisima i međunarodnim standardima [5]



Slika 2 - Pristup sprečavanju zagađenja (Izvor: Đukić, 2009)

Prevencija nastanka otpadne vode može se postići određenim promjenama postojećeg procesa i to:

- promjenom postupka dobivanja nekog proizvoda,
- upotrebom katalizatora s većim stepenom djelovanja,
- promjenom tehnologije,
- korištenjem kvalitetnijih sirovina,
- zamjena opasnih materija.

## 4. UPRAVLJANJE OTPADNIM MATERIJAMA U PROCESIMA

Emisije iz proizvodnih procesa čine otpadni gasovi, otpadne vode, otpadna toplota. Upravljanje otpadom podrazumjeva [6]:

- Smanjenje na izvoru – reaktor je prilagođen tako da nastaje manje otpada.

- Recikliranje u procesu – nepromjenjena masa se odvaja u separatoru i vraća u reaktor.
- Recikliranje unutar postrojenja – otpad iz reaktora se u drugom reaktoru prevodi u produkt.
- Recikliranje izvan postrojenja – otpad iz reaktora se odvaja i prevozi do drugog postrojenja u kojem se prevodi u produkt.
- Zbrinjavanje otpada – otpad iz reaktora se odvaja i obrađuje kako bi mu se smanjila štetnost po životnu sredinu.
- Sigurno odlaganje – otpad iz reaktora se odvaja i odvozi na uređeno odlagalište otpada.
- Direktno ispuštanje u životnu sredinu – otpad se odvaja od produkta i neobrađen ispušta u životnu sredinu.

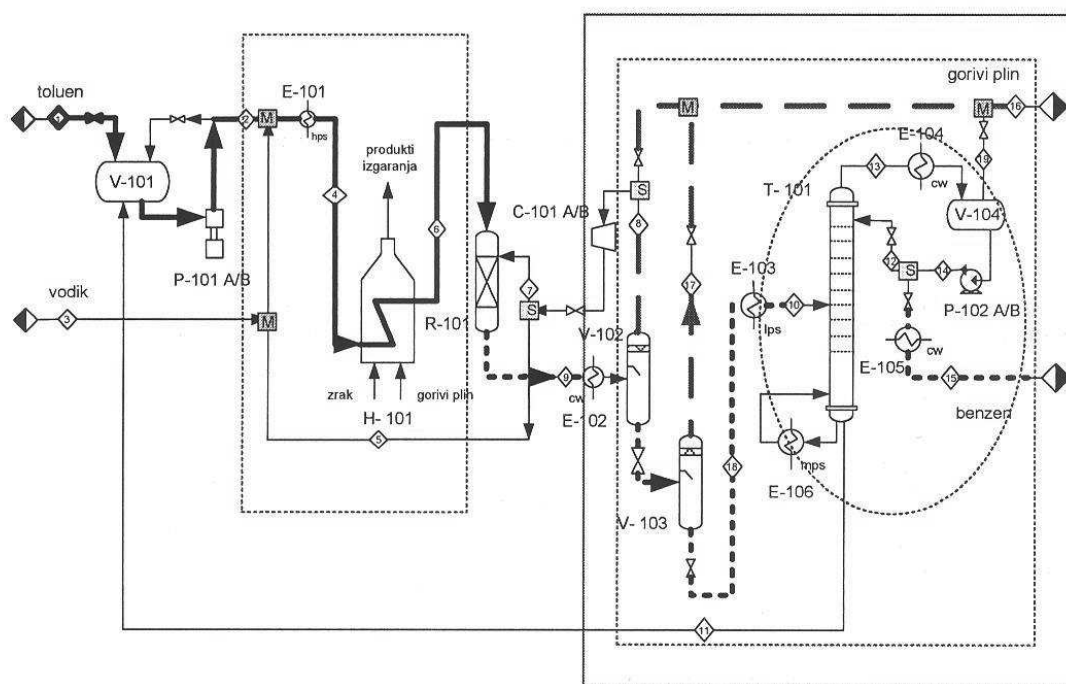
## 5. SINTEZA I ANALIZA PROCESA

Sinteza i analiza procesa čine osnovu pri projektovanju procesa koji treba biti tehnički izvodiv te ekonomski i ekološki prihvatljiv. Osnovno kod sinteze procesa je odabir jedinica, povezivanje jedinica u cijelinu uz predlaganje alternativa i konačan odabir najprihvatljivijeg procesa. Rezultat sinteze procesa je procesna shema koja predstavlja odabranu procesnu opremu i međusobnu povezanost te opreme.

Nakon sinteze procesa slijedi analiza procesa kojom se mogu locirati mjesta nastajanja otpadnih materija i uočiti sve energetske jedinice kako bi se utvrdilo da li je maksimalno iskorištena toplota unutar procesa. Potrebno je pratiti tokove sirovina, produkata, identificirati recirkulacijske i bypass struje, zatim struje pomoćnih medija te ulazne i izlazne struje.

Na slici 3. data je procesna shema proizvodnje benzena procesom hidrodealkilacije toluena pri čemu je crnom zadebljanom linijom prikazan tok sirovine, toluena koji ide do reaktora. U reaktoru toluen reagira i nastaje benzen, čiji je tok prikazan plavom isprekidanom linijom [7].

Za odabrani proces potrebno je raspolagati sa odgovarajućim radnim uslovima, količinom i sastavom svake pojedinačne struje, specifikacijom opreme kako bi se provela detaljna analiza procesa. Potrebno je provesti simulaciju baznog procesa uz pomoć programskog sistema kojim raspolažemo, a zatim razlaganjem procesa na pojedinačne cijeline potrebno je povesti parametarsku studiju za svaku pojedinačnu jedinicu ili više jedinica unutar procesa kako bi predvidjeli ponašanje odabranog procesa. Poslije toga slijedi integracija procesa s ciljem što boljeg iskorištenja toplote i materije u samom procesu.

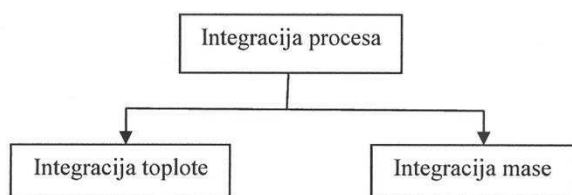


Slika 3 - Shema proizvodnje benzena procesom hidrodealkilacije toluena (Izvor: Turton, 2005)

## 6. INTEGRACIJA PROCESA

Integracija procesa predstavlja holistički pristup izvedbi procesa koji uzima u obzir interakciju među procesnim jedinicama, sa ciljem smanjenja troškova i

zagađenje životne sredine, a uključuje integraciju toplote i integraciju mase (slika 4). Osnovna prednost ovakvog pristupa je posmatranje sistema kao cijeline, što rezultira boljim iskorištenjem sirovina i energije, te smanjenjem zagađenja i gubitka energije [8].



Slika 4 - Integracija toplote i mase (Izvor: Dunn-2007)

### 6.1 Integracija toplote

Integracija toplote je sistematska metodologija povezivanja svih energetski aktivnih jedinica unutar procesa i pronalaženje rješenja za najbolje iskorištenje toplote u samom procesu. Primjena pinch tehnologije u velikoj je mjeri olakšala rješavanje izrade mreže izmjene toplote kojom se postiže optimalno korištenje toplote u samim procesima. Takav pristup integraciji procesa pri projektovanju, naziva se HEN (Heat Exchange Network) Design. Razvijene su brojne metode za sintezu mreže izmjene toplote [9].

Primjena pinch tehnologije u integraciji toplote prikazan je na jednostavnom primjeru protustrujnog izmjenjivača toplote. Procesne struje često treba zagrijavati kako bi se postigli odgovarajući uslovi bilo za željenu reakciju, bilo za neki separacijski proces. Pri tome se toplota dobiva izgaranjem goriva, što utiče na povećanje troškova i na životnu sredinu. Procesne struje treba i hladiti, što se postiže prolazom rashladne vode kroz sistem. Kako bi se temperatura rashladne vode mogla držati konstantnom, koriste se rashladni tornjevi kod kojih se javlja veliki gubitak procesne vode zbog isparavanja u atmosferu. Projektovanjem mreže izmjenjivača toplote, toplota iz struja koje treba hladiti (tople struje) služi za grijanje hladnih struja.

Time se smanjuje potreba za gorivom i smanjuje se gubitak procesne vode iz rashladnih tornjeva [8].

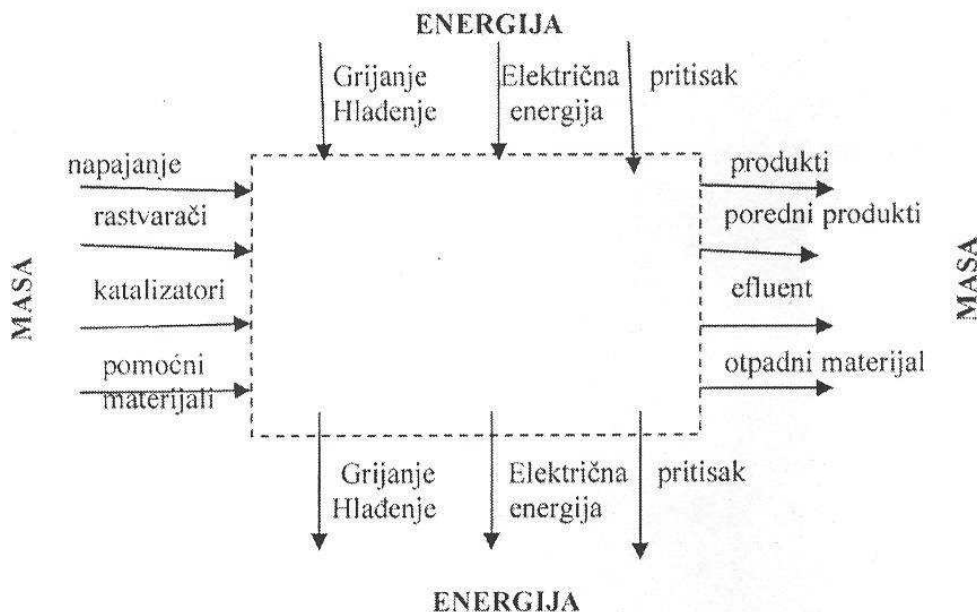
### 6.2 Integracija mase

Integracija mase je sistematska metodologija povezivanja i prepoznavanja tokova materija unutar procesa i pronalaženje rješenja za najbolje iskorištenje mase u procesu. Ta metodologija se primjenjuje kod procesa gdje dolazi do izmjene materije, a to su separacijski procesi i baziraju se na pinch tehnologiji. Izvedba mreže izmjene mase je neophodna za prevenciju sprečavanja zagađenja životne sredine pri čemu govorimo o MEN (Mass Exchange Network) Design.

Metodologija je primjenjiva kod end-of-pipe mjera za smanjenje otpada, kod recikliranja te isto tako i kod separacijskih sistema unutar procesa. MEN sinteza je poznata u cijelom nizu važnih kategorija kao što su: višekomponentni sistemi, sistemi za regeneraciju, sistemi s hemijskom reakcijom, zatim s integracijom toplote, smanjenje otpadne vode i cijeli niz tehnika sinteze.

Na slici 5. predstavljen je procesni prostor s ključnim procesnim jedinicama u koji ulazi masa ulaznih sirovina i isto tako izlazi masa raznih produkata koji su nastali. Da bi se proces odvijao treba dovesti različitu energiju koja se troši, ali istovremeno i nastaje.

OVAKO prikazan sistem ukazuje na složenost problematike, na koji način povezati procesne jedinice te kako umrežiti tokove energije i mase u procesu kako bi postigli optimalni rad procesa. Razvijene su vještine i alati koji istovremeno integrišu energiju (toplotu) i masu [10].



Slika 5 - Procesni prostor s ključnim procesnim jedinicama

Da bi svi projekti bili uspješno provedeni potrebno je provesti detaljnu sintezu i analizu procesa. Nakon prikupljanja informacija kao što su informacije o reakcijama, sirovinama, ograničenjima procesa, sigurnosti, toksičnosti, ograničenjima vezanim uz zaštitu životne sredine, cijeni i cijelom nizu ostalih informacija treba ustanoviti da li proces odnosno cijelo postrojenje maksimalno koristi toplotu i materije koje sudjeluju u procesima.

Takvi podaci nam omogućuju odabir alata i vještina za uspješno dobivanje rješenja za postavljene ciljeve uštede energije, smanjenje otpada, smanjenje operativnih i investicijskih troškova, a sve u svrhu čistije proizvodnje.

## 7. ZAKLJUČAK

Analiza procesa predstavlja osnovu pri projektovanju tehnološkog procesa koji treba biti tehnički izvodiv te ekonomski i ekološki prihvatljiv. Analizom procesa se lociraju mjesta nastajanja otpadnih materija i uočavaju energetske aktivnosti svih jedinica kako bi se utvrdilo da li je maksimalno iskorištena toplota unutar samog procesa. Poslije toga slijedi integracija procesa s ciljem što boljeg iskorištenja toplote i materije u samom procesu.

Integracija procesa uzima u obzir interakciju među procesnim jedinicama, sa ciljem smanjenja troškova i zagađenje životne sredine, a uključuje integraciju toplote i integraciju mase. Osnovna prednost ovakvog pristupa je posmatranje sistema kao cijeline, što rezultira boljim iskorištenjem sirovina i energije, te smanjenjem zagađenja i gubitka energije.

Kod proizvodnih procesa integracijom procesa smanjuje se zagađenje vode, vazduha i zemljišta. Međutim, takva rješenja moraju biti izvodljiva u tehničkom i ekonomskom smislu, što je poznato kao čistija proizvodnja.

## LITERATURA

- [1] Đukić V, *Osnove zaštite životne sredine*, Panevropski univerzitet „Apeiron” Banjaluka, 120-125, 2008.
- [2] *IPPC direktiva*, Direktiva Vijeća 96/61/EC, 1996.
- [3] *Integration*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, South-East England, 1-19, 2005.
- [4] Christ C, Integrated Environmental Protection Reduces Water Pollution, *Chem. Eng. Technol.* 22(8), 642-651, 1999.
- [5] UNIDO. *Nacionalni program čistije proizvodnje u Bosni i Hercegovini*, Sarajevo, 2015.
- [6] Đukić V, *Osnove zaštite životne sredine*, Panevropski univerzitet „Apeiron” Banjaluka, 126-127, 2008.
- [7] Turton R, Bailie W. B, Shaewitz J.A, *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*, 2nd Ed Prentice Hall, New Jersey. 2005.
- [8] Dunn R. F, El-Halwagi, M, Process integration technology review: background and applications in the chemical process industry, *J. Chem. Technol. Bio-technol.* 78, 1011-1021, 2007.
- [9] Gundersen T, Naess L, The Synthesis of Cost Optimal Heat Exchanger Networks, An Industrial Review of the State of the Art, *Comput. Chem. Eng.*, 12, 503-530, 1990.
- [10] Đukić V, *Mogućnost reciklaže otpadnog plastičnog materijala za potrebe proizvodnje toplote energije*, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Banja Luka. 2016.

## SUMMARY

### ANALYSIS OF PROCESS PRODUCTION IN MINIMIZATION ENVIRONMENTAL IMPACT

*This work gives summarize approach of synthesis and analysis of production process with the purpose of reducing environmental pollution. Monitoring the movement of substances raw materials, products, secondary products, auxiliary materials through the process and their characteristics, can be forwarded flows to achieve economically and environmental acceptable process. Sustainable industrial activities must fulfill the needs of today, without compromising the needs of future generations. This means that chemical processes should use resources, water and energy in a way which is not harmful to the environment, and is economically acceptable.*

*In the beginning, two key areas of process integration were energy integration and mass integration. With the development of mathematical programming methods and various commercial optimization tools, the area of interest expanded. Process integration has four main areas: effective use of raw materials, energy efficiency, emission reduction and process operations, which is also a key strategy of cleaner production.*

*In this work a link between basic steps of cleaner production strategy and process integration is given.*

**Key words:** *clean production, process integration, environment.*