

Ово дело је заштићено лиценцом Креативне заједнице Ауторство – некомерцијално – без прерада¹.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.



¹ Опис лиценци Креативне заједнице доступан је на адреси creativecommons.org.rs/?page_id=74.

"Сва права задржава издавач. Забрањена је свака употреба или трансформација електронског документа осим оних који су експлицитно дозвољени Creative Commons лиценцом која је наведена на почетку публикације."

"Sva prava zadržava izdavač. Zabranjena je svaka upotreba ili transformacija elektronskog dokumenta osim onih koji su eksplicitno dozvoljeni Creative Commons licencom koja je navedena na početku publikacije."



UNIVERZITET U NOVOM SADU
Prirodno-matematički fakultet
Departman za hemiju, biohemiju i
zaštitu životne sredine



Dr Jelena Beljin
Dr Snežana Maletić
Dr Božo Dalmacija
Dr Đurđa Kerkez

IZVORI I KONTROLA ZAGAĐIVANJA ŽIVOTNE SREDINE

- zbirka zadataka -



Novi Sad, 2021.



**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HEMIJU, BIOHEMIJU I
ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE**



**dr Jelena Beljin
dr Snežana Maletić
dr Božo Dalmacija
dr Đurđa Kerkez**

IZVORI I KONTROLA ZAGAĐIVANJA ŽIVOTNE SREDINE

- zbirka zadataka -

Novi Sad, 2021.

Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine

-zbirka zadataka-

ISBN: 978-86-7031-578-5

Autori

Dr Jelena Beljin, docent Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu
Dr Snežana Maletić, redovni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu
Dr Božo Dalmacija, redovni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu
Dr Đurđa Kerkez, vanredni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

Recenzenti

Dr Srđan Rončević, redovni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu
Dr Jelena Molnar-Jazić, vanredni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu
Dr Marina Šćiban, redovni profesor Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu

Izdavač

Univerzitet u Novom Sadu,
Prirodno-matematički fakultet,
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine,
21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3

Glavni i odgovorni urednik

Profesor dr Milica Pavkov Hrvojević, dekan
Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

Praktikum je odobren za štampu i upotrebu na 34. sednici Nastavno-naučnog veća Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu održanoj 13.05.2021. godine (rešenje broj 0602-07-167/21-12 od 19.05.2021. godine).

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

504.5(075.8)(076)

IZVORI i kontrola zagađivanja životne sredine [Elektronski izvor] : zbirka zadataka / Jelena Beljin ... [et al.]. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, 2021. - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Nasl. sa naslovnog ekrana. - Bibliografija.

ISBN 978-86-7031-578-5

a) Животна средина - Загађење

COBISS.SR-ID 37970697

©Sva prava zadržana. Nije dozvoljeno da praktikum ili njegovi delovi budu reprodukovani na bilo koji način bez dozvole izdavača ili autora.

Tiraž: 300, Slog: dr Jelena Beljin, dr Snežana Maletić, dr Božo Dalmacija, dr Đurđa Kerkez ; Tehnička obrada: Nada Popsavin; Štampa: elektronski primerak

PREDGOVOR

Zbirka zadataka "Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine" sa kratkim izvodima iz teorije prevashodno je namenjena studentima Osnovnih akademskih studija zaštite životne sredine – analitičar zaštite životne sredine Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu koji slušaju nastavu iz predmeta Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine.

Procenjuje se da velika industrijska postrojenja dominantno doprinose ukupnim emisijama atmosferskog zagađenja pri čemu utiču i na kvalitet vazduha, vode i zemljišta. Osim toga, proizvode ogromne količine otpada i utiču na potrošnju energije i generalno stanje u energetsom sektoru. Najveće emitovane količine polutanata potiču iz postrojenja u okviru energetske sektora, hemijske i mineralne industrije, kao i od životinjskih i biljnih proizvoda iz prehrambenog sektora.

U cilju kvantifikovanja uticaja i emisije polutanata u životnoj sredini koriste se različite tehnike za procenu emisije polutanata. U ovoj zbirci zadataka obrađene su procene emisije iz industrijskih postrojenja (za proizvodnju energije, neorganskih i organskih hemijskih proizvoda, minerala, metala i nemetala, celuloze i papira, tekstila, štavljenje i preradu kože, kao i poljoprivredno-prehrambenog sektora) upotrebom najčešće korišćenih tehnika: primena podataka dobijenih direktnim merenjima – kontinualnim ili diskontinualnim monitoringom, primena masenog bilansa, primena emisijih faktora i primenom inženjerskih preračunavanja.

Koja od navedenih tehnika će se koristiti zavisi od konkretnog slučaja. Na primer: balans mase je pokazao najbolje rezultate pri proceni odnosno izračunavanju emisije kod fugalivne emisije odnosno gubitaka kod ventila ili pumpi, direktna merenja su najbolja za emisije iz tačkastog izvora, kao što su dimnjaci, dok se izračunavanje pomoću emisijih faktora koristi za procenu gubitaka iz rezervoara i drugih skladišta.

Obrađeni sadržaji u potpunosti odgovaraju nastavnom planu i programu predmeta Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine koji se realizuje na Prirodno-matematičkom fakultetu, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Univerziteta u Novom Sadu i predstavljaju rezultat dugogodišnjeg iskustva autora u njegovoj interpretaciji.

Osnovna ideja autora bila je da se, u što je moguće većoj meri, studentima približi i olakša savladavanje gradiva, kroz niz primera datih u zbirci. Istovremeno, dat je osvrt i na trenutnu zakonsku regulativu Republike Srbije

i granične vrednosti emisije koje su propisane u ovoj oblasti, kako bi studenti razumeli šta znači niz jednačina i dobijeni rezultati koji se u zbirci pominju.

Umnožavanje i distribucija ovog materijala nije dozvoljena bez posebnog odobrenja autora.

U Novom Sadu,
April 2021. godine

Autori



(26.10.1984. - 01.04.2012.)

Ovu zbirku zadataka posvećujemo našoj kolegici doc. dr Mileni Dalmaciji, koja je postavila kamen temeljac predmeta Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine.

Njen entuzijazam, znanje i vedrina utkani su u stranice ove zbirke koja je pred Vama.

ZA UVEK U NAŠEM SEĆANJU...



Fondacija “Docent dr Milena Dalmacija” jednom godišnje objavljuje javni konkurs za dodelu nagrade “*Docent dr Milena Dalmacija*” za doktorsku disertaciju koja je dala najveći naučni doprinos iz oblasti zaštite životne sredine na univerzitetima u Republici Srbiji. Fondacija dodeljuje jednu stipendiju za studenta II, III ili IV godine hemije - kontrola kvaliteta i upravljanje životnom sredinom ili zaštite životne sredine – analitičar zaštite životne sredine, Prirodno-matematič-kog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu. Sva obaveštenja se mogu dobiti na sajtu: www.fondacijadocentdrmilenedalmacija.com

Izvod iz statuta: **FONDACIJE DOCENT dr MILENA DALMACIJA**

Ciljevi Fondacije

Cilj osnivanja Fondacije je ostvarivanje opštekorisnog cilja preduzimanjem aktivnosti usmerenih na promovisanje i popularizaciju visokog obrazovanja, nauke, sporta i humanosti među mladima, a naročito sledećih aktivnosti:

- Dodela nagrada za doktorsku disertaciju koja je dala najveći naučni doprinos iz oblasti zaštite životne sredine na univerzitetima u Republici Srbiji (nagrada bi bila dodeljivana za period od jedne školske godine).
- Finansijska pomoć za studente doktorskih studija iz zaštite životne sredine koji studiraju na univerzitetima u Republici Srbiji.
- Finansijska pomoć za izgradnju spomen kapele za studente koji su tragično izgubili život.
- Stipendiranje studenata Departmana za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.



Upravnik fondacije
“Docent dr Milena Dalmacija”
Jelena Dalmacija

Predsednik upravnog odbora fondacije
“Docent dr Milena Dalmacija”
dr Srđan Rončević

21410 Futog, Stepe Stepanovića 25; www.fondacijadocentdrmilenedalmacija.com;
Matični broj fondacije 28826168; PIB 107866816; Broj dinarskog računa: 340-11008289-71; Broj deviznog računa: 340-10004947-90; ERSTE BANKA Novi Sad

LISTA SKRAĆENICA

BAT (eng. best available technique) – najbolje dostupne tehnike
BPK (eng. biochemical oxygen demand) – biohemijska potrošnja kiseonika
CEMS – kontinualni emisioni monitoring sistem
CP (eng. cleaner production) – čistija proizvodnja
EEA (European Environment Agency) - Evropska agencija za životnu sredinu
EFR (eng. emission factor rating code) - pridruženi kod za ocenu faktora emisije
GVE – granične vrednosti emisije
HPK (eng. chemical oxygen demand) – hemijska potrošnja kiseonika
LR – stopa curenja
LVOC (eng. large volume organic chemicals) - organske hemikalije proizvedene u velikim količinama
PM (eng. particulate matter) - čestične materije
PM₁₀ – čestične materije dijametra manjeg od 10 µm
PM_{2.5} – čestične materije dijametra manjeg od 2,5 µm
SV (eng. screening value) – skrining vrednost
USEPA (United States Environmental Protection Agency) - Američka agencija za zaštitu životne sredine
VOC (eng. volatile organic compounds) – volatilna organska jedinjenja

Sadržaj

1. Zagađivanje životne sredine i izračunavanje ukupne emisije	1
1.1. Izvori zagađivanja životne sredine	2
1.2. Izračunavanje ukupne emisije	3
1.2.1. Direktna merenja	4
1.2.2. Maseni bilans	7
1.2.3. Energetski bilans	9
1.2.4. Emisioni faktori	11
1.2.5. Inženjerski proračuni	13
1.3. Zakonska regulativa i njen značaj u zaštiti životne sredine	15
2. Osnovni principi kontrole zagađivanja životne sredine	23
2.1. Sistem upravljanja životnom sredinom i dobro održavanje	26
3. Emisioni faktori iz postrojenja za proizvodnju energije	36
3.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata	37
3.1.2. Primena kontinualnih merenja za procenu emisije polutanata	39
3.2. Primena masenog bilansa za izračunavanje emisija	41
3.3. Primena emisionih faktora za izračunavanje emisija	43
3.4. Primena inženjerskih proračuna	45
4. Emisioni faktori iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemijskih proizvoda	52
4.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata	54
4.2. Primena masenog bilansa za izračunavanje emisija	59
4.3. Primena emisionih faktora za izračunavanje emisija	61
4.4. Primena inženjerskog proračuna za izračunavanje emisija	63
5. Emisioni faktori iz postrojenja za proizvodnju organskih hemijskih proizvoda	79
5.1. Primena direktnih merenja i kontinualnog monitoringa za procenu emisije polutanata	79
5.2. Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata	81
5.3. Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata	84
5.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata	85

6. Emisioni faktori iz sektora industrije minerala i metala	92
6.1. <i>Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata</i>	94
6.2. <i>Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata</i>	95
6.3. <i>Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata</i>	97
6.4. <i>Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata</i>	98
7. Emisioni faktori iz industrije nemetala	102
7.1. <i>Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata</i>	105
7.1.1. <i>Kontinuirani emisioni monitoring sistem (CEMS)</i>	108
7.2. <i>Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata</i>	111
7.3. <i>Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata</i>	112
7.4. <i>Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata</i>	113
8. Emisioni faktori iz industrije celuloze i papira	120
8.1. <i>Primena direktnog merenja za procenu emisije polutanata</i>	123
8.1.1. <i>Kontinuirani emisioni monitoring sistem (CEMS)</i>	124
8.2. <i>Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata</i>	127
8.3. <i>Primena inženjerskog proračuna za procenu emisije polutanata</i>	128
9. Emisioni faktori iz industrije tekstila	133
9.1. <i>Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata</i>	134
9.2. <i>Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata</i>	136
9.3. <i>Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata</i>	136
9.4. <i>Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata</i>	137
10. Emisioni faktori iz pogona za šavljenje i preradu kože	142
10.1. <i>Primena direktnog merenja za procenu emisije polutanata</i>	143
10.1.1. <i>Kontinuirani sistem praćenja emisija (CEMS)</i>	144
10.2. <i>Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata</i>	144
10.3. <i>Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata</i>	145
10.4. <i>Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata</i>	145
11. Emisioni faktori iz poljoprivredno-prehrambenog sektora	149
11.1. <i>Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata</i>	152
11.1.1. <i>Kontinuirani emisioni monitoring sistem (CEMS)</i>	155
11.2. <i>Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata</i>	158

<i>11.3. Primena emisijih faktora za procenu emisije polutanata</i>	<i>160</i>
<i>11.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata</i>	<i>161</i>
12. Literatura	164
13. Prilog	167

1. DEO

ZAGAĐIVANJE ŽIVOTNE SREDINE I IZRAČUNAVANJE UKUPNE EMISIJE

Zagađivanje životne sredine je unošenje zagađujućih materija u životnu sredinu, izazvano ljudskom delatnošću ili prirodnim procesima, koje ima ili može imati štetne posledice po životnu sredinu i zdravlje ljudi. Aktivnosti kao što su transport, proizvodnja, netretirani ili neadekvatno tretirani otpadni tokovi direktno ili indirektno uzrokuju zagađenje vazduha, vode i zemljišta. Generalno, zagađivanje životne sredine može biti podeljeno prema:

- *Vrsti izvora zagađivanja:* prirodni izvori i antropogeni izvori zagađivanja;
- *Fizičkom stanju zagađujućih materija:* čvrste, tečne i gasovite;
- *Hemijskoj prirodi zagađujućih materija:* neorganske i organske;
- *Efektima zagađujućih materija:* direktni efekti i indirektni efekti;
- *Ugroženim medijumima životne sredine:* voda, vazduh, zemljište i pored toga termalno zagađenje, buka, radijacija;
- *Prostornom rasporedu izvora zagađivanja:* pojedinačni ili tačkasti, difuzni-netačkasti, linijski i koncentrisani;
- *Dejstvu zagađujućih materija na ljudsko zdravlje:* toksične, mutagene, kancerogene, alergene i druge zagađujuće materije.

1.1. Izvori zagađivanja životne sredine

Izvori zagađivanja vazduha. Zagađenje vazduha se definiše kao prisustvo čvrstih, tečnih ili gasovitih supstanci u atmosferi u koncentraciji koja na direktan ili indirektan način može negativno uticati na ljude ili ostale žive organizme, biljke, imovinu ili normale procese u životnoj sredini. Neželjene zagađujuće supstance mogu biti emitovane u atmosferu iz prirodnih izvora (sa površine zemlje; iz okeana; iz geotermalnih aktivnih oblasti, iz jezera) ili iz antropogenih izvora: (a) koncentrisanih izvora - razni objekti u kojima se obavlja neka delatnost i ljudska naselja (urbana naselja, industrijski objekti, energetske objekti, poljoprivredni objekti za tovarne stoke i uređene deponije; i (b) rasutih (difuznih) izvora (hemizacija zemljišta pesticidima i mineralnim đubrivima, smetlišta, atmosferske padavine i saobraćaj). Zagađivači vazduha se mogu podeliti na primarne zagađivače i sekundarne zagađivače.

Izvori zagađivanja voda. Pristup čistoj vodi je preduslov za ljudsko zdravlje. Nezagađena voda je, takođe, od suštinskog značaja za ekosisteme, biljke i životinje u jezerima, rekama i morima koji reaguju na promene u hemijskom kvalitetu vode i fizičkom poremećaju njihovog staništa. Zagađenje vode može imati različite oblike i različite efekte. Priroda i koncentracija hemijskih elemenata i jedinjenja u vodama posledica su različitih vrsta prirodnih procesa - fizičkih, hemijskih, hidroloških i bioloških prouzrokovanih klimatskim, geografskim i geološkim uslovima. Najvažniji prirodni faktori koji utiču na kvalitet voda su: udaljenost od okeana, klima i vegetacija, sastav stena i sedimenta, karakteristike kopnene vegetacije i akvatične vegetacije. Skoro sve ljudske aktivnosti (uključujući i poljoprivredne aktivnosti, ispuštanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda, itd) imaju negativan uticaj na kvalitet vode.

Izvori zagađivanja zemljišta. Zemljište je kao deo prirodne sredine izloženo dejstvu različitih prirodnih faktora i procesa (padavine, erozija, biološki procesi, itd.) kao i dejstvu antropogenih faktora (poljoprivreda, industrijsko zagađenje, primena pesticida, mineralnih đubriva, itd.). Svi ovi uticaji, mogu da dovedu do manjih ili većih promena fizičkih, hemijskih, mineraloloških i bioloških faktora. Vrsta i stepen promene zavisiće od niza faktora: tipa i karakteristika zemljišta, lokalnih uslova, vrste i intenziteta procesa. Najvažniji izvori degradacije i zagađenja zemljišta su nalazišta ruda i druge specifične tvorevine i stene specifičnog sastava, kao i vulkani, zemljotresi, klizišta, šumski požari, oluje i peščane oluje. Antropogena dejstva dovode do degradacije zemljišta, menjajući u manjoj ili većoj meri

njegove fizičke, biološke ili hemijske osobine. Pored direktnih uticaja na životnu sredinu, mogu se javiti i brojni indirektni uticaji. Prema tipičnoj klasifikaciji rasporeda izvora zagađivanja zemljišta, postoje koncentrisani i rasuti izvori. Koncentrisani izvori su naselja, industrijski objekti, rudnici, farme, energetske objekti, uređene deponije; a u rasute izvore ubrajaju se atmosferske padavine, primena hemijskih sredstava u poljoprivredi, saobraćaj, neuređene deponije i slično.

1.2. Izračunavanje ukupne emisije

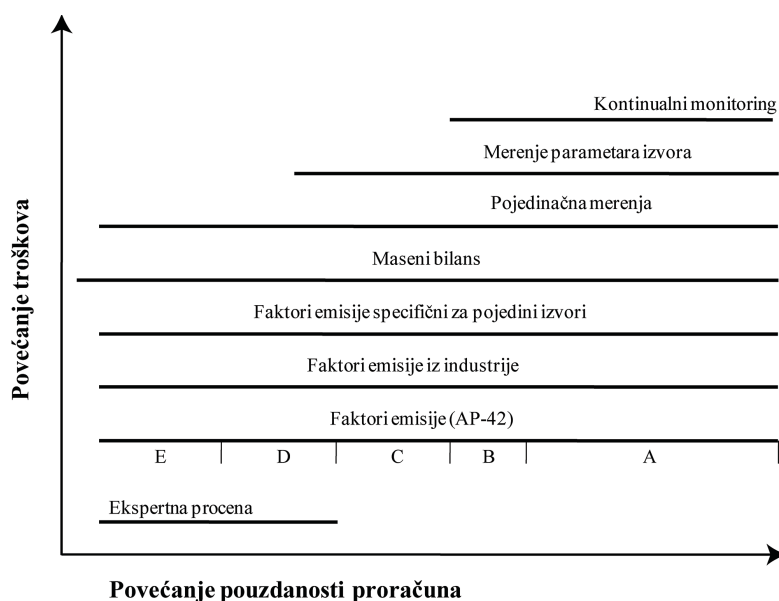
Procena ukupne emisije industrijskih postrojenja u životnu sredinu uključuje emisiju na izlaznoj cevi, dimnjaku ili bilo kojem kanalisanom otvoru, difuzne, trenutne i vanredne emisije. *Kanalisana emisija (emisija iz tačkastih izvora)* predstavlja emisiju zagađujućih materija u životnu sredinu kroz bilo kakvu vrstu cevi, bez obzira na oblik njenog preseka. *Trenutna emisija* predstavlja emisiju u životnu sredinu usled postepenog smanjenja performansi opreme projektovane da zadrži zatvorene fluide (gasove ili tečnosti), što obično može biti izazvano razlikom pritisaka koja rezultuje curenjem. *Difuzne emisije* predstavljaju emisije koje proizilaze iz direktnog kontakta isparljivih ili lakih praškastih supstanci sa okolinom pod normalnim radnim uslovima i mogu biti tačkasti, linearni, površinski ili zapreminski izvori. *Vanredna emisija* se može definisati kao emisija nastala kada postoji događaj koji odstupa od redovnih operacija.

Za svrhu izračunavanja ukupne emisije koristi se nekoliko pristupa:

1. Primena podataka dobijenih direktna merenjima – kontinualnim ili diskontinualnim monitoringom,
2. Primena masenog bilansa
3. Primena emisionih faktora i
4. Primenom inženjerskih preračunavanja.

U principu mnogo je direktnije, ali ne i uvek tačnije, kada se koriste metode koje podrazumevaju direktna merenja (kvantitativno određivanje polutanta na određenom izvoru). Kada su postupci vrlo kompoleksni, skupi ili nepraktični, druge metode se preporučuju. Kako druge metode predstavljaju posredni način dobijanja neophodnih parametara tada je prvo potrebno dokazati da je odabrana metoda za posredno dobijanje podataka ispravna i dovoljno precizna. Kod odlučivanja koja će se metoda koristiti obično glavnu reč imaju ovlašćena tela ili organi koji donose konačnu odluku da li određena metoda zadovoljava potrebe, ciljeve, zakonske obaveze, ali se u obzir uvek uzima i cena. Povećanje pouzdanosti proračuna emisije u

zavisnosti od povećanja troškova prikazano je na slici 1.1. Faktori emisije označeni slovima A-E pridruženi kod za ocenu faktora emisije o čemu će biti reči u nastavku teksta.



Slika 1.1. Prikaz pouzdanosti metoda koje se koriste za monitoring

1.2.1. Direktna merenja

Monitoring sa direktnim merenjem koristi kontinualne i diskontinualne tehnike. Prednost kontinualnog monitoringa jeste dobijanje značajnog broja podataka i stalno praćenje proizvodnih procesa. Nedostatak ove vrste monitoringa je visoka cena, ali i smanjena osetljivost jer koriste specifične uređaje i slično. Kod kontinualnog monitoringa treba voditi računa da li se radi sa uređajima koji direktno mere (*in situ*) u kanalu, u cevi ili u matici, ili se radi sa uređajima koji kontinualno rade (*online*), odnosno uzimaju male frakcije nekog supstrata i potom ga mere. Primeri za direktna merenja su, na primer: određivanje sadržaja teških metala u otpadnim vodama, merenja sadržaja teških metala u zemljištu, merenje sadržaja sumpor(IV)-oksida (SO_2) u dimnim gasovima, merenje sadržaja suspendovanih čestica (npr. direktna merenja u otpadnim gasovima daju koncentraciju zagađujućih supstanci g/m^3). Godišnja emisija zagađujućih supstanci može biti izračunata iz ovih podataka.

U nastavku teksta je dat primer izračunavanja emisije u kg/h na osnovu podataka dobijenih uzorkovanjem otpadnih gasova dimnjaku, kao i kako se ove vrednosti konvertuju u godišnje emisione vrednosti.

Koncentracija polutanta se može izračunati na osnovu izraza 1.1:

$$C_i = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (1.1)$$

gde je:

C_i – koncentracija polutanta i , ili opterećenje u gramima (g/m^3)

C_f – koncentracija koja je zadržana na filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka na standardnom pritisku i temperaturi (m^3)

STP – standardna temperatura i pritisak 101325 Pa i 273 K.

Emisija se dalje računa na osnovu datog izraza 1.2:

$$E_i = C_i \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} \quad (1.2)$$

gde je:

E_i – časovna emisija polutanta i (kg/h)

Q_d – zapreminski protok gasa na dimnjaku (m^3/s)

T – temperatura otpadnog gasa u dimnjaku ($^{\circ}\text{C}$)

3,6 – 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kilograma po gramu

Ukoliko su podaci za emisiju zagađujućih supstanci iz dimnjaka dati u kg/m^3 vlažnog vazduha potrebno je izvršiti preračunavanje gde se u obzir uzima i sadržaj vlage i to prema jednačini 1.3:

$$E_i = C_i \times Q_a \times 3,6 \times \left(1 - \frac{vlaga_R}{100}\right) \times \frac{273}{273 + T} \quad (1.3)$$

gde je:

$vlaga_R$ - % vlage u gasu

Procenat vlage se računa prema jednačini 1.4:

$$vlaga_R = \frac{100\% \times \frac{g_{vlaga}}{1000 \times V_{STP}}}{\frac{g_{vlaga}}{1000 \times V_{STP}} + \rho_{STP}} \quad (1.4)$$

gde je:

$vlaga_R$ - % vlage u gasu

g_{vlaga} – sakupljena vlaga (g)

$V_{m,STP}$ - zapremina uzorka na standardnom pritisku i temperaturi (m^3)

ρ_{STP} – gustina suvog uzorka gasa sa dimnjaka kg/m^3 na STP (ako gustina nije poznata koristi se vrednost $1,62 \text{ kg/m}^3$. Ovde je pretpostavljeno da se suv gas sastoji od 50% vazduha, 50% ugljenik(IV)-oksida (CO_2)).

Primer 1.1. Izračunati sadržaj vlage u $1,2\text{m}^3$ uzorka (na STP) gasa koji sadrži 410 g vode. Na osnovu jednačine 1.4 sledi da je:

$$\frac{g_{vlaga}}{1000 \times V_{m,STP}} = \frac{410}{1000 \times 1,2} = 0,342$$

$$vlaga_R = 100\% \times \frac{0,342}{0,342 + 1,62} = 17,4$$

Drugi primer koji će ovde biti razmotren je izračunavanje emisije zagađujućih supstanci iz ispuštenih otpadnih voda. Direktna merenja se vrše na ispustu otpadne vode u recipijent. Ukupna koncentracija zagađujućih supstanci može biti procenjena na osnovu protoka otpadne vode i reprezentativne koncentracije zagađujuće supstance od interesa.

Primer 1.2. U otpadnoj vodi čiji je protok 200 l po osobi po danu, sadržaj azota se kreće od $40\text{-}70 \text{ mg/l}$, a sadržaj fosfora od $10\text{-}15 \text{ mg/l}$. Izračunati emisiju azota i fosfora iz otpadnih voda.

$$\bar{c}_{azot} = 55 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\bar{c}_{fosfor} = 12,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

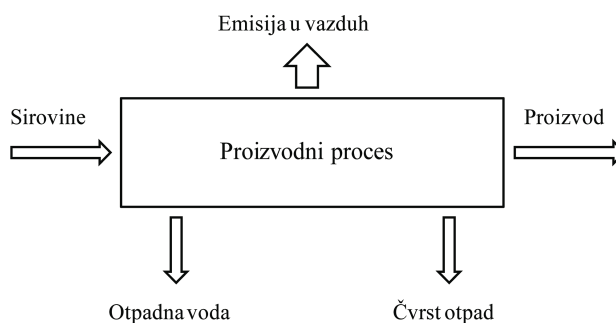
$$\begin{aligned} E_{azot} &= Q \times \bar{c}_{azot} = 200 \text{ l/osoba/dan} \times 55 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \\ &= 11000 \text{ mg/osoba/dan} = 0,011 \text{ kg/osoba/dan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{fosfor} &= Q \times \bar{c}_{fosfor} = 200 \text{ l/osoba/dan} \times 12,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \\ &= 2500 \text{ mg/osoba/dan} = 0,0025 \text{ kg/osoba/dan} \end{aligned}$$

1.2.2. Maseni bilans

Maseni bilans obuhvata bilansiranje reaktanata i produkata, uz praćenje stvaranja, akumulacije ili dekompozicije supstanci od interesa. Razlike na ulazu i izlazu iz nekog procesa obično su posledica oslobađanja pojedinih supstanci u životnu sredinu. Rezultati masenog bilansa su, dakle, male razlike između velikih količina reaktanata (*eng. input*) i velikih količina produkata (*eng. output*), s tim što uvek treba imati u vidu i netačnosti pri određivanju masa (količina) reaktanata i produkata. To znači da se maseni bilans može koristiti samo ako je moguće precizno odrediti sve mase (količine) svih supstanci koje učestvuju u procesu (reakciji) i kada se može odrediti veličina greške koja se pri tom pravi. Kao primer može da posluži izračunavanje količine emitovanog SO₂ na bazi podataka o sadržaju sumpora u tečnom gorivu. Tokom sagorevanja sav sumpor se prevodi u SO₂ tako da se na bazi bilansa masa može lako i ustanoviti veličina emisije.

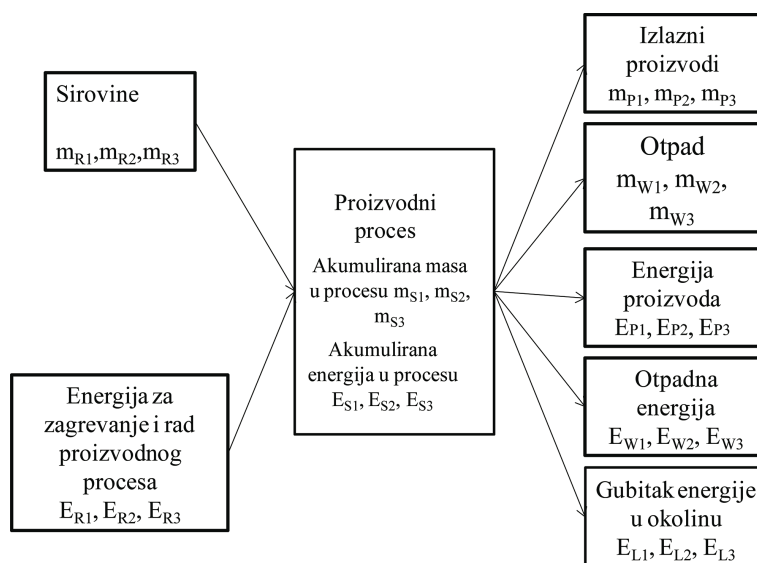
Maseni bilans predstavlja osnov pri projektovanju uređaja i tehnoloških procesa, a kod postojećih služe za procenu njihovih performansi. Koncept masenog bilansa je baziran na fundamentalnom principu da se masa (materija) ne može ni proizvesti ni uništiti i svaka promena u procesu se reflektuje na promenu masenog bilansa. U datom vremenskom intervalu, masa koja ulazi u sistem jednaka je masi koja izlazi iz sistema plus akumulisana masa u sistemu (slika 1.2).



Slika 1.2. Maseni bilans

Jednačina 1.5. ima opšte važenje i odnosi se na sve procese, kako na fizičke tako i na hemijske. Izraz se takođe odnosi kako na totalni tako i na komponentni materijalni bilans. Ono što je bitno napomenuti jeste da se masa generalno, ne može zameniti sa vrednošću protoka. Protok se, naime, može menjati u posmatranom vremenskom intervalu. Izuzetak su stacionarni procesi, gde su protoci konstantni, odnosno nema promene

protoka sa vremenom. Bilans se, takođe ne odnosi na zapreminu niti na molove. To znači da se masa ne može zameniti niti sa zapreminom niti sa brojem molova. Generalna zajednička šema koja prikazuje maseni i energetski bilans data je na slici 1.3. i prikazana jednačinom 1.5. Primer izračunavanja masenog bilansa prikazan je kao primer 1.3.



Slika 1.3. Maseni i energetski bilans

$$\text{Sirovi materijal} = \text{Proizvod} + \text{Otpad} + \text{Masa akumulirana u procesu}$$

$$\sum m_{sm} = \sum m_p + \sum m_o + \sum m_a \quad (1.5)$$

gde sigma predstavlja sumu svih proizvoda (p), otpada (o) i akumuliranih masa (a) u procesu

$$\sum m_{sm} = \sum m_{sm1} + \sum m_{sm2} + \sum m_{sm3} + \dots - \text{Ukupni sirovi materijal}$$

$$\sum m_p = \sum m_{p1} + \sum m_{p2} + \sum m_{p3} + \dots - \text{Ukupni proizvod}$$

$$\sum m_o = \sum m_{o1} + \sum m_{o2} + \sum m_{o3} + \dots - \text{Ukupni otpad}$$

$$\sum m_a = \sum m_{a1} + \sum m_{a2} + \sum m_{a3} + \dots - \text{Ukupna akumulirana masa}$$

Ukoliko nema promena u sadržaju hemikalija, prema zakonu o održanju mase, za neku komponentu A važiće izraz:

$$m_A (\text{ulazne komponente}) = m_A (\text{masa u izlaznom materijalu}) + m_A (\text{akumulirana u procesu})$$

Na primer, u postrojenju za proizvodnju šećera, ukoliko ukupna količina ulaznih komponenti za proizvodnju šećera, nije jednaka zbiru količine šećera koja je prečišćena i otpadnoj količini, tada u procesu dolazi do gubitka komponenti, pa maseni bilans izgleda ovako:

$$\text{Sirovi materijal} = \text{Proizvod} + \text{Otpad} + \text{Masa akumulirana u procesu} + \text{Gubitak}$$

1.2.3. Energetski bilans

Povećanje cene energenata nameće industrijama potrebu da pronađu načine i ispitaju mogućnosti za smanjivanjem potrošnje energije. Energetski bilans se može primeniti na razne stadijume procesa kao i za ceo proces, pa i šire. Kao i masa, i energija bi trebala da bude u toku tehnološkog procesa očuvana.

Energija koja ulazi u proces bi trebala da bude jednaka zbiru izlazne i energije akumulirane u procesu (jednačina 1.6). Energetski bilans je često komplikovan za praćenje iz razloga što energija može da menja oblik (npr. iz mehaničke u toplotnu energiju), ali ukupna količina energije mora biti jednaka ulaznoj.

$$\sum E_u = \sum E_p + \sum E_o + \sum E_g + \sum E_a \quad (1.6)$$

gde je

$$\sum E_u = \sum E_{u1} + \sum E_{u2} + \sum E_{u3} + \dots - \text{Ukupna ulazna energija (u)}$$

$$\sum E_p = \sum E_{p1} + \sum E_{p2} + \sum E_{p3} + \dots - \text{Ukupna energija koja napušta proces zajedno sa proizvodom (p)}$$

$$\sum E_o = \sum E_{o1} + \sum E_{o2} + \sum E_{o3} + \dots - \text{Ukupna energija koja napušta proces zajedno sa otpadom (o)}$$

$$\sum E_g = \sum E_{g1} + \sum E_{g2} + \sum E_{g3} + \dots - \text{Ukupna energija koja se gubi u okolinu (g)}$$

$$\sum E_a = \sum E_{a1} + \sum E_{a2} + \sum E_{a3} + \dots - \text{Ukupna akumulirana energija (a)}$$

Primer 1.3. U jednom procesu se proizvede 100 kg posnog mleka sa 0,1% zaostale masti (ostalo čini 90,5% vode, 3,5% proteina, 5,1% ugljenih hidrata, 0,8% pepela) na bazi sirovog mleka sa 4,5% masti. Koliko se masti izvodi iz procesa?

$$\text{Količina masti}_{ulaz} = m_u \times 0,045$$

$$\text{Količina masti}_{izlaz} = m_i \times 0,001$$

$$m_u \times 0,045 = m_i \times 0,001 + X$$

$$(100 \text{ kg} + X) \times 0,045 = 100 \text{ kg} \times 0,001 + X$$

$$4,5 \text{ kg} + 0,045 \times X = 0,1 \text{ kg} + X$$

$$4,4 \text{ kg} = (1 - 0,045) \times X = 0,995 \times X$$

$$X = 4,61 \text{ kg masti}$$

$$m_u = 100 \text{ kg} + 4,61 \text{ kg} = 104,61 \text{ kg masti na ulazu}$$

$$104,61 \text{ kg} \times 0,045 = 4,71 \text{ kg masti na izlazu}$$

U separaciju ulazi 104,61 kg mleka i kroz posno mleko se odvaja 0,1 kg masti a kroz masnu fazu 4,61 kg masti – sve zajedno 4,71 kg masti.

1.2.4. Emisioni faktori

Emisioni faktori su preračunavanja koja se baziraju na bazi iskustvenih podataka, usrednjenih vrednosti i dobrog poznavanja određenog procesa. Primeri emisionih faktora dostupnih u literaturi dati su u Prilogu 13. Emisioni faktori (jednačina 1.7) se obično izražavaju kao masa supstance koja se emituje podeljena sa jedinicom mase, zapremine, udaljenosti ili trajanjem aktivnosti emitovanja supstance. Primenuju se pod pretpostavkom da sve industrijske jedinice na istoj proizvodnoj liniji imaju slične emisione faktore. Ovi faktori se široko koriste za određivanje naknada na malim instalacijama. Poznavanje emisionih faktora omogućava da se na brz način i uz zadovoljavajuću tačnost izračuna moguće opterećenje životne sredine emisijom nekog polutanta, sa ciljem da se unapred procene eventualne negativne posledice po životnu sredinu i zdravlje ljudi. Opšta formula za izračunavanje emisije, a time i opterećenja životne sredine na osnovu emisionog faktora je:

$$E_m = AR \times E_F \times \left(1 - \frac{CE}{100}\right) \quad (1.7)$$

gde je:

E_m – emisija polutanta (kg/god)

AR – brzina (intenzitet) aktivnosti, tj. kapacitet sa kojim postrojenje (izvor) radi, t/god (izračunava se kao proizvod kapaciteta proizvodnje nekog proizvoda u t/h i broja radnih sati postrojenja h/god)

E_F – emisioni faktor (kg/t)

CE – ukupna efikasnost smanjenja emisije (%)

Ukoliko postoje podaci vezani i za maseni protok goriva u postrojenju, formula za izračunavanje emisije će biti sledeća:

$$E = Q \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (1.8)$$

gde je:

E – godišnja emisija polutanta (kg/god)

Q – maseni protok goriva (kg/h)

C – koncentracija polutanta u gorivu (%)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – molarna masa elementa polutanta u gorivu (g/mol)

$OpHrs$ – broj radnih sati postrojenja u godini (h/god)

Podaci monitoring sistema su poželjni za procenu emisije jer na najbolji način kvantifikuju emisiju testiranog izvora. Međutim, podaci za individualne izvore često nisu dostupni, a i kada jesu, ne znači nužno da na najbolji mogući način oslikavaju varijacije emisije u toku nekog vremenskog perioda. S toga, nekada je najbolje rešenje primena emisionih faktora, uprkos njihovim ograničenjima.

Prosečna emisija se značajno razlikuje od izvora do izvora, te stoga i emisioni faktori često ne mogu dati adekvatnu vrednost prosečne emisije za ispitivani izvor. Velike razlike emisije između različitih, čak i sličnih izvora, posledica su primenjenog procesa, kontrolnog sistema i posmatranog polutanta. I ako su razlozi ovih variranja razmatrani u proceni emisionih faktora, ovakvi podaci se često ne nalaze u izveštajima koji se kasnije koriste za razvoj emisionih faktora. Kao rezultat, neki emisioni faktori koji su izvedeni iz različitih testova mogu varirati od reda veličine ili više. Uređaji za kontrolu emisije polutanata u vazduh takođe mogu emitovati različite koncentracije polutanata. Pre primene emisionih faktora za proveru emisije iz novog ili do tada neispitivanog izvora, korisnik bi trebao da pregleda dostupnu literaturu i nove tehnologije, kako bi bio svestan okolnosti koje bi mogle da dovedu do razlike u nivou emisije u odnosu na emisione faktore sa kojima ih poredi. Posebno treba voditi računa o tome da dizajn i tip postrojenja, kontrola, kao i sirovine ulaze u proračun za željeni emisioni faktor. Ove činjenice treba razmotriti, zajedno sa najnovijim tehnologijama i informacijama. Primer izračunavanja emisionih faktora dat je u primeru 1.4.

Primer 1.4. Izračunati kolika je dnevna emisija CO na postrojenju bez redukcije emisije ($CE = 0$) ukoliko je poznata vrednost emisionog faktora, dostupna u literaturi, $0,006 \text{ kg CO/dm}^3$, a količina lož ulja koja se koristi iznosi 10 m^3 na dan.

$$E = AR \times E_F \times \left(1 - \frac{CE}{100}\right)$$

$$E = 10 \times 10^3 \frac{\text{dm}^3}{\text{dan}} \times 0,006 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times \left(1 - \frac{0}{100}\right)$$

$$E = 60 \frac{\text{kg}}{\text{dan}}$$

Svaki faktor emisije ima pridruženi kod za ocenu faktora emisije (EFR) (eng. *Emission Factor Rating code*). Ovaj sistem ocenjivanja zajednički je za sve industrije i sektore i nalazi se u svim priručnicima za industriju. Pridruženi kodovi za ocenu faktora emisije zasnivaju se na sistemima ocenjivanja koje su razvile Američka agencija za zaštitu životne sredine (*United States Environmental Protection Agency* - USEPA) i Evropska agencija za životnu sredinu (*European Environment Agency* - EEA). Prilikom upotrebe emisionih faktora potrebno je obratiti pažnju na EFR kod i šta ta ocena podrazumeva. Ocena A ili B ukazuje na veći stepen sigurnosti od ocene D ili E. Što je manje sigurnosti, to je verovatnije da dati faktor emisije za određeni izvor ili kategoriju nije predstavnik izvornog tipa. Bez obzira na ove ocene, glavni kriterijum koji utiče na nesigurnost faktora emisije ostaje stepen sličnosti između opreme/procesa odabranog za primenu faktor, i ciljna oprema/proces iz kojeg je faktor bio izveden.

EFR sistem je sledeći:

- A - Odlično
- B - Iznad proseka
- C - Prosek
- D - Ispod proseka
- E - Slabo
- U - Neocenjeno

1.2.5. Inženjerski proračuni

Prilikom korišćenja preračunavanja radi ustanovljavanja emisije potrebno je raspolagati sa nizom podataka koji obuhvataju delom podatke merenja, bilansiranja masa ili uz pomoć kojih se može izračunati emisija. Ovaj postupak je znatno komplikovaniji od postupka sa emisionim faktorima. Inženjerski proračuni mogu se koristiti za procenu emisija iz procesa koji podležu strogoj kontroli, npr. kada supstanca nastaje slučajno, kao što je ugljenik-disulfid, i vrlo brzo se raspada u atmosferi, ili gde je njena sudbina dobro poznata iz procesne hemije i operativnih procesa. Ovi procesi mogu biti dizajnirani tako da funkcionišu sa datom efikasnošću koja se ostvaruje u uslovima normalnog rada. Za inženjerske proračune se mogu koristiti standardni fizički i hemijski zakoni i konstante za procenu određenih emisija. To mogu biti konstante ravnoteže, termodinamičke osobine procesa, hemijske reakcije, konstante pritiska i fizički zakoni kao što je Bojlov zakon, itd. Inženjerski proračuni se zasnivaju na određenim poznatim performansama standardnih procesa i opreme, fizičko-hemijskim

svojstvima (kao što je pritisak pare) supstanci i matematičkim zavisnostima (kao što je zakon o idealnom gasu) (primer 1.5).

Primer analiza potrošnje goriva. Inženjerski proračuni mogu biti korišćeni za predviđanje emisije SO₂ i metala na osnovu konzervativnih zakona, ukoliko se meri potrošnja goriva. Prisustvo pojedinih elemenata u gorivu se može koristiti za predviđanje njihove emisije. To uključuje elemente kao što je sumpor koji se tokom sagorevanja može konvertovati u druga jedinjenja. Osnovna jednačina za analizu potrošnje goriva je:

$$E_{kpy,i} = Q \times C \times \frac{MW}{EW} \times 10^{-6} \times OpHrs \quad (1.9)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta (kg/god)

Q – potrošnja goriva, maseni protok goriva (kg/h)

C – koncentracija polutanta u gorivu (ppm ili mg/kg)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – molarna masa elementa polutanta u gorivu (g/mol)

$OpHrs$ – broj radnih sati postrojenja u godini (h/god)

10^{-6} – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Npr., emisija SO₂ iz goriva tokom sagorevanja može biti izračunata na osnovu koncentracije sumpora u gorivu. Ovaj pristup podrazumeva da se kompletan sumpor iz goriva prevodi u SO₂, tako da svaki kilogram spaljenog sumpora ($EW=32$ g/mol) emituje 2 kg SO₂ ($MW=64$ g/mol).

Primer 1.5. Proceniti emisiju sumpor dioksida upotrebom podataka o količini upotrebljenog goriva, ukoliko se pretpostavi da postrojenje za proizvodnju električne energije radi 150 sati godišnje, da je maseni udeo sumpora u gorivu 1,17% (11700 mg/kg), a da je potrošnja goriva 2000 kg/h.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= Q \times C \times \frac{MW}{EW} \times 10^{-6} \times OpHrs \\ &= 2000 \frac{kg}{h} \times 11700 \frac{mg}{kg} \times \frac{64 g/mol}{32 g/mol} \times 10^{-6} \times 150 \frac{h}{god} \\ &= 46,8 \frac{kg}{h} \times 150 \frac{h}{god} = 7020 kg/god \end{aligned}$$

1.3. Zakonska regulativa i njen značaj u zaštiti životne sredine

Zagađivanje životne sredine, degradiranje njenih medijuma, klimatske promene, kao i promene u biodiverzitetu nametnuli su potrebu regulisanja odnosa država prema životnoj sredini. Politika Evropske unije (EU), u oblasti zaštite životne sredine, predstavlja jednu od najiscrpnije kreiranih i primenjivanih politika kako na nivou EU tako i na nivou država članica. Kako se posledice zagađenja često osećaju van granica države u kojoj su nastale (ugrožavaju susedne države i regione), pitanje zaštite životne sredine ne može se rešiti pojedinačno, unutar jedne države, nego je neophodan ozbiljan međunarodni napor svih subjekata, i državnog i privatnog sektora, kako bi se uspostavio i održavao sistem stvarne zaštite životne sredine.

Republika Srbija, kao zemlja kandidat za članstvo u EU, nalazi se u procesu implementacije zakona i pravilnika Unije u sopstvene nacionalne propise. U trenutku pisanja ove zbirke zadataka na nacionalnom nivou se u oblasti zaštite životne sredine primenjuje preko 15 različitih strategija uz više od 50 različitih zakona i preko 100 pravilnika koji proističu iz tih zakona. Kako je tema predmeta Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine vezana uglavnom za industrijska postrojenja i njihovu emisiju u životnu sredinu, u ovom delu teksta daće se kratak osvrt na granične vrednosti emisije (GVE) koje su propisane važećim pravilnicima: Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 67/2011, 48/2012 i 1/2016) i Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja, osim postrojenja za sagorevanje ("Sl. glasnik RS", br. 111/2015).

Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje utvrđuju granične vrednosti emisije za zagađujuće materije za: tehnološke otpadne vode pre njihovog ispuštanja u javnu kanalizaciju; tehnološke i druge otpadne vode koje se neposredno ispuštaju u recipijent; vode koje se posle prečišćavanja ispuštaju iz sistema javne kanalizacije u recipijent i otpadne vode koje se iz septičke i sabirne jame ispuštaju u recipijent, kao i rokovi za njihovo dostizanje. Primeri granične vrednosti emisije za otpadne vode iz termoenergetskih postrojenja date su u tabeli 1.1.

Predmet uređivanja Uredbe o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja, osim postrojenja za sagorevanje su:

- (i) granične vrednosti emisije zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja, osim postrojenja za sagorevanje;
- (ii) sadržaj izveštaja o bilansu emisije;
- (iii) način dostavljanja podataka o emisijama za potrebe informacionog sistema i rokovi dostavljanja podataka.

Odredbe ove uredbe ne primenjuju se na procese termičkog tretmana otpada, kao ni na aktivnosti i instalacije koje koriste isparljiva organska jedinjenja. Primeri granične vrednosti emisije za nova i postojeća postrojenja za topljenje aluminijuma date su u tabeli 1.2.

Tabela 1.1. Granične vrednosti emisije odabranih parametara na mestu ispuštanja u površinske vode

Parametar	Jedinica mere	GVE
pH		6-9
Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK ₅)	mgO ₂ /l	30
Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	mgO ₂ /l	120
Amonijak (kao NH ₄ -N)	mg/l	10

Tabela 1.2. Granične vrednosti emisije u vazduh za nova i postojeća postrojenja za topljenje aluminijuma

Zagađujuća materija	GVE (mg/m ³)
praškaste materije	10
oksidi azota izraženi kao NO ₂	60

Nakon izračunavanja emisije u medijume životne sredine i dobijanja vrednosti u odgovarajućim jedinicama, potrebno je dobijene rezultate emisije uporediti sa zakonskom regulativom i dati ocenu stanja ispitivanog medijuma.

ZADACI:

1. 1,5 tona tehničkog kalcijum-karbida (CaC_2) sadrži 2% nečistoća, 3% ugljenika, 15% CaO i 80% čistog CaC_2 . Odrediti potrošnju sirovina koje se koriste u proizvodnji, ako je poznato da kreč sadrži 97,0% CaO .

Izrada:

2. Izračunati maseni sastav smeše koja nastaje mešanjem 55 ml benzola gustine $0,88 \text{ g/cm}^3$ sa istom zapreminom hloroforma gustine 1490 kg/m^3 .

Izrada:

3. Sagorevanjem heptana proizvodi se CO_2 koji se može koristiti za dobijanje suvog leda. Ukoliko je poznato da se 50% od dobijenog gasovitog CO_2 koristi za proizvodnju suvog leda, odrediti potrebnu potrošnju heptana koja bi obezbedila 550 kg/h suvog leda.

Izrada:

4. U jednom procesu se proizvede 100kg posnog mleka sa 0,05% zaostale masti (ostalo 94% vode, 2,5% proteina, 3,1% ugljenih hidrata, 0,35% pepela) na bazi sirovog mleka sa 3,5% masti. Koliko se masti izvodi iz procesa?

Izrada:

5. Izračunati emisiju SO_2 iz procesa sagorevanja lož ulja, ukoliko je poznato da se celokupni sadržaj sumpora u lož ulju pri sagorevanju konvertuje u sumpor-dioksid. Maseni protok goriva je 10900 kg/h, koncentracija S u gorivu je 11700 mg/kg, a broj radnih sati postrojenja 1200 h/god.

Izrada:

6. Izračunati kolika je dnevna emisija CO na postrojenju bez redukcije emisije ($CE = 0$) ukoliko je poznata vrednost emisionog faktora, dostupna u literaturi, $0,015 \text{ kg CO/dm}^3$, a količina lož ulja koja se koristi iznosi 15 m^3 na dan.

Izrada:

7. U otpadnoj vodi čiji je protok 150 l po danu, sadržaj azota se kreće od $50\text{-}90 \text{ mg/l}$, a sadržaj fosfora od $5\text{-}15 \text{ mg/l}$. Izračunati dnevnu emisiju azota i fosfora iz otpadnih voda.

Izrada:

8. Da li otpadna voda iz termoenergetskih postrojenja sme da se ispusti u prirodni recipijent ukoliko ima sledeće karakteristike:

a) pH vrednost 6,5; BPK₅ 28 mgO₂/l i HPK 294 mgO₂/l

b) pH vrednost 6,5; BPK₅ 28 mgO₂/l i HPK 94 mgO₂/l

Izrada:

Beleške:

2. DEO

OSNOVNI PRINCIPI KONTROLE ZAGAĐIVANJA ŽIVOTNE SREDINE

Interakciji tehnološki proces-životna sredina prišlo se na nov, kritički način saglasan globalno prihvaćenom principu održivog razvoja koji podrazumeva da današnji razvoj (i eksploatacija prirodnih resursa) ne sme ugroziti razvoj i raspoloživost resursa za buduće generacije. Smanjivanje potrošnje energije, zaštita životne sredine i upravljanje otpadom postaju imperativi u svakom tehnološkom procesu. Povećanje energetske efikasnosti, pored uštede u potrošnji energije, u širem smislu uključuje i zaštitu životne sredine, kao i minimizaciju nastalog otpada. Racionalna potrošnja energije i rekuperacija ili recirkulacija otpadnih tokova iz procesa su dva najvažnija načina smanjivanja troškova, a ujedno i uticaja tehnološkog procesa na životnu sredinu.

Čistija proizvodnja (CP proizvodnja) (*eng. Cleaner Production*) je termin koji se često koristi u zaštiti životne sredine i ima veliki benefit za industriju gde se primenjuje. Najbolja implementacija čistije proizvodnje se postiže kroz:

- Dizajn proizvoda;
- Upotrebom tehnologija za proizvodnju koje daju malu količinu otpada (*eng. low waste technologies*);
- Optimizaciju postojećih tehnologija i
- Visoke standarde operativne bezbednosti.

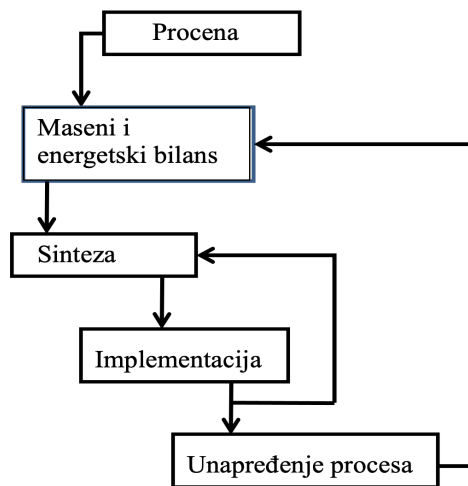
Glavni princip upotrebe čistije proizvodnje jeste antiteza tehnologiji na kraju cevi ("*end-of-pipe*"), gde se zagađenje uklanjalo nakon što je već generisano.

Najbolje dostupne tehnike (eng. *Best Available Technique-BAT*) uključuju i *end-of-pipe* pristup i pristup čistije proizvodnje. BAT predstavljaju najdelotvornije i najmodernije faze u razvoju aktivnosti i načinu njihovog obavljanja koje omogućavaju pogodniju primenu određenih tehnika za zadovoljavanje graničnih vrednosti emisija, propisanih u cilju sprečavanja ili, ako to nije izvodljivo, smanjenja emisija i uticaja na životnu sredinu kao celinu. Pojedini elementi izraza "najbolje dostupne tehnike" imaju sledeća značenja:

- 1) Najbolje (eng. *best*) - podrazumeva najefikasniji učinak u postizanju visokog opšteg nivoa zaštite životne sredine.
- 2) Dostupna (eng. *available*) - tehnika razvijena do stepena koji omogućava primenu u određenom sektoru industrije pod ekonomski i tehnički prihvatljivim uslovima, uključujući troškove i koristi, ako je pod uobičajenim uslovima dostupna operateru;
- 3) Tehnika (eng. *technique*) - način na koji je postrojenje projektovano, izgrađeno, održavano, kao i na koji način funkcioniše i stavlja se van pogona ili zatvara, uključujući i tehnologiju koja se koristi.

Pojedini kriterijumi za određivanje najboljih dostupnih tehnika upravo idu u prilog datoj konstataciji: primena tehnologije koja proizvodi minimalnu količinu otpada, sprečavanje udesa i smanjenje njihovih posledica na životnu sredinu, mogućnost ponovnog korišćenja i recikliranje materijala koji se stvaraju i koriste u procesu i u tretmanu otpada, planirana potrošnja i karakteristike svih sirovina koje se koriste u procesu, sprečavanje ili smanjenje ukupnih uticaja emisija na životnu sredinu i mogućih rizika i primena manje opasnih materija.

Prvi korak u implementaciji čistije proizvodnje jeste identifikacija mesta u proizvodnji gde dolazi do generisanja otpadnih tokova. Princip pristupa čistijoj proizvodnji dat je na slici 2.1.

*Slika 2.1. Princip čistije proizvodnje*

Preventivne mere se identifikuju u prvoj fazi revizije nastalih otpadnih tokova i predstavljaju najbitniji korak u cilju uspešnog sprovođenja njihovog smanjenja. Prvi korak ka smanjivanju potrošnje energije je energetska analiza. Iz tog razloga neophodno je dobro razumevanje materijalnih i energetskih bilansa. Nakon energetske analize, sledeći korak će biti donošenje programa uštede. Po pravilu, kreće se od ušteda koje ne zahtevaju ili zahtevaju vrlo mala materijalna sredstva. Zatim se planski i sistematski prelazi na mere ušteda koje zahtevaju veća ulaganja. Uštede se mogu postići kod svakog pojedinačnog uređaja kao i sistema u celini. Iz tog razloga, neophodno je poznavanje svakog pojedinog uređaja, izvora mogućih gubitaka kao i poznavanje odgovarajućih bilansa. Uređaji se mogu podeliti na one koji su sreću u svakom tehnološkom procesu i one koji su specifični za datu tehnologiju. Uređaji koji obezbeđuju energiju kao što su kotao i parni sistemi, sreću se takoreći u svakoj tehnologiji. Isto tako zagrevanje, hlađenje, klimatizacija, izolacija i sistemi za osvetljavanje su nezavisni od tipa industrije. Međutim, zastupljenost pojedinačnih operacija, karakteristična je za pojedine tehnologije. Konačno neophodno je znati kolike su energetske rezerve procesa, odnosno koliko se maksimalno energije može rekuperisati iz date tehnologije. Određena, minimalna znanja iz ekonomije, takođe su neophodna. Na kraju da bi sistem funkcionisao i da bi ušli u proces stalnog poboljšanja, u cilju smanjenja potrošnje energije je neophodno izgraditi sistem upravljanja energijom. Kako bi se revizija sprovela uspešno potrebno je uključiti timove vrhunskih stručnjaka, obučiti radnike, ali i pripremiti odgovarajuću dokumentaciju, pripremiti proračun za maseni bilans hemikalija, vode i energije, i tek nakon toga dati procenu

mogućih mesta nastanka otpada, kao i procenu za redukciju i preventivan gubitak materijala u procesu.

2.1. Sistem upravljanja životnom sredinom i dobro održavanje

Sistem upravljanja životnom sredinom predstavlja deo ukupnog sistema upravljanja u proizvodnoj ili uslužnoj organizaciji koji obuhvata organizacionu strukturu, odgovornost, praksu, procedure, procese, resurse za razvoj i implementaciju, preispitivanje i praćenje politike zaštite životne sredine. Njegov cilj jeste sprečavanje zagađenja i usklađivanje propisa vezanih za životnu sredinu. Najpoznatiji svetski standardizovani okvir za upravljanje životnom sredinom jeste ISO14001. Standardi kvaliteta moraju biti postavljeni na osnovu rezultata naučnih saznanja za svaku supstancu (npr. ozon) ili grupu supstanci (npr. ugljovodonici) koja je u vezi sa određenim ciljevima kvaliteta životne sredine. Primena standarda se ne odnosi na idealne uslove životne sredine, već predstavlja nivo maksimalnih tolerišućih uticaja na životnu sredinu koji pri tome ne ometaju dostizanje ciljeva njenog kvaliteta. Upravo u onim situacijama kada je prekoračen nivo zagađenja koji je određen standardima kvaliteta, definišu se i postavljaju granične vrednosti emisije (GVE). Granične vrednosti emisije su posebno važne kada je potrebno izvršiti prevenciju i kontrolu specifičnih zagađujućih materija. Sledi da se granične vrednosti emisije mogu ustanoviti na osnovu:

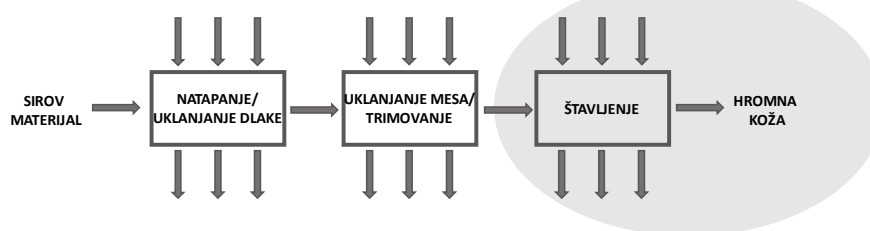
(a) korišćene tehnologije, tehničkih i ekonomskih uslova vezanih za samu operaciju i

(b) standarda kvaliteta životne sredine.

ZADACI

1. Na slici u nastavku teksta je dat primer materijalnog bilansa procesa štavljenja u tehnologiji tretmana kože. Zadatak je da se ukratko prodiskutuju ulazni i izlazni tokovi, kao i količine emitovanih zagađujućih supstanci u životnu sredinu.

Materijalni bilans procesa štavljenja u tehnologiji tretmana kože:



Ulaz u proces

Ulaz i upotreba vode:

Prerada kože	40 tona/dan
Procesna voda (štavljenje)	30 m ³ /dan
Voda od ispiranja (štavljenje)	140 m ³ /dan
Ukupna potrošnja vode na postrojenju	1800 m ³ /dan
Tanolin (16 % Cr)	2076 kg/dan
	(322 kg Cr/dan)
	(8 kg Cr/toni kože)

Ponovna upotreba otpada i reciklaža

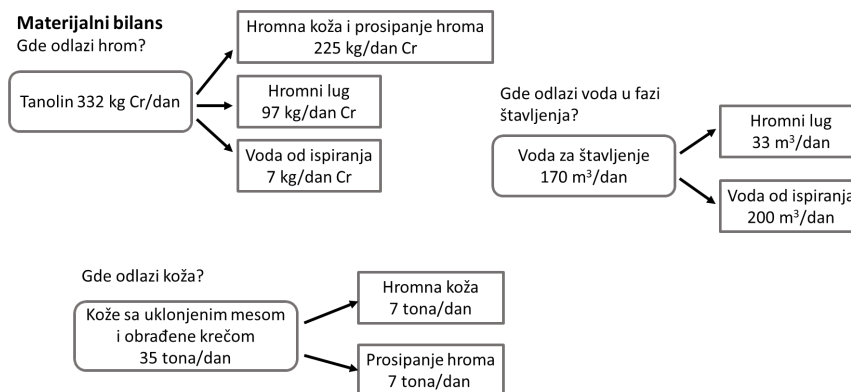
Nema reciklaže vode i čvrste materije.
Očekivana stopa apsorpcije Tanolina je 70% (30% je odbačeno).

Izlaz iz procesa

Hromna koža	7 tona/dan
Trimovanje i brijanje	7 tona/dan
(Zajedno sadrže	225 kg Cr/dan)
Lug za štavljenje	33 m ³ /dan
	90 kg Cr/dan
Voda od ispiranja tokom štavljenja	200 m ³ /dan
	7 kg Cr/dan
Ukupna voda iz postrojenja	1800 m ³ /dan

Materijalni bilans

Gde odlazi hrom?



2. Upotreba čistija proizvodnje data je na primeru postrojenja za proizvodnju cevi od gvožđa. Konačni proizvodi se koriste za izgradnju vodovodnih mreža, kao i za otpadne vode i kanalizaciju, za šahtove, poklopce i rešetke. Sirovina koja se u procesu koristi je otpadni metal koji se topi i izliva u odgovarajućim kalupima. U procesu topljenja metala iz topionice se emituju zagađujuće materije u vazduh (ugljenik(IV)-oksid (CO_2), sumpor(IV)-oksid (SO_2), azotovi oksidi (NO_x) i dim/čad), dok se u procesu livenja metala emituju značajne količine čvrstog otpada (metali, kao i korišćeni materijali za peskiranje i vezivanje). Pored toga, upotreba električne energije u postrojenju je neefikasna. Menadžment je pronašao sledeća rešenja:

- A. Izmeniti operativne parametre topljenja u cilju poboljšanja efikasnosti procesa i smanjenja emisije u vazduh
- B. Postaviti rešetke na vazdušni otvor iznad vrata topionice kako bi se sprečio izlazak dima
- C. Proveriti kvalitet sirovine koja se koristi u procesu proizvodnje
- D. Ponovno iskorišćavanje (vraćanje) peska koji se koristi u procesu livenja
- E. Čvrst otpad odlagati na deponiju
- F. Obuka zaposlenih
- G. Instaliranje opreme za uštedu energije u postrojenju

Na osnovu gore navedenih opcija popuniti datu tabelu (sve opcije mogu da se nalaze u više kolona).

Čistija proizvodnja uključuje sledeće:	Opcija (Upisati slovo odgovarajuće opcije)
<i>Održavanje postrojenja</i>	
<i>Zamena sirovina</i>	
<i>Bolja kontrola procesa</i>	
<i>Modifikacija opreme</i>	
<i>Promena tehnologije</i>	
<i>Modifikacija proizvoda</i>	
<i>Proizvodnja korisnog nus proizvoda</i>	
<i>Ponovno korišćenje/reciklaža u procesu</i>	
<i>Ponovno korišćenje/reciklaža van proizvodnog procesa</i>	
<i>Kontrola emisije/tretman</i>	
<i>Odlaganje otpada</i>	

3. U cilju rešavanja sledećeg zadatka potrebno je da se podelite u tri grupe, da pročitate studije slučaja date u nastavku zadatka (10 min) i da nakon kraće diskusije unutar grupe (30 min) odgovorite na sledeća pitanja:
 - a. Dajte jedan primer promene niskih troškova kako bi proizvodnja bila efikasnija. Možete dati primere iz pruženih studija slučaja ili iz drugih sektora povezanih sa vašim sopstvenim iskustvom.
 - b. Navedite jedan ili dva primera mera čistije proizvodnje koje dovode do poboljšanja uslova za radnike. Možete navesti primere iz studija slučaja ili iz drugih sektora povezanih sa vašim iskustvom.
 - c. Koja su ograničenja/izazovi za kompanije da se bave čistijom proizvodnjom?
 - d. Kako vladine politike mogu podržati čistiju proizvodnju?
 - e. Kako organizacije poslodavaca mogu podržati čistiju proizvodnju?
 - f. Dajte dva argumenta da ubedite lokalne vlasti da podrže čistiju proizvodnju u Srbiji.
 - g. Dajte dva argumenta da ubedite vlasnika fabrike da usvoji principe i procedure čistije proizvodnje.
4. Jedan član grupe treba da predstavi zaključke, kao i (5 minuta po grupi)
 - dva argumenta da ubede lokalne fabrike da podrže čistiju proizvodnju
 - dva argumenta da ubede lokalne vlasti da podrže čistiju proizvodnju

Studija slučaja 1.

Fabrika Roo Hsing Garment proizvodi odeću i smeštena je u Pnom Pen, Kambodža. Glavni proizvodi kompanije uključuju teksas pamučne farmerke. Kompanija ima radnu snagu od preko 3700 zaposlenih. U okviru ovog programa preduzeća preporučuju se za primenu niz mera koji mogu poboljšati efikasnost korišćenja energije i resursa. Fabrika Roo Hsing Garment implementirala je širok spektar mehanizama, ukupne investicije od 630.000 USD što je rezultiralo uštedom od 666.000 USD godišnje. Ostale indirektno koristi ovih mehanizama uključuju, između ostalog, smanjene troškove upravljanja otpadom, povećan izvoz, poboljšanje uslova rada i poboljšanje uticaja na životnu sredinu.

Opis procesa proizvodnje. Iako fabrika Roo Hsing proizvodi čitav niz tkanina, njen glavni proizvod je teksas, čineći ga najviše energetski i resursno intenzivnim proizvodom. Proizvodni proces u Roo Hsing sadrži sledeće korake:

- Vruće pranje - ova operacija se vrši radi uklanjanja bilo koje zaostale hemikalije za obradu, poboljšava vlažnost tkanine i njegov apsorpcioni kapacitet.
- Pranje i ribanje sapunom - pranje sapunom se vrši da ukloni suvišnu boju i nečistoće poput smole, voskova i pektina. Čišćenje se vrši radi poboljšanja vlažnosti tkanine, poboljšava njenu svetlinu i mekoću.
- Omekšavanje/završna obrada - operacije omekšavanja i završne obrade se rade za poboljšanje sjaja, ujednačenosti, zaštite od prašine i svojstava protiv gužvanja.
- Obezvodnjavanje i sušenje - tokom ovog koraka odeća je podvrgnuta mehaničkom obezvodnjavanju kroz centrifuge i paru. Nakon toga se pegla, ukrašava i otprema.
- Očigledno je da je proizvodnja teksasa izuzetno intenzivna u pogledu potrošnje vode i energije, sa velikim potencijalom za stvaranje velikih količina otpada. Čistija proizvodnja uslovlja je procenu područja za poboljšanje efikasnosti korišćenja resursa i energije. Primećeno je da je potrošnja izvora energije kao što su mazut i električna energija visoka u odnosu na referentne vrednosti u ostalim zemljama. Fabričke procese takođe karakterišu velika upotreba vode i hemikalija, što rezultira stvaranjem velikih količina tečnog i gasovitog otpada. To se može pripisati faktorima kao što su slabo sagorevanje, mala efikasnost proizvodnje pare, loša distribucija pare i visok odnos tkanina/lug.

Akcije i uticaji.

Poboljšanje efikasnosti u korišćenju vode. Fabrika je započela reciklažu prečišćene otpadne vode za prečišćavanje (skrubovanje) dimnih gasova (leteći pepeo) u cilju smanjenja potrošnje vode, kao i smanjenje nastanka otpadnih voda. Još jedan mehanizam upotrebljen je za poboljšanje sakupljanja kondenzata kao napojne vode kotla, što takođe smanjuje upotrebu vode.

Smanjenje otpada i pratećih troškova tretmana. Fabrika je investirala u optimizaciju odnosa tkanina/lug, smanjujući troškove prečišćavanja otpadnih voda i rukovanja muljem na postrojenju za prečišćavanje.

Smanjenje potrošnje energije. Kompanija takođe ulaže u izolaciju cevovoda za paru, smanjujući potrošnju goriva za generisanje pare, kao i ispuštanje gasova staklene bašte i gasova generalno. Instalacija brojila za električnu energiju dovela je do boljeg monitoringa i kontrole njene upotrebe, rezultujući u efikasnijoj upotrebi energije u proizvodnom procesu.

Poboljšanje uslova na radnom mestu. Izolacija parnih cevi smanjuje emisiju gasova u fabrici. Štaviše, primena ovih mehanizama dovela je do boljeg

nadzora resursa i otpada od strane osoblja fabrike. Svi zaposleni u fabrici su kroz različite aktivnosti uključeni u proces čistije proizvodnje. Pored toga, mere održavanja kao što su izolacija parnih cevi su smanjile emisije SO_x i NO_x na radnom mestu. Pored navedenog, fabrika je sprovela i druge mogućnosti uštede energije koje su sažete u nastavku teksta.

Sumarni podaci o primenjenim akcijama u fabrici Roo Hsing Garment:

Preduzete akcije	Uticaj	Investicije (USD)	Ušteda (USD)	Period u kome se vidi uštedu
Recirkulacija tretiranih otpadnih voda	Smanjena upotreba vode	Uključeno u investicije navedene u nastavku tabele	Nije kvantifikovana posebno	Manje od 1 godine
Zamena bojlera	Smanjenje emisije	600 427	568 696	Manje od 1 godine
Optimizacija proces	Smanjenje otpadne vode i emisije u životnu sredinu	0	15 864	Manje od 1 godine
Izolacija cevi za paru	Smanjena upotreba goriva	19 526	Uključeno u zamenu bojlera	Manje od 1 godine
Kombinovani procesi proizvodnje	Smanjena emisija	0	Nije kvantifikovana posebno	Manje od 1 godine
Instaliranje merača struje	Smanjena potreba za električnom energijom	Zanemarljiva ulaganja	68 341	Manje od 1 godine
Intenzivno sakupljanje kondenzata	Smanjena upotreba vode	15 132	Nije kvantifikovana posebno	Manje od 1 godine

Studija slučaja 2.

Medigloves Limited je kompanija na Tajlandu koja proizvodi kvalitetne hirurške i rukavice za čišćenje od lateksa. Medigloves je sertifikovan za niz ISO standarda, takođe ispunjava EN 46001, CE znak i USDFA zahteve. Kompanija ima radnu snagu od 640 ljudi. Medigloves su aktivno učestvovali u projektu UNEPa za smanjenje gasova sa efektom staklene bašte u Aziji i Tihom okeanu (GERIAP) i za izgradnju kapaciteta

zaposlenog osoblja, poboljšanja energetske efikasnosti mehanizmom čistije proizvodnje, poboljšanja ekoloških i socijalnih performansi i da održi svoju konkurentnost do smanjenje troškova energije.

Opis proizvodnog procesa. Proizvodnja rukavica u Medigloves-u podrazumeva sledeće korake:

- Priprema i oblikovanje - jedinjenje lateksa je pripremljeno mešanjem hemikalija sa prirodnom gumom koja se stvrdnjava u kalupima za formiranje rukavica.
- Pranje i sušenje - rukavice se tretiraju i operu nekoliko puta, a zatim se osuše pomoću pare.
- Ispitivanje i pakovanje - tokom ovog koraka su rukavice testirane na čvrstoću i curenje. Zatim se spakuju i sterilišu gama zracima pre nego što se pošalju kupcima. Tokom GERIAP studije utvrđeno je da došlo je do velikog curenja komprimovanog vazduha zbog pohabane zaptivke i polomljenih cevi i spojeva. Registrovano je i curenje komprimovanog vazduha koji se koristi za čišćenje opreme i odeće zaposlenih u fabrici. Takođe, izveštavano je i o prekompernoj upotrebi vode u procesu proizvodnje. Proizvodnja lateks rukavica zahteva intenzivnu upotrebu vode. Nakon hlorisanja, rukavice od lateksa se peri nekoliko puta, a utvrđeno je da je nakon trećeg ispiranja voda bila dovoljno čista za ponovnu upotrebu. Ova voda se, međutim, ispuštala na tretman, izazivajući rasipnu upotrebu hemikalija i energije za tretman vode. Voda se takođe troši, na sličan način, za pranje kalupa za proizvodnju rukavica. Relativno čista voda za koju je pogodna ponovna upotreba poslata je u postrojenje za prečišćavanje. Takođe su dobijeni podaci o tome da je temperatura vazduha u kompresoru viša u odnosu na spoljni vazduh. Procenjeno je da se 9% električne energije za kompresore bespotrebno trošila.

Akcije i uticaji.

Poboljšanje efikasnosti u korišćenju vode. Za prikupljanje ili odvajanje vode za višekratnu upotrebu (do 29 m³/dan) iz procesa hlorisanja, kompanija je konstruisala rezervoar od 18 m³. Oko 15 m³ vode iz procesa potapanja takođe biva zadržano za ponovnu upotrebu.

Smanjenje otpada i pratećih troškova sanacije su smanjeni zahvaljujući tome što se deo vode ponovo vraća u proces.

Smanjenje potrošnje energije. Curenja su popravljena a osoblje je obučeno za uputstva za čišćenje kako bi se gubici komprimovanog vazduha sveli na

minimum. Štaviše, kanal je promenjen tako da je spoljni vazduh koristi se kao usisni vazduh.

Poboljšanja uslova rada i radničke grupe veština. Izgradnja kapaciteta, obučanost osoblja i svest o energiji značajno su porasli tokom projekta GERIAP. U nastavku teksta dat je sumarni prikaz podataka dobijenih iz fabrike Medigloves Limited.

Sumirani podaci o preduzetim akcijama u fabrici Medigloves Limited:

Preduzete akcije	Uticaj	Investicije (USD)	Ušteda (USD)	Period u kome se vidi uštedu
Popravka ventila i redukcija u temperaturi ulaznog gasa	Smanjena potreba za električnom energijom	1500	7450 po godini	2-5 meseci
Recirkulacija iskorišćene vode i hemikalija iz procesa potapanja	Smanjena potreba za vodom, električnom energijom i gorivom	1 250	6388 po godini	2-3 meseca
Recirkulacija iskorišćene vode od pranja i iz procesa hlorisanja	Smanjena potreba za vodom, električnom energijom	5 250	5 406 po godini	1 godina

Studija slučaja 3.

Korporacija Steel Asia Manufacturing Corporation (SAMC) proizvodi ojačane čelične šipke koje se koriste u građevinarstvu. Kapacitetom za proizvodnju od 400.000 tona godišnje, kompanija proizvodi 360.000 tona čeličnih šipki, od kojih se većina proda na domaćem tržištu. SAMC je učestvovao u projektu GERIAP za poboljšanje poslovanja, smanjenje proizvodnih troškova i pripremanje za dobijanje ISO 9001, ISO 14001 i OSHAS 18000 sertifikata. Pogon ima 400 zaposlenih.

Opis proizvodnih procesa. Sledeći procesi su uključeni u proizvodnju čeličnih šipki u postrojenju SAMCa

- Predgrevanje - Čelične gredice se primaju i pune u peći. Oni se zagrevaju 75 minuta do 1100°C uz korišćenje mazuta.

- Valjanje - kako gredice dostižu optimalnu temperaturu, rolaju se u serije na 18 kontinuiranih valjaonica. Njima upravlja kompjuterizovano kontrolni sistem.
- Rezanje i ispitivanje: Šipke se zatim iseku na dužine koje zahtevaju kupci i podvrgavaju se fizičkim, mehaničkim i hemijskim ispitivanja.
- Spajanje i označavanje: proizvod se zatim stavlja u paket, označava i uskladišti.

Utvrđeno je da kompanija nije imala instalirana sredstva za merenje vode koja se koristi na nivou postrojenja. Štaviše, zbog nedostatka efikasnih mera za očuvanje toplote, trošilo se više goriva i emisija gasova staklene bašte je bila značajna.

Akcije i uticaji.

Poboljšanje efikasnosti u upotrebi vode. Instaliranjem vodomera kompanija je uspeła da identifikuje i sprovede mere za očuvanje vode. Ovo je takođe povećalo svest zaposlenih o korišćenju i očuvanju vode.

Smanjenje potrošnje energije. Ugradnjom keramičkih vlakana kao izolacije unutar peći i platna koja su otporna na toplotu, SAMC je prijavio značajno smanjenje potrošnje energije.

Poboljšanja uslova rada. Ugradnjom keramičkih vlakana kao izolacije unutar peći i platna koja su otporna na toplotu poboljšani su uslovi rada peći.

U nastavku teksta dat je sumarni prikaz podataka dobijenih iz fabrike Steel Asia Manufacturing Corporation.

Sumirani podaci o preduzetim akcijama u fabrici Steel Asia Manufacturing Corporation:

Preduzete akcije	Uticaj	Investicije	Ušteda	Period u kome se vidi uštedu
Instalacija keramičkih vlakana u zidove peći	Smanjena potreba za gorivom	USD 180	USD 2410	Do 9 meseci
Instaliranje vodomera	Smanjena potreba za vodom i električnom energijom	USD 454	USD 1284 po godini	4 meseca
Smanjenje gubitaka toplote	Smanjena potreba za gorivom	USD 2545	USD 148028 po godini	1 nedelja

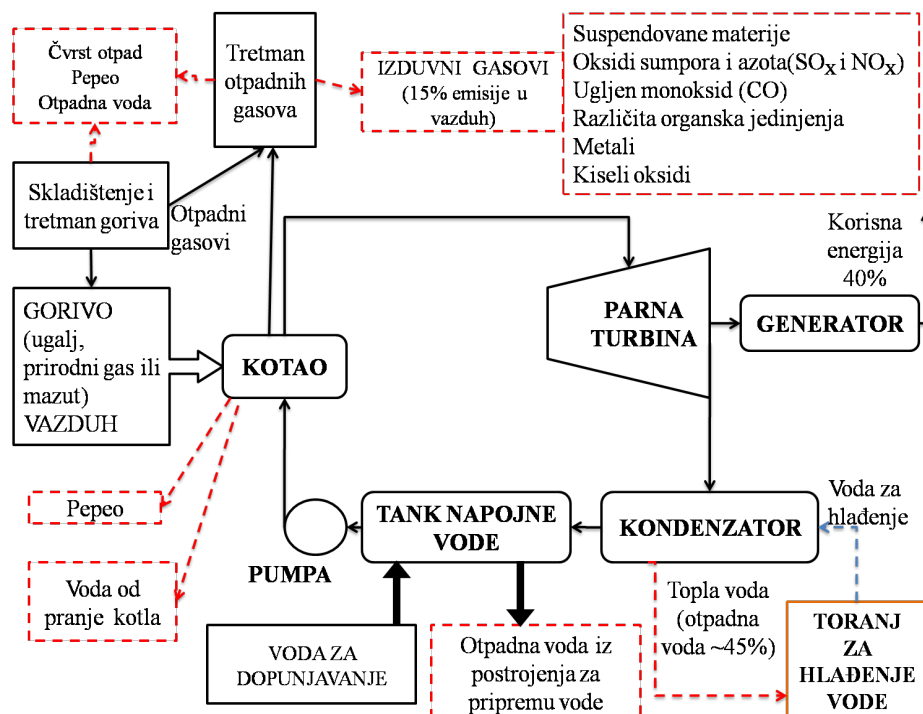
Beleške:

3. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ENERGIJE

Električna energija se u svetu proizvodi primarno sagorevanjem fosilnih goriva (50% svetske proizvodnje), zatim obnovljivim izvorima energije (oko 14%), primenom nuklearne energije (oko 35% svetske proizvodnje) i ostalih izvora energije (oko 1% svetske proizvodnje). Korišćenje fosilnih goriva za proizvodnju električne energije podrazumeva korišćenje neobnovljivih prirodnih resursa (ugalj, nafta, gas), njihovu preradu i izdvajanje velike količine otpada (čvrst, tečan i gasovit). U toku proizvodnje dolazi do emisije polutanata u vazduh (SO_x , NO_x , CO, CO_2 , čestične materije i prašine koje se emituju u vazduh). Pored ovoga može doći i do emisije teških metala, policikličnih aromatičnih ugljovodonika, dioksina, furana, volatilnih organskih komponenti (VOC) u vodu, a nastaje i čvrst otpad od sagorevanja i nusprodukti. Pored ovih emisija, negativne posledice po životnu sredinu se ogledaju i u emisiji radioaktivnih supstanci, emisiji buke i vibracije i termalnog zagađenja. Na slici 3.1. predstavljen je proces proizvodnje električne energije, sa svim operacijama i mogućim izdvajanjem otpadnih tokova. Tehnologije za proizvodnju energije mogu se podeliti u 5 grupa:

- sagorevanje čvrstih goriva u kotlovima sa ložištem sa rešetkama;
- sagorevanje uglja u prahu i u fluidizovnom sloju;
- sagorevanje tečnih i gasovitih goriva u kotlovima;
- sagorevanje tečnih i gasovitih goriva u turbinama; i
- integrisani sistemi za čvrsta, tečna i gasovita goriva.



Slika 3.1. Proizvodnja energije spaljivanjem fosilnih goriva i uticaj na životnu sredinu

3.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata

U ovom delu su prikazani primeri izračunavanja emisije u kg/h na osnovu podataka dobijenih uzorkovanjem dimnih gasova na dimnjaku, kao i kako se ove vrednosti konvertuju u godišnje emisione vrednosti. Kao primer korišćen je proračun za određivanje emisije čestičnih materija dijametra manjeg od 10 μm PM_{10} , ali se ista opšta metodologija može primeniti na većinu zagađujućih materija.

Koncentracija PM_{10} može se izračunati iz sledeće jednačine:

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (3.1)$$

gde je:

C_{PM} – koncentracija PM_{10} , ili opterećenje (g/m^3)

C_f – masa PM_{10} koja je zadržana na filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka na standardnom pritisku i temperaturi (m^3)

STP – standardna temperatura i pritisak, koji iznose 101325 Pa i 273 K

Emisija čestičnih materija se može izračunati na sledeći način:

$$E_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} \times Q_d \times 3600 \times 0,001 = C_{PM_{10}} \times Q_d \times 3,6 \quad (3.2)$$

gde je:

$E_{PM_{10}}$ – časovna emisija PM_{10} (kg/h)

$C_{PM_{10}}$ – koncentracija PM_{10} , ili opterećenje u gramima (g/m^3)

Q_d – protok gasa na dimnjaku (m^3/s)

3,6 – 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kilograma po gramu

Što se tiče kontrole emisije za PM_{10} , u nedostatku izmerenih podataka ili znanja o efikasnosti za određeni deo opreme, mogu se koristiti podrazumevane vrednosti: 99,2% efikasnosti procesa za elektrostatički precipitator i 99,8% za vrećaste filtere.

Primer 3.1. Proceniti emisiju čestičnih materija manjih od $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$) i čestičnih materija manjih od $10 \mu m$ (PM_{10}) iz informacija dobijenih monitoringom: ukupno vreme uzorkovanje 7200 s; Sakupljena vlaga 395,6 g; $PM_{2,5}$ ciklon ($C_{PM_{2,5}}$) 0,01 g; PM_{10} ciklon ($C_{PM_{10}}$) 0,05 g; koncentracija zadržana na filteru (C_f) 0,0851 g; prosečna brzina uzorkovanja $1,67 \times 10^{-4} m^3/s$; standardna zapremina ($V_{m,STP}$) $1,185 m^3$; zapreminski protok (Q) $8,48 m^3/s$, temperatura dimnog gasa na izlazu iz dimnjaka $25^\circ C$ {298K}).

$$C_{ukupnaPM} = \frac{(C_f + C_{PM_{10}} + C_{PM_{2,5}})}{V_{m,STP}} = \frac{(0,0851g + 0,05g + 0,01g)}{1,185 m^3} = 0,122 \frac{g}{m^3}$$

$$E_{ukupnaPM} = C_{ukupnaPM} \times Q_d \times 3,6 = 0,122 \frac{g}{m^3} \times 8,48 \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{h} \times 0,001 \frac{kg}{g} = 3,72 \frac{kg}{h}$$

$$C_{PM_{10}} = \frac{C_{PM_{10}}}{V_{m,STP}} = \frac{0,05 g}{1,185 m^3} = 0,042 \frac{g}{m^3}$$

$$E_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} \times Q_d \times 3,6 = 0,042 \frac{g}{m^3} \times 8,48 \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{h} \times 0,001 \frac{kg}{g} = 1,28 \frac{kg}{h}$$

$$C_{PM_{2,5}} = \frac{C_{PM_{2,5}}}{V_{m,STP}} = \frac{0,01}{1,185} = 0,008 \frac{g}{m^3}$$

$$E_{PM_{2,5}} = C_{PM_{2,5}} \times Q_d \times 3,6 = 0,008 \frac{g}{m^3} \times 8,48 \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{h} \times 0,001 \frac{kg}{g} = 0,29 \frac{kg}{h}$$

Za konverziju protoka dimnog gasa na izlazu iz dimnjaka (Q_d) pri standardizovanim (normalnim) uslovima koristi se sledeća jednačina:

$$Q_d = Q_a \times \left(1 - \frac{MC}{100}\right) \times \frac{273}{T + 273} \times \frac{P_s}{101,325} \quad (3.3)$$

gde je:

Q_d – protok dimnog gasa pri standardnim uslovima (m^3/s)

Q_a – protok dimnog gasa pri merenim uslovima (m^3/s)

MC – sadržaj vlage u dimnom gasu (%)

T – temperatura dimnog gasa ($^{\circ}C$)

P_s – apsolutni pritisak dimnog gasa (kPa)

3.1.2. Primena kontinualnih merenja za procenu emisije polutanata

Ukoliko elektrane imaju instaliranu odgovarajuću opremu za kontinualni monitoring ovi podaci se mogu koristiti za procenu emisija. Da bi se pratila emisija SO_2 , NO_x , ukupnih VOC i CO pomoću kontinualnog sistema za monitoring, potrebno je da se koristi oprema za merenje koja meri koncentraciju zagađujućih supstanci u delovima na milion po zapremini suvog vazduha (mg/m^3). Potrebno je meriti zapreminsku brzinu protoka. Na osnovu ovih merenja izračunavaju se emisije (kg/h) množenjem koncentracije zagađujućih supstanci u dimnom gasu sa brzinom protoka dimnog gasa. Odabrani podaci kontinualnog monitoringa treba da predstavljaju reprezentativne uslove rada. Kada je moguće, treba koristiti podatke prikupljene tokom dužih perioda (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Podaci sistema za kontinualno merenje emisije elektrane koja koristi tečna goriva

Merenja	O_2 (%V)	Koncentracija (C) (cm^3/m^3)				Protok gasa (Q) (m^3/s)	Stopa korišćenja tečnih goriva (AR) (t/h)
		SO_2	NO_x	CO	TVOC		
1	10,3	150,9	142,9	42,9	554,2	8,52	290
2	10,1	144,0	145,7	41,8	582,9	8,48	293
3	11,8	123,0	112,7	128,4	515,1	8,85	270

Časovna emisija se može izračunati pomoću jednačine 3.4 i primera 3.2:

$$E_i = \frac{C_i \times MW \times Q \times 3600}{V \times 10^6} \quad (3.4)$$

gde je:

E_i – časovna emisija polutanta i (kg/h)

C_i – koncentracija polutanta i (cm³/m³)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

Q – protok gasa na dimnjaku (m³/s)

3600 - 3600 sekundi u satu

V – zapremina jednog mola gasa na standardnom pritisku i temperaturi (22,4 dm³/mol na 0°C i 101325 Pa)

10⁶ – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Alternativno emisija u kg po godini se može izračunati množenjem brzine emisije kg/h sa brojem radnih dana (OpHrs) (jednačina 3.5).

$$E_{kpy,i} = E_i \times OpHrs \quad (3.5)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

E_i – časovna emisija polutanta i (kg/h)

OpHrs – broj radnih sati u godini (h/god)

Emisija u kilogramima zagađujuće supstance po toni potrošenog goriva može se izračunati deljenjem stope emisije (kg/h), sa stopom potrošnje goriva (t/h) tokom istog perioda (jednačina 3.6).

$$E_{kpt,i} = \frac{E_i}{AR} \quad (3.6)$$

gde je:

$E_{kpt,i}$ – emisija polutanta i po toni goriva (kg/t)

E_i – časovna emisija polutanta i (kg/h)

AR – stopa potrošnje goriva (t/h)

Primer 3.2. Proceniti emisiju SO₂ ukoliko su poznati podaci monitoringa dati u tabeli 3.1. i ukoliko je poznato da su reprezentativni operativni uslovi u toku godine za Period 1 = 1500 h, Period 2 = 2000 h i Period 3 = 1800 h

$$\begin{aligned}
 E_i &= \frac{C_i \times MW \times Q \times 3600}{V \times 10^6} \\
 &= \frac{150,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \times 64 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 8,52 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{22,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \times 10^6} \\
 &= \frac{296217907}{22400000} = 13 \frac{\text{kg}}{\text{h}}
 \end{aligned}$$

Na isti način se radi proračun emisije i za Period 2 i Period 3.

Period 2 - E_{SO2} = 13 kg/h

Period 3 - E_{SO2} = 11 kg/h

Ukupna emisija za godinu = (13 kg/h x 1500 h/god) + (13 kg/h x 2000 h/god) + (11 kg/h x 1800 h/god) = 65300 kg/godini

Emisija, u kg/t konzumiranog tečnog goriva za period 1, se izračunava:

$$\begin{aligned}
 E_{kpt,SO_2} &= \frac{E_{SO_2}}{AR} = \frac{13 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{290 \frac{\text{t}}{\text{h}}} \\
 &= 4,5 \times 10^2 \text{ kg SO}_2 / \text{t goriva}
 \end{aligned}$$

3.2. Primena masenog bilansa za izračunavanje emisija

Elementi u tragovima se mogu klasifikovati u 3 generalne, međusobno isprepletane grupe, na osnovu njihovog ponašanja tokom sagorevanja:

Klasa 1. Elementi koji se koncentrišu u čvrstom rezidualu – istaloženom pepelu, ili se raspodeljuju podjednako između pepela i letećeg pepela koji se generalno uklanja opremom za kontrolu emisije.

Klasa 2. Elementi koji se koncentrišu u većoj meri u letećem pepelu u odnosu na čvrsti rezidual. Takođe se nakupljaju u finim česticama koje se ne uklanjaju opremom za kontrolu emisije.

Klasa 3. Elementi koji brzo isparavaju. Oni mogu biti skoncentrisani u parnoj fazi i deponovani u čvrstoj fazi.

Jedinjenja žive, hlora, fluora i slena mogu biti emitovana u gasnoj fazi i spadaju u klasu III, ili u međuklasu II do III. Za ovo jedinjenja korisno je analizirati pepeo i ugalj kako bi se omogućilo izračunavanje emisije na osnovu masenog bilansa.

Izračunavanje emisije na osnovu masenog bilansa podrazumeva prikupljanje reprezentativnih i pouzdanih podataka o koncentraciji elemenata u uglju i pepelu. Pretpostavlja se da se razlika u količini elementa u uglju i pepelu emituje u atmosferu. Jednačina koja se koristi za izračunavanje emisije data je izrazom 3.7:

$$E = \{C_i - [(A \times F \times CF) + (A \times B \times CB)]\} \times 10^{-3} \quad (3.7)$$

gde je

E – emisija supstance u vazduh (kg/t)

C_i – koncentracija elementa u uglju (mg/kg)

A – maseni udeo pepela u uglju

F – udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu

B – udeo istaloženog pepela u ukupnom pepelu

CF – koncentracija elementa u letećem pepelu (mg/kg)

CB – koncentracija elementa u istaloženom pepelu (mg/kg)

10^{-3} – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Primer 3.4. Proceniti emisiju fluorida ukoliko je poznato da je koncentracija fluorida u uglju 250 mg/kg; maseni udeo pepela u uglju 0,20; udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu 0,9; a udeo istaloženog pepela u ukupnom pepelu 0,1. Koncentracija fluorida u letećem pepelu iznosi 500 mg/kg, a u istaloženom pepelu koncentracija fluorida je 50 mg/kg

$$\begin{aligned} E &= \{C_i - [(A \times F \times CF) + (A \times B \times CB)]\} \times 10^{-3} \\ &= \left\{ 250 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} - \left[\left(0,20 \times 0,9 \times 500 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) + \left(0,2 \times 0,1 \times 50 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \right] \right\} \times 10^{-3} \\ &= \left\{ 250 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} - \left(90 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} + 1 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \right\} \times 10^{-3} = 0,159 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \end{aligned}$$

3.3. Primena emisionih faktora za izračunavanje emisija

Emisioni faktori su obično povezani za količinu supstance emitovane iz nekog izvora sa nekom uobičajenom aktivnošću vezanom za tu emisiju. Emisioni faktori za postrojenja za termoelektrane se mogu npr. preuzeti iz američkih, evropskih i australijskih izvora, obično su izraženi kao masa emitovane supstance po jedinici mase, zapremine, udaljenosti ili trajanja aktivnosti emitovanja supstance. Primeri emisionih faktora su dati u prilogu 13. Kada je to moguće treba koristiti podatke vezane za specifično postrojenje. Emisioni faktori koji se koriste za procenu emisije mogu se izračunati primenom generalne jednačine 3.8. Primer izračunavanja dat je u nastavku teksta (primer 3.5 i 3.6).

$$E_{kpy,i} = AR \times EF \times \left[1 - \frac{CE}{100} \right] \quad (3.8)$$

gde je

$E_{kpy,i}$ - godišnja emisija polutanta i (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (potrošnja goriva) (t/god) (izračunava se kao proizvod kapaciteta proizvodnje nekog proizvoda u t/h i broja radnih sati postrojenja h/god)

EF – nekontrolisani emisioni faktor polutanta i (kg/t)

CE – ukupna efikasnost kontrole polutanta i (%)

Emisioni faktori su zasnovani ili na potrošnji goriva (kg/t goriva) ili na potrošnji energije (kg/PJ potrošene energije (PJ–peta džul)) (primer 3.7). Tamo gde se emisioni faktori zasnivaju na potrošnji energije, emisija se izračunava na osnovu sledeće jednačine:

$$Energija = [potrošnja\ goriva\ (t/godini) \times gornja\ granica\ zagrevanja\ (MJ/kg)] / 10^6\ potrošnje\ (PJ/godini) \quad (3.9)$$

gde je

10^6 – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Primer 3.5. Postrojenje za proizvodnju električne energije koristi 2 miliona tona bitumenoznog uglja u toku godine. Proceniti godišnju emisiju sumpor dioksida ukoliko je sadržaj sumpora u uglju 0,5%. Uzeti u obzir da ne postoji kontrola redukcije sumpora, a da je vrednost EF 17,5 x S (kg/t) dok je sadržaj sumpora 0,5 % (iz literature, prilog 13)

$$\begin{aligned} E_{SO_2} &= AR \times EF \times \left(1 - \frac{CE}{100} \right) \\ &= 2 \times 10^6 \frac{t}{god} \times 17,5 \frac{kg}{t} \times 0,5 \times \left(1 - \left(\frac{0}{100} \right) \right) \\ &= 1,75 \times 10^7 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

Primer 3.6. Proceniti emisiju sumpor dioksida upotrebom proračuna zasnovanog na količini potrebnog goriva za proizvodnju, ukoliko se koristi 4 miliona tona uglja godišnje sa sadržajem sumpora od 0,8%. 10% sumpora se zadržava u pepelu. Emisioni faktor za SO₂ iz ove vrste uglja je 15 x S kg/t (iz literature, Prilog 13).

$$E_{SO_2} = AR \times EF \times \left[1 - \left(\frac{CE}{100} \right) \right]$$

$$= 4,0 \times 10^6 \frac{t}{god} \times 15 \frac{kg}{t} \times 0,8 \times \left[1 - \frac{10}{100} \right]$$

$$E_{kpy,i} = 4,32 \times 10^7 \text{ kg/god}$$

Primer 3.7. Odrediti emisiju azotovih oksida u toku procesa proizvodnje energije upotrebom emisionih faktora ukoliko postrojenje radi 5000 sati godišnje, sa emisionim faktorom od 220 t/PJ. Gornja granica zagrevanja je 24 MJ/kg, a upotreba goriva 50 t/h.

$$E_{ulaznog \text{ goriva}} \left(\frac{PJ}{god} \right) =$$

$$= \frac{\text{potrošnja goriva} \left(\frac{t}{god} \right) \times \text{gornja granica zagrevanja} \left(\frac{MJ}{kg} \right)}{10^6}$$

$$= \frac{50 \frac{t}{h} \times 5000 h \times 24 \frac{MJ}{kg}}{10^6} = 6,0 \frac{PJ}{god}$$

$$E_{NOx} = AR \times EF \times \left[1 - \left(\frac{CE}{100} \right) \right] =$$

$$= 6,0 \frac{PJ}{god} \times 220 \frac{t}{PJ} = 1,32 \times 10^3 \frac{t}{god} = 1,32 \times 10^6 \frac{kg}{god}$$

3.4. Primena inženjerskih proračuna

Za izračunavanje emisije iz termoelektrana dostupni su inženjerski proračuni za procenu emisije brojnih tragova metala i njihovih jedinjenja koja potiču iz procesa sagorevanja uglja (primer 3.8). Prednost ovih jednačina za izračunavanje emisije u odnosu na jednostavne generičke emisione faktore je u tome što se kod ovih proračuna zahtevaju specifične informacije vezane za postrojenje – specifične informacije vezane za tip goriva i operativne uslove. Emisija se izračunava na osnovu jednačine:

$$E_{kpy,i} = K \times [C/A \times PM]^e \quad (3.10)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisioni faktor za supstancu (kg/PJ)

K – konstanta dostupna u literaturi (prilog 13)

C – koncentracija metala u uglju (mg/kg)

A – maseni udeo pepela u uglju (%)

e – eksponent

PM – specifični emisioni faktor za postrojenje za ukupne čestične materije (kg/GJ) npr., čestične materije emitovane po GJ ulazne toplote.

$$PM = A \times F \times ER \times \frac{1000}{SE} \quad (3.11)$$

gde je:

A – maseni udeo pepela u uglju

F – udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu

ER – udeo emitovane količine letećeg pepela

SE – dobijena specifična energija (GJ/t)

1000 – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Primer 3.8. Na osnovu dobijenih podataka proceniti emisiju kadmijuma (konstanta 2,17, prilog 13) iz postrojenja koje koristi ugalj kao gorivo, gde su kao ulazni parametri dati sledeći podaci:

C = 0,5 mg/kg

A = 0,2 (20% pepela)

F = 0,9 (90% letećeg pepela)

CE = 99,8% (konstanta vrednost za fabričke filtre)

ER = 1 – 99,8/100 = 0,002

SE = 24 GJ/t

$$PM = A \times F \times ER \times \frac{1000}{SE} = 0,2 \times 0,9 \times 0,002 \times \frac{1000}{24 \frac{GJ}{t}} = 0,015 \text{ kg/GJ}$$

$$E = 2,17 \times \left[\frac{0,5 \frac{mg}{kg}}{0,2} \times 0,015 \frac{kg}{GJ} \right]^{0,5} = 0,42 \frac{mg}{GJ} = 0,42 \frac{kg}{PJ}$$

Podaci o analizi goriva se mogu primeniti za procenu emisije SO₂, metala i metalnih jedinjenja, kao i drugih emisija na osnovu zakona o održanju mase (masenog bilansa). Osnovna jednačina koja se primenjuje za procenu emisije na osnovu analize goriva:

$$E_{kpy,i} = Q \times C \times \frac{MW}{EW} \times 10^{-6} \times OpHrs \quad (3.12)$$

gde je:

E – godišnja emisija polutanta *i* (kg/god)

Q – potrošnja goriva (kg/h)

C – koncentracija polutanta *i* u gorivu (mg/kg)

MW – molarna masa polutanta (g/mol)

EW – molarna masa elementa polutanta u gorivu (g/mol)

OpHrs – broj radnih sati u godini (h/god)

10⁻⁶ - konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Na primer emisija SO₂ iz goriva tokom sagorevanja može biti izračunata na osnovu koncentracije sumpora u gorivu. Ovaj pristup podrazumeva da se kompletan sumpor iz goriva prevodi u SO₂, tako da svaki kilogram spaljenog sumpora (EW=32 g/mol) emituje 2 kg SO₂ (MW=64 g/mol) (primer 3.9).

Primer 3.9 Proceniti emisiju sumpor dioksida upotrebom podataka o količini upotrebljenog goriva. Podaci kojima se raspolaže su sledeći: potrošnja goriva iznosi 2350 kg/h, koncentracija SO₂ je 11700 mg/kg, a vreme rada postrojenja 120 h/god.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= Q \times C \times \frac{MW}{EW} \times 10^{-6} \times OpHrs = \\ &= 2350 \frac{kg}{h} \times 11700 \frac{mg}{kg} \times \frac{64 \frac{g}{mol}}{32 \frac{g}{mol}} \times 10^{-6} \times 120 \frac{h}{god} = \\ &= 6,6 \times 10^3 = 6600 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

ZADACI

1. Na osnovu slike 3.1. dati primere potencijalnih puteva emisije u vodu (V), vazduh (A) i zemljište (Z) i obeležiti ih u tabeli.

Izvor	Čestice	SO _x , NO _x , CO ₂ , CO	Organska jedinjenja	Kiseline/ /baze/soli	HCl, HF	VOC	Metali/njihove soli	Hlor	Hg i/ili Cd	PAH	Dioksini
Skladištenje i rukovanje gorivom											
Prečišćavanje vode											
Ispusti gasova											
Prečišćavanje otpadnih gasova											
Odvođenje atmosferskih padavina											
Prečišćavanje otpadnih voda											
Voda za hlađenje											
Toranj za hlađenje											

2. Proceniti emisiju sumpor dioksida upotrebom podataka o količini upotrebljenog goriva, ukoliko se pretpostavi da postrojenje za proizvodnju električne energije radi 170 sati godišnje. Izračunati emisiju polutanta ukoliko je poznato da je maseni protok goriva 1000 kg/h, a koncentracija polutanta 11700 mg/kg.

Izrada:

3. Odrediti emisiju azotovih oksida u toku procesa proizvodnje energije upotrebom emisionih faktora ukoliko postrojenje radi 5600 sati godišnje, sa emisionim faktorom od 225 t/PJ. Gornja granica zagrevanja je 30 MJ/kg, upotreba goriva 75 t/h, i poznato je da je ulazna energija 8,0 PJ/god.

Izrada:

4. Proceniti emisiju sumpor-dioksida upotrebom inženjerskog proračuna zasnovanog na količini potrebnog goriva za proizvodnju, ukoliko se koristi 3,5 miliona tona uglja godišnje sa sadržajem sumpora od 0,65%. 10% sumpora se zadržava u pepelu. Emisioni faktor za sumpor dioksid iz ove vrste uglja je 15 kg/t (iz literature).

Izrada:

5. Na osnovu podataka datih u nastavku teksta o koncentracijama fluorida u uglju i pepelu proceniti emisiju fluorida: koncentracija fluorida 150 mg po 1 kg uglja; maseni udeo pepela u uglju je 0,15; udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu je 0,8; a koncentracija elementa u letećem pepelu 500 mg fluorida/kg uglja. Udeo istaloženog pepela u ukupnom pepelu iznosio je 0,2, dok je koncentracija elementa u istaloženom pepelu bila 50 mg/kg pepela.

Izrada:

6. Na osnovu dobijenih podataka proceniti emisiju kadmijuma iz postrojenja koje koristi ugalj kao gorivo. Koncentracija metala u uglju iznosi 700 µg/kg, maseni udeo pepela u uglju je 15%, udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu iznosi 84%, konstanta CE za fabričke filtere iznosi 99,8%, a dobijena specifična energija je 25 GJ/t. Konstanta koja služi za proračun emisije kadmijuma je dostupna u literaturi i iznosi 2,17, a eksponent je 0,5 (prilog 13).

Izrada:

7. Proceni emisiju azot(II)-oksida i ugljen(II)-oksida upotrebom dobijenih podataka za tri perioda:

period 1: 1500 h; period 2: 2000 h i period 3: 1800 h. Vrednosti potrebne za proračun date su u tabeli.

Merenje	O ₂ (% V)	Koncentracija (C) (cm ³ /m ³)				Protok gasa (Q) (m ³ /s)	Korišćen protok ulja (AR) (t/h)
		SO ₂	NO	CO	TVOC		
1	10,3	150,9	142,9	42,9	554,2	8,52	290
2	10,1	144,0	145,7	41,8	582,9	8,48	293
3	11,8	123,0	112,7	128,4	515,1	8,85	270

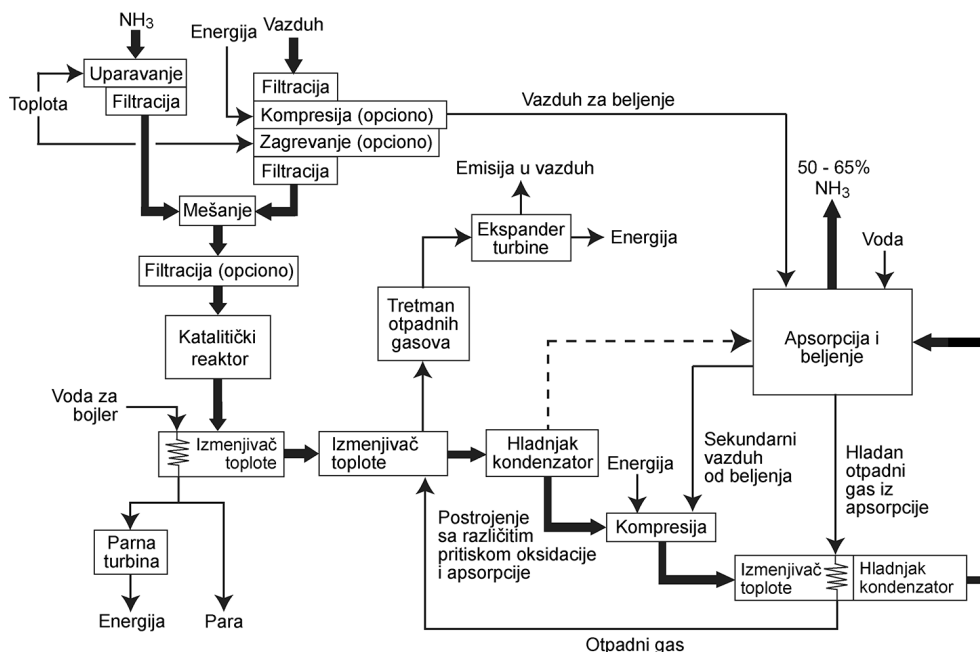
Izrada:

Beleške:

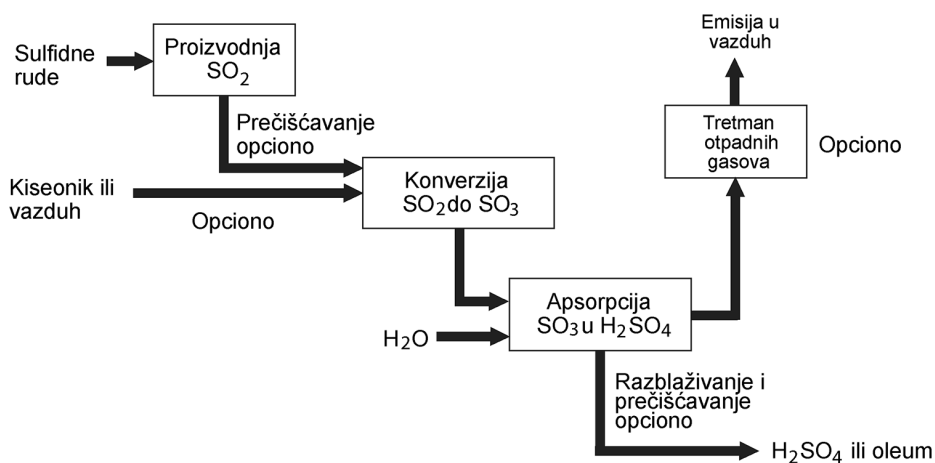
4. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU NEORGANSKIH HEMIJSKIH PROIZVODA

Neorganska hemijska industrija osnovnih hemijskih proizvoda obuhvata proizvodnju niza primarnih hemikalija koje dalje služe kao polazne sirovine u različitim industrijama, kao na primer: proizvodnja đubriva, hrane, lekova, eksploziva, plastike, itd. Neorganska hemijska industrija se može podeliti u dve velike grupe: (1) amonijak, kiseline i đubriva i (2) baze i čvrste soli. Pored ovoga hemijska industrija za proizvodnju neorganskih hemijskih proizvoda se može podeliti na: (i) gasove, kao što su amonijak, hlor ili hloro-vodonik, fluor ili fluoro-vodonik, ugljeni oksidi, sumporna jedinjenja, azotovi oksidi, vodonik, sumpor-dioksid, ugljen-tetrahlorid; (ii) kiseline, kao što su hromna kiselina, fluorovodonična kiselina, fosforna kiselina, azotna kiselina, hlorovodonična kiselina, sumporna kiselina, oleum, sumporasta kiselina; (iii) baze, kao što su amonijum-hidroksid, kalijum-hidroksid, natrijum-hidroksid; (iv) soli, kao što su amonijum-hlorid, kalijum-hlorat, kalijum-karbonat, natrijum-karbonat, perborat, srebro-nitrat i (v) nemetali, metalni oksidi ili druga neorganska jedinjenja, kao što su kalcijum-karbid, silicijum, silicijum-karbid. Glavni polutanti koji se emituju u vazduh iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemijskih proizvoda su NO_x , SO_2 , HF, NH_3 i prašina. Šematski prikazi proizvodnje azotne i sumporne kiseline sa naznačenim mestima gde nastaje emisija dati su u nastavku teksta (slika 4.1 i 4.2).



Slika 4.1 Šematski prikaz proizvodnje azotne kiseline sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu



Slika 4.2. Šematski prikaz proizvodnje sumporne kiseline sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu

Postoji nekoliko tehnika za procenu emisije za proračun emisije iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemikalija:

- Direktno uzorkovanje ili merenje
- Kontinualni emisioni monitoring sistem (CEMS)
- Maseni bilans
- Emisioni faktori
- Inženjerski proračuni

Krajnji odabir metode zavisice od dostupnih podataka, resursa, izvora čija se emisija kvantifikuje, itd. U ovom delu, prikazane su jednačine i primeri računanja emisije VOC, specifičnih organskih i neorganskih komponenti iz procesa proizvodnje neorganskih hemikalija.

4.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata

U ovom delu daje se prikaz kako i na koji način se može izračunati emisija u kg/h na osnovu podataka dobijenih uzorkovanjem i direktnim merenjem, a zatim i konvertovanjem dobijenih podataka u godišnju emisiju. Primer sprovedenih testova je prikazan u tabeli 4.1. Tabela daje prikaz tri različite vrste merenja. Izmereni parametri uključuju brzinu gasa i sadržaj vlage. Težina čestičnih materija PM (koje se u ovom primeru računaju) određivana je gravimetrijski i podeljena je sa zapreminom uzorkovanog gasa, kao što je prikazano jednačinom 4.1 kako bi se dobila koncentracija u g/m³. Koncentracija polutanta je zatim pomnožena sa zapreminskim protokom kako bi se odredila emisija u kg/h, kao što je prikazano jednačinom 4.2 i primerom 4.1.

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (4.1)$$

gde je:

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu opterećenja (g/m³)

C_f – koncentracija polutanta koja je zadržana na filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka (m³)

$$\begin{aligned} E_{PM} &= C_{PM} \times Q_d \times 3600 \times 0,001 \times \frac{273}{273 + T} \\ &= C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} \end{aligned} \quad (4.2)$$

gde je:

E_{PM} – emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu opterećenja (g/m³)

Q – protok gasa, (m³/s)

3,6 – konverzioni faktor - 3600 sekundi u satu pomnoženo sa 0,001 kg/g

T – temperatura uzorka gasa (°C)

Tabela 4.1. Primer rezultata sprovedenih testova merenja

Parametar	Simbol	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3
Ukupno vreme uzorkovanja (s)		7200	7200	7200
Sakupljena vlaga (g)	vlaga	395,6	372,6	341,4
Masa koja ostane u filteru (g)	C_f	0,0851	0,0449	0,0625
Prosečna brzina uzorkovanja (m^3/s)		$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$
Zapremina gasa (m^3)	$V_{m,STP}$	1,185	1,160	1,163
Protok gasa (m^3/s)	Q_d	8,48	8,43	8,45
Koncentracija čestičnih materija po gramu opterećenja (g/m^3)	C_{PM}	0,0718	0,0387	0,0537

Primer 4.1. Upotrebom dobijenih rezultata merenja iz tabele 4.1. potrebno je izračunati emisiju PM prilikom merenja 1, primenom jednačina 4.1. i 4.2., ukoliko je poznato da je temperatura izduvnih gasova $150^\circ C$.

$$C_f = 0,0851 \text{ g}$$

$$V_{m,STP} = 1,185 \text{ m}^3$$

$$C_{PM} = 0,0718 \text{ g/m}^3$$

$$Q_d = 8,48 \text{ m}^3/s$$

$$T = 150^\circ C = 150 + 273 = 423 \text{ K}$$

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} = \frac{0,0851 \text{ g}}{1,185 \text{ m}^3} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} =$$

$$= 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{g}} \times \frac{273 \text{ K}}{423 \text{ K}} = 1,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Za izračunavanje emisije suve materije u kg/h može se koristiti jednačina 4.3.

$$E_{PM} = Q_w \times C_{PM} \times 3,6 \times \left(1 - \frac{\text{vlaga}}{100}\right) \times \frac{273}{273 + T} \quad (4.3)$$

gde je:

E_{PM} - emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

Q_w - zapremina vlažnog izduvnog gasa u sekundi (m^3/s)

C_{PM} - koncentracija PM po gramu punjenja (g/m^3)

3,6 – konverzioni faktor - 3600 sekundi u satu pomnoženo sa 0,001 kg/g

vlaga - procenat vlage (%)

273 - 273 K (0°C)

T - temperatura gasa ($^\circ\text{C}$)

Da bi se izračunala vlaga koristi se jednačina 4.4. Primer izračunavanja dat je u primeru 4.2.

Procenat vlage =

$$= 100 \times \frac{\text{težina vodene pare po specifičnoj jedinici zapremine gasa}}{\text{ukupna težina gasa u datoj zapremini}}$$

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{1000 \times V_{m,\text{STP}}}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{1000 \times V_{m,\text{STP}}} + \rho_{\text{STP}}} \quad (4.4.)$$

gde je:

vlaga – procenat vlage (%)

m_{vlaga} – sakupljena vlaga (g)

$V_{m,\text{STP}}$ – izmerena zapremina uzorka (m^3)

ρ_{STP} – gustina suvog uzorka, kg/m^3 (ukoliko gustina nije poznata, može se koristiti standardna vrednost od $1,62 \text{ kg}/\text{m}^3$, gde se polazi od pretpostavke da se gas sastoji od 50% vazduha i 50% CO_2)

1000 – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Primer 4.2. Uzorak 1,2 m³ gasa pri standardnim uslovima, sadrži 410 g vodene pare. Izračunati procenat vlage u datom uzorku.

Rešenje:

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{1000 \times V_{\text{m,STP}}}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{1000 \times V_{\text{m,STP}}} + \rho_{\text{STP}}}$$

$$\frac{m_{\text{vlaga}}}{1000 \times V_{\text{m,STP}}} = \frac{410 \text{ g}}{1000 \times 1,2 \text{ m}^3} = 0,342 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{vlaga} = 100 \times (0,342 \text{ kg/m}^3 / 0,342 \text{ kg/m}^3 + 1,62 \text{ kg/m}^3) = 17,4\%$$

Emisija gasova. Metod uzorkovanja može biti korišćen za procenu emisije neorganskih polutanata iz različitih procesa proizvodnje. Jednačina 4.5 može da se koristi za procenu emisije polutanta po satu, zasnovano na merenju koncentracije u jedinicama cm³/m³.

$$E_i = \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{22,4 \times \frac{T + 273}{273} \times 10^6} \quad (4.5)$$

gde je:

E_i – emisija polutanta i (kg/h)

C – koncentracija polutanta (cm³/m³)

MW – molarna masa polutanta (g/mol)

Q – realan protok gasa (m³/s)

3600 – konverzioni faktor (s/h)

22,4 – zapremina koju zauzima jedan mol gasa a standardnoj temperaturi i pritisku (0°C i 101,3 kPa) (dm³/mol)

T – temperatura uzorka gasa (°C)

10⁶ – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Emisija u kilogramima u toku godine se može izračunati množenjem prosečne emisije po satu (kg/h) iz jednačine 4.5 sa brojem radnih sati postrojenja (kao što je prikazano u jednačini 4.6) ili množenjem prosečnog emisionog faktora (kg/l) sa ukupnom količinom korišćenog materijala (l).

$$E_{kpy,i} = E_i \times OpHrs \quad (4.6.)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

E_i – emisija polutanta i po satu (kg/h)

$OpHrs$ – broj radnih sati u toku godine (h/god)

Vrednosti koncentracija dobijene merenjem mogu biti izražene u različitim jedinicama (ppm, g/m³, itd). Takođe, uzorkovani gas može biti suv ili vlažan, što značajno može uticati na rezultat. S toga, nekada je potrebno je konvertovati jedinice, kako bi se izračunavanje moglo sprovesti. Primer 4.3 ilustruje upotrebu jednačina 4.5 i 4.6.

Primer 4.3. Izračunati godišnju emisiju HF iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemijskih proizvoda. Data je vrednost koncentracije HF od 15,4 cm³/m³ i molekulska težina polutanta 17 g/mol. Takođe, poznati su sledeći podaci: realan protok gasa 8,48 m³/s; broj radnih sati postrojenja u toku godine 1760 h/god i temperatura 25°C.

Korak 1. Izračunati emisiju HF po satu

$$\begin{aligned} E_i &= \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{22,4 \times \frac{T + 273}{273} \times 10^6} \\ &= \frac{15,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \times 17 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{22,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \times \frac{25 + 273 \text{ K}}{273 \text{ K}} \times 10^6} \\ &= 3,27 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Korak 2. Izračunati godišnju emisiju HF

$$\begin{aligned} E_{kpy,HF} &= E_{HF} \times OpHrs = 3,27 \times 10^{-1} \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1760 \frac{\text{h}}{\text{god}} \\ &= 575,5 \frac{\text{kg}}{\text{god}} \end{aligned}$$

Ukoliko postrojenje emituje određenu količinu polutanata u vodu, tada će se emisija računati na osnovu jednačine 4.7.

$$E_{kgy,i} = \frac{C_i \times V \times OpHrs}{10^6} \quad (4.7)$$

gde je:

$E_{kgy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

C_i - koncentracija polutanta i u otpadnoj vodi (mg/l)

V - zapremina otpadne vode u jednom satu (l/h)

$OpHrs$ - broj radnih sati postrojenja u jednoj godini (h/god)

10^6 - konverzioni faktor (mg/kg)

4.2. Primena masenog bilansa za izračunavanje emisija

Maseni bilans za proračun VOC i specifičnih organskih i neorganskih polutanata prikazan je jednačinom 4.8.

$$E_i = (Q_{in} - Q_{out}) \times C_i \quad (4.8)$$

gde je:

E_i - ukupna emisija polutanta i po satu (kg/h)

Q_{in} - materijal koji ulazi u proces (l/h)

Q_{out} - materijal koji izlazi iz procesa kao otpad, kao produkt ili se reciklira (l/h)

C_i - koncentracija polutanta i (kg/l)

Pod izrazom Q_{out} podrazumeva se sve što napušta proces proizvodnje u obliku otpadnih voda ili opasnog otpada. Primer 4.4 ilustruje primenu jednačine 4.8.

Primer 4.4. Izračunati emisiju volatilnih organskih komponenti za nereaktivne komponente u procesu koji se dodaju u toku procesa proizvodnje. Poznato je da u proces ulazi 6 l/h materijala, iz procesa izlazi 4 l/h produkta, a koncentracija VOC je 0,85 kg/l

$$\begin{aligned} E_{VOC} &= (Q_{in} - Q_{out}) \times C_{VOC} = \left(6 \frac{l}{h} - 4 \frac{l}{h}\right) \times 0,85 \frac{kg}{l} \\ &= 1,7 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

U procesima gde su koncentracije polutanata različite u procesu proizvodnje i otpadnom materijalu, može se koristiti jednačina 4.9.

$$E_i = Q_{in} \times C_{in} - Q_{pr} \times C_{pr} - Q_{rec} \times C_{rec} \quad (4.9)$$

gde je

E_i - ukupna emisija polutanta i (kg/h)

Q_{in} - materijal koji ulazi u proces (l/h)

Q_{pr} - količina materijala koja napušta proces u obliku proizvoda (l/h)

Q_{rec} - materijal koji napušta proces kao otpad, (l/h)

C_{in} -koncentracija polutanta i u Q_{in} (kg/l)

C_{pr} - koncentracija polutanta i u Q_{pr} (kg/l)

C_{rec} - koncentracija polutanta i u Q_{rec} (kg/l)

Specifična emisija VOC može biti procenjena na osnovu jednačine 4.10. ukoliko su poznate vrednosti gustine materijala i težina polutanta u materijalu. Primer je dat u nastavku teksta (Primer 4.5)

$$E_i = \frac{(Q_{in} - Q_{out}) \times \rho_m \times \text{wt}\%}{100} \quad (4.10)$$

gde je

E_i - ukupna emisija polutanta i (kg/h)

Q_{in} - materijal koji ulazi u proces (l/h)

Q_{out} - materijal koji izlazi iz procesa kao otpad, produkt ili se reciklira (l/h)

ρ_m - gustina materijala (kg/l)

wt% - težina polutanta i u materijalu (%)

100 – konverzioni faktor (%)

Primer 4.5. U proces ulazi 6 l/h materijala. Iz procesa izlazi 4 l/h produkta. Ukoliko je poznato da taj materijal sadrži 25% toluena i da je njegova gustina 0,87 kg/l porebno je izračunati emisiju toluena.

$$\begin{aligned} E_{toluen} &= \frac{(Q_{in} - Q_{out}) \times \rho_m \times (\text{wt}\%_{toluen})}{100} \\ &= \frac{\left(6 \frac{l}{h} - 4 \frac{l}{h}\right) \times 0,87 \frac{kg}{l} \times 25\%}{100\%} = 0,435 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Emisija otpadnih voda. Ukoliko podaci o monitoringu otpadnih voda ne postoje, emisija u procesne vode se može izračunati preko masenog bilansa proizvodnog procesa, na način kako je prikazano jednačinom 4.11.

$$E_{kpy,i} = Q_{in} - Q_{out} \quad (4.11)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ - emisija polutanta i (kg/god)

Q_{in} - materijal koji ulazi u proces (kg/god)

Q_{out} - materijal koji izlazi iz procesa kao otpad, reciklira se ili kao produkt (kg/god)

Emisija čvrstog otpada. U toku tretmana otpadnih voda polutanti se često nađu u mulju. Postrojenja su u obavezi da prate i vrše monitoring koncentracije polutanata u mulju koji napušta proces, kako bi se mogla proceniti emisija u kg. Alternativno, količina polutanata u mulju koji napušta proces može se izračunati upotrebom jednačine 4.12.

$$AS_{kpy,i} = (PL_i - WL_i) \times OpHrs \quad (4.12)$$

gde je:

$AS_{kpy,i}$ - količina polutanta i u mulju (kg/god)

PL_i - gubitak polutanta i u toku procesa (kg/h)

WL_i - gubitak polutanta i u tretmanu otpadnih voda (kg/h)

$OpHrs$ - broj radnih sati postrojenja u jednoj godini (h/god)

Veliki broj hemikalija koje se emituju tokom procesa proizvodnje neorganskih hemikalija, može da podleže procesima degradacije, tako da do transfera polutanta u mulj neće ni doći. Postrojenja mogu proceniti koncentraciju polutanata u mulju ili direktnim merenjem ili merenjem koncentracije polutanata koja je biodegradabilna. Ukoliko podaci o biodegradiranoj količini polutanata nisu dostupni i ne mogu se izmeriti, rukovodstvo postrojenja mora da pretpostavi da je sva količina polutanata koja je uklonjena u procesu obrade otpadne vode adsorbovana na mulju.

4.3. Primena emisionih faktora za izračunavanje emisija

U ovom priručniku, dati su emisioni faktori za emisiju u atmosferu, vodu, kao i emisioni faktori čvrstog otpada. Emisioni faktori se kvantifikuju u kg polutanta emitovanog iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemikalija produkovanih u toku godine. Emisioni faktori se koriste za procenu emisije

postrojenja upotrebom jednačine 4.13. Primer upotrebe ove jednačine dat je primerom 4.6.

$$E_{kpy,i} = AR \times OpHrs \times EF \times \left(1 - \frac{CE}{100}\right) \quad (4.13)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

AR - nivo aktivnosti (t/h)

OpHrs - broj radnih sati postrojenja u jednoj godini (h/god)

EF - emisioni faktor nekontrolisane emisije polutanta i (kg/t)

CE - ukupna kontrola efikasnosti procesa za polutant i (%)

Primer 4.6. Poznato je da se 0,157 kg žive emituje u otpadne vode iz nekontrolisanih izvora emisije po toni proizvedenog gasa hlora iz postrojenja za proizvodnju hlor-alkalnih proizvoda (AR=0,33 t/h). Tokom godine postrojenje radi 5400 h i proizvede 1685 t hlora. Fabrika takođe ima postrojenje za prečišćavanje otpadne vode koja reciklira 98% žive *on site*. Izračunati emisiju žive.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= AR \times OpHrs \times EF \times \left(1 - \frac{CE}{100}\right) \\ &= \left(0,33 \frac{t}{h} \times 5400 \frac{h}{god}\right) \times 0,157 \frac{kg}{t} \times \left(1 - \frac{98}{100}\right) \\ &= 5,3 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

4.4. Primena inženjerskog proračuna za izračunavanje emisija

Emisija VOC koja se javlja kao rezultat dodatka organskih rastvarača može biti izračunata preko jednačine gubitka sirovine. Jednačina 4.14, može biti primenjena na sve vrste tankova i sve vrste operacija koje uključuju upotrebu organskih rastvarača (primer 4.7). Bitno je napomenuti da nije pogodna za procenu emisije usled dodatka amonijaka, mineralnih komponenti ili neke druge vrste neorganskih komponenti.

$$E_{kpy,VOC} = 0,1203 \times \frac{S \times P \times M \times V_m}{T} \quad (4.14)$$

gde je:

$E_{kpy,VOC}$ – ukupna godišnja emisija VOC (kg/god)

S - faktor zasićenja (nema jedinica), iz literature

P - pritisak pare materijala koji se koristi u procesu proizvodnje na temperaturi T (kPa)

M - molarna masa pare (kg/mol)

V_m - zapremina materijala koji se koristi u procesu proizvodnje (l/god)

T - temperatura, K

0,1203 – konstanta (mol x K)/(kPa x l)

Proračun emisije VOC na osnovu jednačine 4.14 zasnovan je na sledećim pretpostavkama:

- Gasovi koji izlaze iz procesa su posledica konverzije ulaznih sirovina
- Zapremina gasova koji izlaze iz procesa je identična zapremini organskih rastvarača koji ulaze u proces
- Para unutar reaktora je zasićena na sobnoj temperaturi
- Svi dodaci rastvarača se vrše na konstantnoj temperaturi

Ukoliko se smeša organskih rastvarača koristi kao rastvor, tada se pritisak pare računa prema jednačini 4.15:

$$P = \sum P_i \quad (4.15)$$

gde je:

P – pritisak pare materijala koji se koristi u procesu (kPa)

P_i – parcijalni pritisak VOC (kPa)

P_i se takođe može računati upotrebom Raulovog zakona (za idealne smeše) ili Henrijevim zakonom, ukoliko su gasovi rastvoreni u niskim koncentracijama u vodi. Raulov zakon je dat jednačinom 4.16.

$$P_i = m_i \times VP_i \quad (4.16)$$

gde je :

P_i - parcijalni pritisak VOC (kPa)

m_i – molski udeo VOC u tečnoj fazi (mol/mol)

VP_i – pritisak čistih komponenti VOC (kPa)

P_i se može izračunati i primenom Henrijevog zakona, jednačina 4.17.

$$P_i = m_i \times H_i \quad (4.17)$$

gde je:

P_i - parcijalni pritisak VOC (kPa)

m_i - molski udeo VOC u tečnoj fazi (mol/mol)

H_i – Henrijeva konstanta za VOC (kPa)

Udeo VOC u tečnoj fazi, mol/mol, može biti izračunata na osnovu jednačine 4.18.

$$m_i = \frac{\left(\frac{z}{MW}\right)}{\sum \frac{z}{MW}} \quad (4.18)$$

gde je:

m_i - molski udeo VOC u tečnoj fazi (mol/mol)

z - masena udeo VOC u tečnoj fazi (kg/kg)

MW - molarna masa VOC (g/mol)

Ukoliko se koristi veći broj rastvarača, potrebno je izračunati i molekulsku masu pare (M) koristeći jednačinu 4.19.

$$M = \sum (y \times MW) \quad (4.19)$$

gde je:

M – molarna masa pare (g/mol)

y – molski udeo VOC u gasovitoj fazi (mol/mol)

MW – molarna masa VOC (g/mol)

Molska udeo VOC u gasovitoj fazi se računa na sledeći način:

$$y = \frac{P_i}{P} \quad (4.20)$$

gde je :

y_i – molski udeo VOC u gasovitoj fazi (mol/mol)

P_i – parcijalni pritisak VOC (kPa) (računa se na osnovu jednačine 4.16 ili 4.17)

P – pritisak pare materijala koji se koristi procesu (kPa) (računa se na osnovu jednačine 4.15)

Specifična emisija VOC se može izračunati na osnovu jednačine 4.21:

$$E_{kpy,i} = E_{kpy,VOC} \times x \quad (4.21)$$

gde je

$E_{kpy,i}$ - emisija VOC (kg/god)

$E_{kpy, VOC}$ - ukupna emisija VOC (kg/god)

x – maseni udeo VOC u gasovitoj fazi (kg/kg)

Masena udeo VOC u gasovitoj fazi se računa prema jednačini 4.22:

$$x = \frac{y \times MW}{M} \quad (4.22)$$

gde je:

x – maseni udeo VOC u tečnoj fazi (kg/kg)

y – molski udeo VOC u gasovitoj fazi (mol/mol) (jednačina 4.20)

MW – molarna masa VOC (kg/mol)

M – molarna masa pare (kg/mol) (jednačina 4.19)

Primer 4.7. Izračunati emisiju na osnovu poznatih ulaznih parametara

Hemijsko postrojenje redovno koristi organske rastvarače za process proizvodnje neorganskih komponenti. Sledeći podaci su dati:

- Godišnja potrošnja smeše (Q) je 600 000 litara
- Odnos u smeši je 50/50 (po težini) toluena i n-heptana
- Smeša rastvarača se pušta u proces ($S = 1.45$, iz literature)
- Temperatura rastvača je 298 K (25°C)

Korak 1. Izračunati molski udeo komponenti u tečnoj fazi (m_i)

Komponenta i	Masena udeo u tečnoj fazi, z (kg i/kg tečnosti)	Molarna masa, MW (g/mol)	Molski udeo u tečnoj fazi, m_i (mol i/mol tečnosti)
Toluen (C ₇ H ₈)	0,5	92	$\frac{\left(\frac{z}{MW}\right)}{\sum \frac{z}{MW}} = \frac{\frac{0,5 \frac{kg}{kg}}{92 \frac{g}{mol}}}{\frac{0,5 \frac{kg}{kg}}{92 \frac{g}{mol}} + \frac{0,5 \frac{kg}{kg}}{100 \frac{g}{mol}}} = 0,52 \frac{mol}{mol}$
n-Heptan (C ₇ H ₁₆)	0,5	100	$\frac{\left(\frac{z_i}{MW_i}\right)}{\sum \frac{z_i}{MW_i}} = \frac{\frac{0,5 \frac{kg}{kg}}{100 \frac{g}{mol}}}{\frac{0,5 \frac{kg}{kg}}{92 \frac{g}{mol}} + \frac{0,5 \frac{kg}{kg}}{100 \frac{g}{mol}}} = 0,48 \frac{mol}{mol}$

Korak 2. Izračunati parcijalni pritisak (P_i)

Komponenta i	Molski udeo u tečnoj fazi, m_i (mol i/mol tečnosti)	Pritisak čiste komponente, VP_i (kPa)	Parcijalni pritisak, P_i (kPa)
Toluen (C ₇ H ₈)	0,52	4,0	$P_i = m_i \times VP_i = 0,52 \frac{mol}{mol} \times 4,0 \text{ kPa} = 2,08 \text{ kPa}$
n-Heptan (C ₇ H ₁₆)	0,48	6,2	$P_i = m_i \times VP_i = 0,48 \frac{mol}{mol} \times 6,2 \text{ kPa} = 2,98 \text{ kPa}$

Korak 3. Izračunati ukupan pritisak pare (P)

$$P = \sum P_i = 2,08 \text{ kPa} + 2,98 \text{ kPa} = 5,06 \text{ kPa}$$

Korak 4. Izračunati pritisak molskog udela komponenti u gasnoj fazi (y_i)

Komponenta i	Parcijalni pritisak, P_i (kPa)	Ukupna pritisak pare, P (kPa)	Pritisak molskog udela komponenti, y_i (mol i/mol pare)
Toluen (C_7H_8)	2,08	5,06	$\frac{P_i}{P} = \frac{2,08 \text{ kPa}}{5,06 \text{ kPa}}$ $= 0,41 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$
n-Heptan (C_7H_{16})	2,98	5,06	$\frac{P_i}{P} = \frac{2,98 \text{ kPa}}{5,06 \text{ kPa}}$ $= 0,59 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$

Korak 5. Izračunati molarnu masu pare (M)

$$\begin{aligned}
 M &= \sum (y \times MW) \\
 &= \left(0,41 \frac{\text{mol}}{\text{mol}} \times 92 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + \left(0,59 \frac{\text{mol}}{\text{mol}} \times 100 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \\
 &= 97 \frac{\text{g}}{\text{mol}}
 \end{aligned}$$

Korak 6. Izračunati maseni udeo komponenti u tečnoj fazi (x)

Komponenta i	Molski udeo u gasovitoj fazi, y (mol i/mol pare)	Molekulska težina, MW (g/mol)	Maseni udeo u tečnoj fazi, x (kg i/kg pare)
Toluen (C_7H_8)	0,41	92	$\frac{y \times MW}{M}$ $= \frac{0,41 \frac{\text{mol}}{\text{mol}} \times 92 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{97 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}$ $= 0,39 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$
n-Heptan (C_7H_{16})	0,59	100	$\frac{y \times MW}{M}$ $= \frac{0,59 \frac{\text{mol}}{\text{mol}} \times 100 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{97 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}$ $= 0,61 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$

Korak 7. Izračunati ukupnu emisiju VOC ($E_{kpy,VOC}$)

$$\begin{aligned}
 E_{kpy,VOC} &= 0,1203 \times \frac{S \times P \times M \times V_m}{T} \\
 &= 0,1203 \frac{\text{mol} \times K}{\text{kPa} \times l} \\
 &\times \frac{(1,45 \times 5,06 \text{ kPa} \times 97 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 600 \frac{l}{god})}{298 K} \\
 &= 0,172 \frac{\text{kg}}{god}
 \end{aligned}$$

Korak 8. Izračunati specifičnu emisiju $E_{kpy,tolen}$ i $E_{n-heptan,i}$ $E_{kpy,i} = E_{kpy,VOC} \times x_i$			
Komponenta i	Emisija VOC, $E_{kpy,VOC}$ (kg VOC)	Maseni udeo u tečnoj fazi, x_i (kg i/kg pare)	Specifična emisija polutanata, $E_{kpy,i}$ (kg i/god)
Toluen (C ₇ H ₈)	0,41	0,39	$\begin{aligned} & E_{kpy,VOC} \times x_{toluen} \\ &= 0,172 \frac{kg}{god} \times 0,39 \frac{kg}{kg} \\ &= 0,06 \frac{kg \text{ toluena}}{god} \end{aligned}$
n-Heptan (C ₇ H ₁₆)	0,59	0,61	$\begin{aligned} & E_{kpy,VOC} \times x_{n-heptan} \\ &= 0,172 \frac{kg}{god} \times 0,61 \frac{kg}{kg} \\ &= 0,105 \frac{kg \text{ n-heptana}}{god} \end{aligned}$

Proračun emisije upotrebom kinetike masenog transfera (primer 4.8).

Proračun emisije upotrebom kinetike masenog transfera prikazan je jednačinom 4.23:

$$W = \frac{MW \times K_i \times površina \times P_{vap,i} \times 3600 \times OpHrs}{R \times T} \quad (4.23)$$

gde je:

W_i - brzina isparavanja polutanta i (kg/god)

MW - molarna masa polutanta (kg/mol)

K_i - koeficijent masenog transfera za određenu komponentu i (m/s)

$$[0,00438 * (0,62138 * U)^{0.78} * (18/MW)^{1/3}] / 3,2808$$

U - brzina vetra (km/h)

Površina - površina (m²)

$P_{vap,i}$ - pritisak para poluanta i (kPa)

3600 - 3600 sekundi u jednom satu

OpHrs - broj radnih sati u godini (h/god)

R - univerzalna gasna konstanta (8,314 kPa x m³ / mol x K)

T - temperatura (K)

Primer 4.8. Na osnovu poznatih podataka proceniti emisiju metanola primenom jednačine 4.23. Molarna masa metanola je 32 g/mol, brzina vetra 7,24 km/h, površina je 0,6 m², pritisak pare polutanta 13,16 kPa, a radno vreme postrojenja 1000 h/god.

Za proračun je takođe bitno da je temperatura 296 K i univerzalna gasna konstanta 8,314 kPa x m³/mol x K.

Korak 1. Izračunati koeficijent masenog transfera, K_i :

$$K_i = \frac{\left[0,00438 \times (0,62138 \times U)^{0,78} \times \left(\frac{18}{MW} \right)^{\frac{1}{3}} \right]}{3,2808} =$$

$$\frac{\left[0,00438 \times (0,62138 \times 7,24 \frac{km}{h})^{0,78} \times \left(\frac{18}{32 \times 10^{-3} \frac{kg}{mol}} \right)^{\frac{1}{3}} \right]}{3,2808}$$

$$= 0,0348 \text{ m/s}$$

Korak 2. Izračunati brzinu isparavanja polutanta, W_i :

$$W_i = \frac{MW \times K_i \times površina \times P_{vap,i} \times 3600 \times OpHrs}{R \times T}$$

$$= \frac{32 \times 10^{-3} \frac{kg}{mol} \times 0,0348 \frac{m}{s} \times 0,6 \text{ m}^2 \times 13,16 \text{ kPa} \times 3600 \frac{s}{h} \times 1000 \frac{h}{god}}{8,314 \frac{kPa \text{ m}^3}{mol \text{ K}} \times 296 \text{ K}}$$

$$= 12,86 \frac{kg}{god}$$

Za procenu emisije polutanata nastalih izlivanjem tečnih hemikalija na nekoj površini (primer 4.9), može se koristiti jednačina 4.24:

$$E_i = \frac{MW \times K_i \times površina \times P_i \times 3600 \times HR}{R \times T} \quad (4.24)$$

gde je:

E_i - emisija specifične VOC komponente i iz mrlje (kg/događaju)

MW – molarna masa specifične komponente (g/mol)

K_i - koeficijent masenog transfera za određenu komponentu i (m/s)

Površina - površina mrlje (m²)

P_i - parcijalni pritisak komponente (ukoliko je mrlja posledica izlivanja jedne hemikalije) ili parcijalni pritisak smeše, (ukoliko je mrlja posledica izlivanja više hemikalija) na temperaturi T (kPa)

3600 – 3600 sekundi u jednom satu

HR – trajanje izlivanja (h/događaju)

R - univerzalna gasna konstanta na 101,3 kPa ($8,314 \text{ kPa} \times \text{m}^3 / \text{mol} \times \text{K}$)

T – temperatura tečne mrlje (K)

Koeficijent masenog transfera za određenu komponentu K_i , može biti izračunat preko jednačine 4.25:

$$K_i = \frac{0,00438 \times (0,62138 \times U)^{0,78} \times \left(\frac{D_i}{3,1 \times 10^{-4}}\right)^{\frac{2}{3}}}{3,2808} \quad (4.25)$$

gde je

K_i - koeficijent masenog transfera za određenu komponentu i (m/s)

U - brzina vetra (km/h)

D_i – koeficijent difuzije komponente i u vazduhu (cm^2/s)

Koeficijent difuzije (D_i) može se pronaći u literaturi i obično se izražava kao cm^2/s . Ukoliko je koeficijent difuzije posmatrane komponente nepoznat, koeficijent masenog transfera za određenu komponentu se može izračunati na način naveden u jednačini 4.23.

Primer 4.9. Metiletil-keton (MEK) je izliven na zemljište. Dati su sledeći podaci: (i) Mrlja je detektovana sat vremena nakon izlivanja, 2 sata je bilo potrebno da se skupi zaostali MEK sa zemljišta. S toga je MEK bio u kontaktu sa zemljištem 3 sata; (ii) Prosečna brzina vetra (U) iznosila je 33,6 km/h; (iii) Temperatura vazduha (T) je iznosila 298 K (25°C); (iv) Površina mrlje je 11 m^2 ; (v) Molekulska težina MEK (MW) je 72 g/mol i (vi) Parcijalni pritisak MEK (P_i) na 298K je 13,31 kPa.

Izračunati emisiju MEK upotrebom jednačine 4.23.

$$K_i = \frac{0,00483 \times \left((0,62138 \times 33,6 \frac{\text{km}}{\text{h}})^{0,78} \times \left(\frac{18}{72 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)}{3,2808} =$$

$$= 0,3194 \text{ m/s}$$

$$E_i = \frac{\left(72 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 0,3194 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 11 \text{ m}^2 \times 13,31 \text{ kPa} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 3 \frac{\text{h}}{\text{događaju}} \right)}{8,314 \frac{\text{kPa} \times \text{m}^3}{\text{mol} \times \text{K}} \times 298 \text{ K}}$$

$$= 427,35 \frac{\text{kgMEK}}{\text{događaju}}$$

Emisija koja se javlja kao posledica površinskih isparavanja (primer 4.10) u toku procesa mešanja organskih rastvarača može se izračunati prema jednačini 4.26. Primena ove jednačine data je u primeru 4.10.

$$E_{kpy,i} = \frac{MW \times K_i \times površina \times P_i \times 3600 \times H}{R \times T} \times B \quad (4.26)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija komponente i (kg/god)

MW – molekulska težina komponente i (kg/mol)

K_i – koeficijent masenog transfera za određenu komponentu i (m/s)
(jednačina 4.23 i/ili 4.25)

Površina - površina mrlje (m^2)

P_i – parcijalni pritisak komponente (ukoliko je mrlja posledica izlivanja jedne hemikalije) ili parcijalni pritisak smeše, (ukoliko je mrlja posledica izlivanja više hemikalija) na temperaturi T (kPa)

H – trajanje izlivanja (h/događaju)

R – univerzalna gasna konstanta na 101,3 kPa ($8,314 \text{ kPa} \times m^3 / mol \times K$)

T – temperatura tečne mrlje (K)

B – broj izlivanja u toku godine

Ukupna VOC emisija jednaka je zbiru emisije VOC iz svih izvora emisije.

Primer 4.4. Izračunati emisiju koja se javlja kao posledica površinskih isparavanja ukoliko su poznati sledeći podaci: (i) Trajanje izlivanja (H) 4 sata; (ii) Broj izlivanja u toku godine (B) 550; (iii) Prosečna brzina vetra (U) 1,28 km/h; (iv) Temperatura (T) je 298K (25°C); (v) Površina obuhvaćena izlivanjem 8,75 m^2 ; (vi) Molekulska masa tolenu (MW) je 92 kg/kg mol; (vii) Parcijalni pritisak toluena (P_i) je 298 K (25°C) je prosečno 4kPa

$$K_i = \frac{(0,00483) \times \left((0,62138 \times U)^{0,78} \times \left(\frac{18}{MW} \right)^{\frac{1}{3}} \right)}{3,2808}$$

$$= \frac{(0,00483) \times \left((0,62138 \times 1,28 \frac{km}{h})^{0,78} \times \left(\frac{18}{92 \times 10^{-3} \frac{kg}{mol}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)}{3,2808}$$

$$= 70,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$E_i = \frac{MW \times K_i \times površina \times P_i \times 3600 \times HR}{R \times T}$$

$$= \frac{\left(92 \times 10^{-3} \frac{kg}{mol} \times 70,5 \times 10^{-4} \frac{m}{s} \times 8,75 m^2 \times 4 \text{ kPa} \times 3600 \frac{s}{h} \times 4 \frac{h}{\text{događaj}} \right)}{8,314 \frac{kPa \times m^3}{mol \times K} \times 298 K}$$

$$= 13,2 \times 10^{-3} \frac{kg}{\text{događaju}}$$

Procena fugitivne emisije. Značajan je napredak postignut u smanjenju kanalne emisije (iz dimnjaka, iz kanala, iz cevi), tako da su ostali vidovi emisije značajno dobili na važnosti, na primer, difuzne (tačkasta, linijska, sa površina ili zapreminska) i fugitivne (razna curenja na spojevima) emisije su sada u žiži interesovanja. Ustanovljeno je da ovakve vrste emisije mogu značajno da ugroze životnu sredinu i zdravlje ljudi, a da gubici koji nastaju na taj način mogu da budu ekonomski značajni. Na sličan način pažnja se posvećuje i izuzetnim emisijama koje se mogu dalje klasifikovati kao predvidive (na primer, tokom opravke) i nepredvidive (havarije).

Skrining podaci se prikupljaju upotrebom prenosnih monitoring sistema, uzorkovanjem vazduha sa mesta gde se sumnja da je došlo do fugitivne emisije. Skrinig vrednost (SV) je vrednost koncentracije komponente koja je emitovana u vazduh i koristi se kao indikacija da je do emisije došlo. Takođe, surogat merenja se mogu koristiti za procenu emisije neorganskih komponenti. Na primer, kalijum jodid (KI) ili slične soli se mogu koristiti kao indikator emisije iz proizvodnje kiselina (HCl, HF). Jednačina 4.27 ilustruje pristup procene emisije upotrebom podataka iz tabele 4.2. Primer upotrebe ovakvog načina procene dat je u primeru 4.11.

$$E_{kpy,i} = ER \times \frac{C_i}{100} \times OpHrs \quad (4.27)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – masena emisija polutanta i izračunata upotrebom skrining vrednosti, emisionih faktora ili korelacione jednačine (kg/izvoru)

ER – brzina emisije (kg/h/izvoru)

C_i – koncentracija neorganskog polutanta i u postrojenju (%)

OpHrs – vreme rada postrojenja (h/god)

Tabela 4.2. Korelacione jednačine, standardni nulti nivoi emisije i koeficijenti emisije vezane za procenu fugitivne emisije

Tip opreme	Standardni nulti nivo emisije (kg/h/izvor)	Koeficijenti emisije vezane za procenu fugitivne emisije (kg/h po izvoru)		Korelacione jednačine (kg/h po izvoru)
		10 000	100 000	
Ventili za gas	$6,6 \times 10^{-7}$	0,024	0,11	$LR^* = 1,87 \times 10^{-6} \times (SV)^{0,873}$
Ventili za tečnost	$4,9 \times 10^{-7}$	0,036	0,15	$LR = 6,41 \times 10^{-6} \times (SV)^{0,797}$
Pumpe za tečnost	$7,5 \times 10^{-6}$	0,14	0,62	$LR = 1,90 \times 10^{-5} \times (SV)^{0,824}$
Konektori	$6,1 \times 10^{-7}$	0,044	0,22	$LR = 1,87 \times 10^{-6} \times (SV)^{0,885}$

*LR – stopa curenja

SV- skrining vrednost (kg/h). Za procenu emisije koristiti standardni nulti nivo emisije samo u slučaju kada je skrining vrednost jednaka 0,0 kg/h; u suprotnom potrebno je koristiti korelacione jednačine. Ukoliko se u monitoringu registruju neke dodatne emisije koristiti adekvatne koeficijenti emisije vezane za procenu fugitivne emisije

Primer 4.11. Izračunati fugitivnu emisiju iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemijskih proizvoda ukoliko je poznato da pumpa za tečnost radi sa 80% HCl rastvora. Pumpa radi 8760 sati godišnje

Primer 4.11.1. Skrining vrednost jednaka 0,0 kg/h

OpHrs = 8760 h/god

SV = 0,0 kg/h

Standardni nulti nivo emisije = $7,5 \times 10^{-6}$ kg/h/izvor

$$E_{HCl} = ER_{HCl} \times \frac{C_{HCl}}{100} \times t = 7,5 \times 10^{-6} \frac{kg}{h} \times \frac{80}{100} \times 8760 \frac{h}{god}$$

$$= 5,26 \times 10^{-2} \frac{kg}{god}$$

Primer 4.11.2. Skrining vrednost jednaka 20,0 kg/h

OpHrs = 8760 h/god

SV = 20 kg/h

$LR(HCl) = 1,90 \times 10^{-5} \times (20)^{0,824} = 2,24 \times 10^{-4}$ kg/h

$$E_{HCl} = 2,24 \times 10^{-4} \frac{kg}{h} \times \frac{80}{100} \times 8760 \frac{h}{god} = 1,57 \frac{kg}{god}$$

ZADACI:

1. Hemijsko postrojenje redovno koristi organske rastvarače za proces proizvodnje neorganskih komponenti. Sledeći podaci su dati:

- Godišnja potrošnja smeše (Q) je 450 000 litara
- Odnos u smeši je 48/52 (po težini) toluena i n-heptana
- Smeša rastvarača se pušta u proces ($S = 1,45$, iz literature)
- Temperatura rastvača je 298 K (25°C)

Potrebno je:

- (i) Izračunati molski udeo komponenti u tečnoj fazi
- (ii) Izračunati parcijalni pritisak obe komponente
- (iii) Izračunati ukupan pritisak pare
- (iv) Izračunati molski udeo komponenti u gasovitoj fazi
- (v) Izračunati molarnu masu pare
- (vi) Izračunati maseni udeo komponenti u tečnoj fazi za obe komponente
- (vii) Izračunati ukupnu emisiju VOC
- (viii) Izračunati specifičnu godišnju emisiju za obe komponente

Izrada:

2. Ukoliko se zna da je brzina vetra 4,24 km/h, površina zahvaćena mrljom 1 m², i pritisak pare polutanta 10,19 kPa proceniti emisiju toluena. Fabrika radi 1000 sati godišnje, a temperatura gasa koji se koristi je 296 K.

Izrada:

3. Izračunati fugitivnu emisiju iz postrojenja za proizvodnju neorganskih hemijskih proizvoda ukoliko je poznato da ventili za tečnost rade sa 70% HCl rastvora. Ventili rade 6950 sati godišnje. Potrebno je izračunati emisiju prilikom skrining vrednosti 0,0 kg/h i 15 kg/h. Potrebni podaci dati su u tabeli 4.2.

Izrada:

4. Upotrebom dobijenih rezultata merenja iz tabele 4.1. potrebno je izračunati emisiju PM prilikom merenja 2 i 3, ukoliko je poznato da je temperatura izduvnih gasova 150°C.

Izrada:

5. Izračunati VOC emisiju za nereaktivne komponente u procesu koji se dodaju u toku procesa proizvodnje ukoliko je poznato da je količina ulaznih komponenti 12 l/h, a da iz procesa izlazi 5 l/h produkta. Koncentracija VOC je 0,65 kgVOC/l.

Izrada:

6. Poznato je da se 0,046 kg žive emituje u otpadne vode iz nekontrolisanih izvora emisije po toni proizvedenog gasa hlora iz postrojenja za proizvodnju hlor-alkalnih proizvoda ($AR=0,33 \text{ t/h}$). Tokom godine postrojenje radi 2500 h i proizvede 1 685 t hlora. Fabrika takođe ima postrojenje za prečišćavanje otpadne vode koja reciklira 98% žive on site. Izračunati emisiju žive.

Izrada

Beleške:

5. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ORGANSKIH HEMIJSKIH PROIZVODA

Hemijska industrija je generalno poznata kao složeni industrijski sektor sa velikim brojem raznovrsnih proizvoda. Oko 70000 hemijskih jedinjenja se proizvodi u svetu, svako jedinjenje ima posebne karakteristike, hemijsku prirodu, proizvodni tok i krajnju upotrebu. Procenjeno je da je u organskoj hemiji sintetisano oko 16 miliona organskih jedinjenja. Raznovrsnost i kompleksnost hemijske industrije zahteva primenu najboljih dostupnih tehnika, odnosno BAT pristupa za svaki pojedinačni hemijski proces (ili proizvod). Slični ili povezani procesi/proizvodi se stoga grupišu, radi lakšeg upravljanja proizvodnjom i otpadnim tokovima iz ove industrije. Iz tog razloga organska hemijska industrija se deli na tri podgrupe: (1) proizvodnja osnovnih organskih hemikalija koje se proizvode u velikim količinama (*eng. large volume organic chemistry industry* - LVOC); (2) fine organske hemikalije; i (3) polimeri. Glavne zagađujuće materije vazduha iz industrije organskih hemikalija su VOC, ali emisije prašine, kiseli i dimni gasovi su takođe značajni.

5.1. Primena direktnih merenja i kontinualnog monitoringa za procenu emisije polutanata

Važno je napomenuti da postrojenja vrše monitoring velikog broja parametara:

- Zapreminski protok (produkata, otpada, otpadnih voda)
- Brzina protoka
- Sastav tokova

- Sastav proizvoda i otpada
- Karakteristike proizvoda i otpada

U najvećem broju slučajeva, ukoliko se ovi podaci koriste kao osnova za izračunavanje emisije, dobijeni rezultati će biti reprezentativni (Primer 5.1.)

Emisija se računa na osnovu jednačine 5.1. koja glasi:

$$E = Q \times OpHrs \times C \quad (5.1)$$

gde je:

E – emisija polutanta (kg/god)

C – koncentracija polutanta (kg/m³)

OpHrs – broj radnih sati u toku godine (h/god) (prilikom računa u obzir uzeti i podatak da 1 sat ima 3600 sekundi, pa će jedinica biti s/god)

Q – realan protok gasa (m³/s)

Primer 5.1. Izračunaj emisiju benzena ukoliko su vam poznati sledeći podaci: protok gasa 30 m³/s i merena koncentracija benzena je 0,01 mg/m³. Poznato je i da postrojenje radi 24 sata dnevno, 300 dana godišnje.

$$\begin{aligned} E &= Q \times OpHrs \times C \\ &= 30 \frac{m^3}{s} \times \left(24 \frac{h}{dan} \times 3600 \frac{s}{h} \times 300 \frac{dan}{god} \right) \\ &\times 0,01 \frac{mg}{m^3} = 7\,776\,000 \frac{mg}{god} = 7\,776 \frac{g}{god} \\ &= 7,8 \, kg/god \end{aligned}$$

Monitoring podrazumeva gore navedenu emisiju u vazduh, ali i:

- Ispuštanje u vodu: ispuštanje supstanci u kanalizaciju, odlaganje na zemljište i uklanjanje supstanci iz postrojenja u cilju destrukcije, tretmana, reciklaže ili prečišćavanja
- Uticaj na zemljište: monitoring podzemne vode, izlivanja i odlaganje “on site”
- Monitoring podzemne vode: neka postrojenja prate kvalitet podzemnih voda, kao sastavni deo monitoringa u cilju procene karakteristika tokova koji napuštaju proces. Ovo uključuje utvrđivanje koncentracija različitih parametara u uzvodnom i nizvodnom toku, ali i informacije o protoku podzemnih voda, kako

bi se utvrdilo u kojoj meri ispuštanje tokova iz postrojenja ima uticaj na kvalitet podzemnih voda.

Izlivanja. Za veliki broj postrojenja, primarni izvor emisije jeste izlivanje tečnosti iz postrojenja. Akcidentna izlivanja mogu direktno doprineti zagađivanju zemljišta, zagađenju vodotokova (spiranjem), kao i zagađenju vazduha. Bitnu ulogu prilikom određivanja sudbine polutanata dospelih u životnu sredinu izlivanjem na zemljište igraju sledeći faktori: temperatura, kontaktno vreme između izlivena materije i zemljišta, poroznost zemljišta, itd. Brzina isparavanja komponenti u atmosferu data je jednačinom 5.2:

$$E_i = 1,2 \times 10^{-10} \left(\frac{M(p_i^o)}{T} \right) u^{0,78} x^{0,89} y \quad (5.2)$$

gde je:

E_i – brzina isparavanja supstance i (g/s)

u – brzina vetra u području gde je do izlivanja došlo (cm/s)

x – dimenzije mrlje - dužina (cm)

y – dimenzije mrlje - širina (cm)

M – molekulska težina (dostupno u literaturi)

p_i^o – pritisak pare supstance i na temperaturi prostora gde je do izlivanja došlo (g cm/s², 0,0001 kPa)

T - temperatura (K)

Kada se gubitak u atmosferu proceni i kvantifikuje, tada se može pristupiti proceni emisije na zemljište upotrebom sledeće jednačine:

$$ER_{zemljište,i} = Qtty_{mrlja} - ((vreme) \times E_i) - količina koja je uklonjena \quad (5.3)$$

gde je

$ER_{zemljište,i}$ - emisija u zemljište komponente i

$Qtty_{mrlja}$ - količina komponente u tečnosti koja se izlila

E_i – brzina isparavanja supstance i (prema jednačini 5.3)

Vreme - vreme između izlivanja tečnosti i konačnog uklanjanja

5.2. Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata

Ukupni maseni bilans postrojenja. Maseni bilans se može koristiti za procenu emisije iz nekog postrojenja samo pod uslovom da su dostupni podaci dovoljni i reprezentativni za proces i relevantne ulazne i izlazne tokove. Maseni bilans se može primeniti na celo postrojenje (primer 5.2).

Ovo podrazumeva razmatranje ulaznih sirovina potrebnih za proces, kao i izlaznih produkata, u obliku proizvoda ili otpada. Maseni bilans može biti izračunat na osnovu jednačine 5.4.

$$\text{Ukupna masa koja ulazi u proces} = \text{Ukupnoj masi koja izlazi iz procesa} \quad (5.4)$$

Ili jednačine 5.5:

$$\text{Ulaz} = \text{Produkt} + \text{Transfer (kao čvrst otpad ili energija)} + \text{Emisija} \quad (5.5)$$

gde je :

Ulaz - sve sirovine koje ulaze u proces

Emisija – ispuštanje u vazduh, vodu, zemljište (emisija uključuje i rutinsku (tj. svakodnevnu emisiju) i akcidentne situacije (kao što su izlivanja nafte i slično))

Tranfer – uključuje polutante ispuštene u more, odložene na deponije, kao i polutante uklonjene radi daljeg tretmana, reciklaže, destrukcije ili prečišćavanja.

Primer 5.2. Hemijsko postrojenje prima 1000 tona ulazne sirovine godišnje, koja se čuva on-site. Poznato je da ova sirovina sadrži 2% vode koja se taloži tokom skladištenja i odlazi u kanalizaciju. Rastvorljivost date sirovine je 100 g/kg. Takođe, poznato je da se 975 t godišnje te sirovine koristi u procesu proizvodnje. Tokom godine, uočeno je da je 1 tona sirovine izgubljena usled nekontrolisanog curenja, kao i da je 500 kg sirovine reciklirano i pravilno odloženo.

Uzimajući u obzir sadržaj vode i rastvorljivost komponente može se izračunati sadržaj vode u datom rastvaraču:

Sadržaj u 100g/kg rastvarača:

$$Voda = 1000 \text{ t} \times \frac{2}{100} = 20 \text{ t vode}$$

Pošto je rastvorljivost 100g/kg onda je

$$\text{rastvarač u vodi} = 20 \times 0,1 = 2 \text{ t}$$

Primer 5.2. nastavak:

Isključujući vodu kao komponentu, količina rastvarača koji ulazi u proces je:

$$\text{ukupno rastvarača} = 1000 \times 0,98 = 980 \text{ t}$$

Ukupna količina rastvora (uključujući i vodu) koja ulazi na postrojenje je $980 + 2 = 982 \text{ t}$

Kada je ova vrednost izračunata, može se pristupiti računanju količine sirovine koja odlazi u kanalizaciju:

Rastvarač u kanalizaciji

$$\begin{aligned} &= \text{curenje iz tanka} + \text{nekontrolisano curenje} \\ &= 2000 \text{ kg} + 500 \text{ kg} = 2500 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Reciklirano} = 500 \text{ kg}$$

S obzirom da nije došlo do emisije na zemljište, emisiju u vazduh možemo lako da izračunamo na sledeći način:

Emisija u vazduh

$$\begin{aligned} &= \text{Ukupna količina rastvora} \\ &- \text{Rastvarač u kanalizaciji} - \text{Reciklirano} \\ &- \text{Količina sirovine koja se upotrebi u procesu} \\ &= 982 - 2,5 - 0,5 - 975 = 4 \text{ tone} \end{aligned}$$

Maseni bilans individualnih procesa u okviru postrojenja: Generalni proračun za procenu masenog bilansa može biti primenjen i na individualne procesne jedinice. Ovo zahteva dostupne informacije vezane za ulaz sirovina (protok, koncentraciju, gustinu) i izlaz iz procesne jedinice. Za proračun se može koristiti sledeća jednačina:

$$E_i = \sum Q_i W_{fi} P_i - \sum Q_o W_{oi} P_o \quad (5.6)$$

gde je

E_i – protok komponente i u nepoznatom toku (kg/h)

Q_i – zapreminski protok ulaznog toka (i) (m^3/h)

Q_o – zapreminski protok izlaznog toka (o) (m^3/h)

W_{fi} – težinska frakcija komponente i u ulaznom toku

W_{oi} – težinska frakcija komponente i u izlaznom toku

P_i, P_o – gustina toka (i) i (o) redom (kg/m^3)

Informacije o procesu ulaznih i izlaznih tokova su uglavnom poznate, pošto su ovi parametri potrebni i za kontrolu i praćenje procesa proizvodnje. Gubitak E_x se utvrđuje analizom procesa. Treba napomenuti i da je potrebno utvrditi u kom medijumu životne sredine dolazi do emisije.

5.3. Primena emisijih faktora za procenu emisije polutanata

U određenim situacijama nije moguće primeniti proračun koji uključuje maseni bilans ili direktna merenja. Tada se razmatraju pojedinačni procesi ili aktivnosti na pojedinačnoj osnovi, i mogućnost korišćenja direktnog monitoringa ili poznatih faktora emisije za procenu emisije u životnu sredinu. Do emisije iz postrojenja za proizvodnju organskih hemijskih proizvoda može doći usled različitih jediničnih procesa i operacija kao što su: sagorevanje, prostori za skladištenje, fugitivne emisije, utovar/istovar i tretman otpadnih voda. U odsustvu drugih informacija, poznati emisijni faktori mogu da se koriste prilikom procene emisije. Emisijni faktori se uglavnom dobijaju generalnim ispitivanjem procesa i proizvoda (kao što su npr. kotlovi koji koriste određenu vrstu goriva). Ove informacije se koriste za povezivanje količine emitovanog materijala sa nekom opštom merom skale aktivnost (npr. za kotlove faktori emisije se uglavnom zasnivaju na količini utrošenog goriva ili se posmatra toplotna snaga kotla). Faktori emisije zahtevaju „podatke o aktivnosti“, koji se kombinuju sa faktorom za generisanje procene emisije. Generička formula za izračunavanje emisijih faktora data je jednačinom 5.7, dok je primer izračunavanja emisije upotrebom emisijih faktora dat u primeru 5.3.

$$\begin{aligned} \text{Emisijni faktor} \left(\frac{\text{masa}}{\text{jedinica aktivnosti}} \right) \\ \times \text{podaci o aktivnosti} \left(\frac{\text{jedinica aktivnosti}}{\text{vreme}} \right) \\ = \text{emisijni faktor} \left(\frac{\text{masa}}{\text{vreme}} \right) \end{aligned} \quad (5.7)$$

Primer 5.3. Izračunati emisiju NO_x prilikom proizvodnje iz postrojenja koje pripada sektoru industrije za proizvodnju organskih proizvoda, ukoliko se zna da je emitovana količina ovog polutanta 5,6 kg/t. Postrojenje radi 1500 sati godišnje, a količina proizvoda je 250 t/h.

$$\begin{aligned} \text{NO}_{x\text{emisija}} &= EF_{\text{NO}_x} \times \text{količina proizvoda} \times \text{vreme rada} \\ \text{NO}_{x\text{emisija}} &= 5,6 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 250 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times 1500 \frac{\text{h}}{\text{god}} \\ \text{NO}_{x\text{emisija}} &= 2\,100\,000 \frac{\text{kg}}{\text{god}} = 2\,100 \frac{\text{t}}{\text{god}} \end{aligned}$$

5.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata

Emisija iz skladišta se dešava u toku operacija punjenja i pražnjenja skladišta, kao i tokom samog stajanja sirovina u skladištima. Gubici tokom mešanja su uključeni u gubitke tokom transporta sirovina i proizvoda. Primenom proračuna za određivanje emisije u vazduh, pretpostavlja se da je primarni izvor emisije para koja iz procesa izlazi. Dalje se pretpostavlja da je ukupna zapremina pare zasićena materijama koje se nalaze u sirovini koja se u procesu koristi. Ova pretpostavka je validna za procese gde se koriste volatilne jednodokomponentne sirovine, kao i za neke od višekomponentnih smeša. Bitno je primetiti da je za procenu emisije u vazduh na ovaj način potrebno raspolagati podacima o karakteristikama sirovina (npr. napon pare, molekulska težina, masena frakcija).

Najjednostavniji primer procesa prilikom kog dolazi do emisije uključuje dopunjavanje reaktora sa istom sirovinom konstantno (primer 5.4). U ovom slučaju, polazi se od pretpostavke da se u zasićenoj pari koja izlazi iz tanka za mešanje nalazi ekvivalentna količina komponenti koje čine odgovarajuću korišćenu sirovinu. Jednačina za izračunavanje emisije volatilnih supstanci je sledeća:

$$y = x \left(\frac{VP}{P} \right) \quad (5.8)$$

gde je

y – molski udeo gasovite faze

x – molski udeo tečne faze

VP - pritisak pare komponente u rezervoaru (kPa). Ovo može biti dobijeno iz podataka o bezbednosti materijala ili iz priručnika poput Perri's Chemical Engineers Priručnik (7. izdanje, poglavlje 2).

P – pritisak u sistemu (kPa). U većini slučajeva, pritisak u sistemu će imati istu vrednosti kao pritisak okoline (101,3 kPa)

Sastav izlaznog gasa iz procesa gde se koristi smeša jedinjenja može biti procenjena na sličan način kao što je to slučaj sa jednodokomponentnom smešom. Ukoliko se na primer u reaktoru nalazi tečnost koja je smeša komponenti A, B i C, na standardnom pritisku i temperaturi, pritisak u reaktoru (uz pretpostavku da je ravnoteža uspostavljena) biće jednak zbiru pritisaka komponenti A, B i C, pri čemu treba u obzir uzeti i njihove molske udele u smeši. Molska frakcija za svaku komponentu može se izračunati primenom Raulovog zakona:

$$y_i = x_i \left(\frac{VP_i}{P} \right) \quad (5.9)$$

gde je:

i - komponenta A, B ili C

y - molski udeo gasovite faze

x - molski udeo tečne faze

VP_i - pritisak pare komponente i (kPa). Ovaj podatak je dostupan i u literaturi

P - pritisak u sistemu (kPa). U najvećem broju slučajeva, ova vrednost bi iznosila 101,3 kPa.

Primer 5.4. Za pripremu smeše benzena i toluena, potrebno je dodati 950 kg benzena i 50 kg toluena. Reaktor zapremine 1300 litara se ne čisti između serija, pa stoga može da se pretpostavi da je vazduh unutar mešalice zasićen smešom para benzen/toluen sa tečnom smešom. U toku godine izvrši se 300 punjenja šarži. Izračunati godišnju nekontrolisanu emisiju benzena i toluena. Rešenje za benzen je dato u nastavku teksta. Na osnovu podataka potrebno je uraditi i toluen.

Korak 1. Odrediti broj molova komponenti u smeši

Benzen je C_6H_6 , toluen C_7H_8

$$\begin{aligned} n(\text{benzen}) &= \frac{m(\text{benzen})}{M(\text{benzen})} = \frac{950 \times 10^3 \text{ g}}{78,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 12\,162 \text{ mol} \\ &= 12,16 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$n(\text{toluen}) = \frac{m(\text{toluen})}{M(\text{toluen})} = \frac{50 \times 10^3 \text{ g}}{92,13 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 540 \text{ mol} = 0,54 \text{ kmol}$$

Stoga će molarni sastav smeše biti:

$$\text{mol\%}(\text{benzen}) = \frac{12,16 \text{ kmol}}{(12,16 \text{ kmol} + 0,54 \text{ kmol})} = 95,7\%$$

$$\text{mol\%}(\text{toluen}) = \frac{0,54 \text{ kmol}}{(12,16 \text{ kmol} + 0,54 \text{ kmol})} = 4,3\%$$

Primer 5.4. nastavak:

Korak 2. Izračunati sastav para na osnovu sastava smeše koje se emituju u vazduh

$VP(\text{benzen}) = 12,46 \text{ kPa na } 25^\circ\text{C}$ (iz Priručnika Perri's Chemical Engineers)

$VP(\text{toluen}) = 4,97 \text{ kPa na } 25^\circ\text{C}$ (iz Priručnika Perri's Chemical Engineers)

$$y(\text{benzen}) = x(\text{benzen}) \times \frac{VP(\text{benzen})}{P} = 0,957 \times \frac{12,46 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} = 0,12$$

$$y(\text{toluen}) = x(\text{toluen}) \times \frac{VP(\text{toluen})}{P} = 0,043 \times \frac{4,97 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} = 0,0021$$

Korak 3. Izračunati mase benzena i toluena koji se oslobađaju pri postupku šaržnog punjenja: Poznato je da će zapremina ispuštanja vazduha po punjenju biti jednaka zapremini benzene i toluen koji se dodaje po šarži mešanja, koja se dobija na sledeći način:

Gustina benzena na 25°C je $0,872 \text{ kg/l}$

Stoga će količina dodatog benzena iznositi:

$$\frac{950 \text{ kg}}{0,872 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 1090 \text{ l}$$

Kako zakon o idealnom gasu glasi:

$$PV = nRT$$

gde je:

P - pritisak ($101,3 \text{ kPa} = 1 \text{ atm}$)

V - zapremina (m^3)

n - broj molova

R - konstanta idealnog gasa ($8,314 \text{ kPa} \times \text{m}^3 / \text{mol} \times \text{K}$)

T - Temperatura ($25^\circ\text{C} = 298\text{K}$)

Lako se izračuna ukupan broj molova smeše (benzen/toluen)

$$n_{\text{ukupno}} = \frac{PV}{RT} = \frac{101,3 \text{ kPa} \times 1090 \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{kPa} \times \text{m}^3}{\text{mol K}} \times 298 \text{ K}} = 44,6 \text{ mol}$$

Primer 5.4. nastavak:

S obzirom da je molska frakcija benzena 0,12, onda će broj molova benzena (n_{benzen}) da se računa po sledećoj jednačini:

$$n_{benzen} = 0,12 \times 44,6 \text{ mol} = 5,35 \text{ mol}$$

dok će njegova masa iznositi:

$$m_{benzen} = \frac{n_{benzen}}{M_{benzen}} = \frac{5,35 \text{ mol}}{78,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 418 \text{ g} = 0,418 \text{ kg}$$

Godišnja nekontrolisana emisija benzena iznosi

$$0,418 \text{ kg} \times 300 / \text{god} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{god}}$$

ZADACI

1. Izračunati dnevnu i godišnju emisiju hroma iz postrojenja za proizvodnju organskih proizvoda ukoliko se zna da postrojenje radi 300 dana u godini, a podaci o protoku i koncentraciji hroma u toku dana dati su u tabeli.

Protok (10 ⁶ l/dan)	Cr (µg/l)	Dnevna količina hroma koja se emituje (kg)
1,660	918	
1,576	700	
1,668	815	
1,760	683	
1,456	787	
1,360	840	
1,828	865	
1,696	643	
1,852	958	
1,656	681	
1,904	680	
1,724	628	
1,476	807	
1,568	729	
1,292	964	
1,208	722	
1,432	566	
1,288	510	
1,320	630	
1,288	630	
1,632	652	
1,768	649	
1,424	695	
1,560	758	
1,692	658	
1,948	970	
Srednja vrednost dnevne emisije		

2. Izračunaj emisiju benzena ukoliko su vam poznati sledeći podaci:

- Protok dimnih gasova iz sloja meri se na $100 \text{ m}^3/\text{s}$ na 150°C i pritisku od 1 atm
- Merena koncentracija benzena je $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ na temperaturi od 0°C i pritisku od 1 atm
- Postrojenje radi 24 sata dnevno, 300 dana godišnje.

Izrada:

3. Ukoliko su poznate sledeće informacije o otpadnim tokovima izračunati količinu acetaldehida oslobođenog iz tretmana otpadnih voda:

- Otpadna voda sadrži prosečnu koncentraciju acetaldehida od $500 \text{ mg}/\text{l}$
- Otpadne vode se šalju u postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda brzinom od $5 \text{ l}/\text{min}$
- Izlazni tokovi vode sadrže $25 \text{ mg}/\text{l}$ acetaldehida i
- Postrojenje radi 24 sata dnevno tokom 330 dana u godini

Izrada:

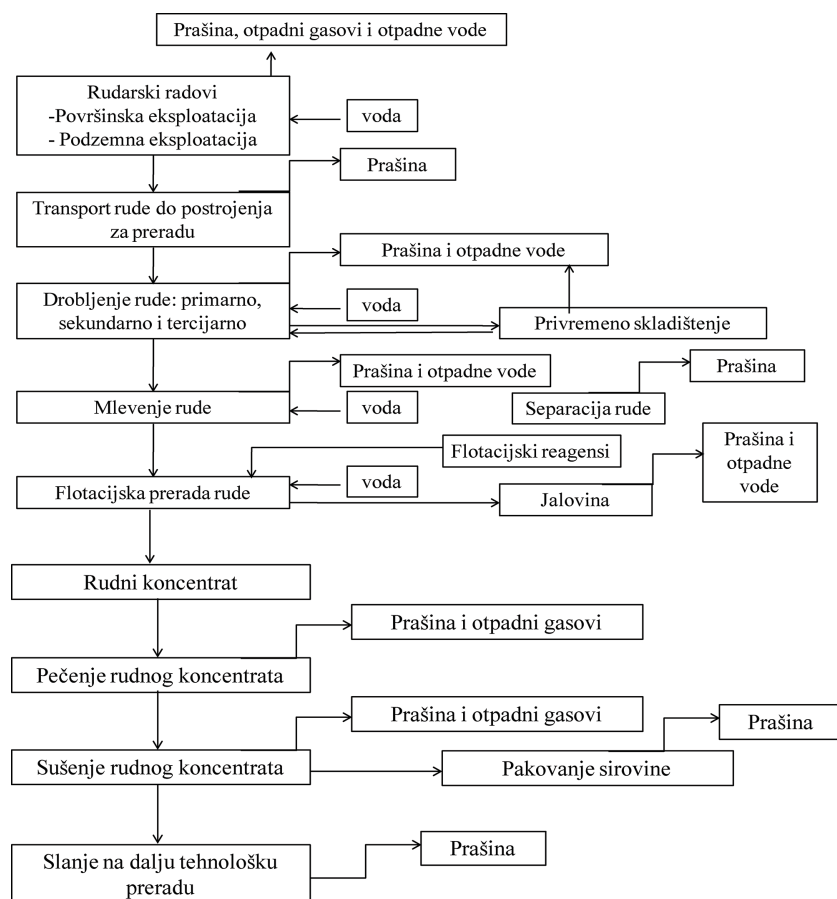
Beleške:

6. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ SEKTORA INDUSTRIJE MINERALA I METALA

Rudarstvo obuhvata pronalaženje i vađenje (eksploataciju) korisnih mineralnih sirovina iz njihovih ležišta u zemljinoj kori. Osnovni zadatak rudarstva jeste da proizvodi i dostavlja industriji potrebne količine mineralnih sirovina, koje se kao takve koriste ili se daljim postupcima prerađuju u poluproizvode, koje ostale industrijske grane koriste pri izradi konačnog proizvoda. S obzirom na radni prostor, rudarstvo se deli na podzemnu i površinsku eksploataciju. Podzemna eksploatacija se primenjuje za dobijanje mineralnih sirovina koje se nalaze u dubljim delovima zemljine kore. Površinska eksploatacija mineralnih sirovina značajnije se počela primenjivati tek u XX veku. Ovaj način eksploatacije se primenjuje za mineralne sirovine koje se nalaze relativno blizu zemljine površine. Eksploatacija ležišta površinskim kopom odvija se u dve radne faze: raskrivanje rudnog tela i otkopavanje rudnog tela. Osnovne tehnološke operacije na površinskom kopu su: priprema minskih bušotina i miniranje eksplozivom, otkopavanje bagerima, transport mineralne sirovine, oplemenjivanje mineralne sirovine i odlaganje jalovine. Otkopavanje rudnog tela izvodi se u obliku etaža. Dimenzije i raspored etaža su uslovljeni prilikama u ležištu, fizičko-mehaničkim svojstvima korisne mineralne sirovine i jalovine, kapacitetom proizvodnje i mehanizacijom. Procesi iskopavanja i prerade mineralnih sirovina predstavljaju početnu fazu velikog broja industrijskih procesa, a odnose se na iskopavanje sirovina metala (bakar, cink, gvožđe, itd.), sirovina nemetala (pesak, magnezit, mermer, kamen, glina, kaolin, itd.), kao i vađenje fosilnih goriva (uglja, zemnog gasa i nafte).

Na blok-šemi 6.1. je prikazan generalni proces prerade ruda sa naznačenim karakterističnim mestima oslobađanja zagađujućih supstanci (prašine, emisije zagađujućih gasova i ispuštanja otpadnih voda), a formule za izračunavanje date su u nastavku teksta.



Slika 6.1. Generalni proces prerade ruda sa naznačenim karakterističnim mestima emisije

Procena emisije u vodu, vazduh i zemljište trebala bi da se radi za svaku ulaznu komponentu/sirovinu, na jedan od sledećih načina:

- Uzorkovanje i direktno merenje
- Maseni bilans
- Analiza goriva ili drugi inženjerski proračuni
- Emisioni faktori
- Proverene alternative

6.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata

U ovom delu daje se prikaz kako i na koji način se može izračunati dnevna emisija (kg/dan) na osnovu podataka dobijenih uzorkovanjem i direktnim merenjem (primer 6.1.), kao i konvertovanje dobijenih podataka u godišnju emisiju (kg/god) (jednačine 6.1. i 6.2.).

$$\text{Dnevna emisija} = (\text{protok } \left(\frac{\text{l}}{\text{dan}}\right) \times \text{izmerena koncentracija polutanta } \left(\frac{\text{kg}}{\text{l}}\right)) \quad (6.1.)$$

$$\text{Godišnja emisija} = (\text{srednja vrednost dnevne emisije } \left(\frac{\text{kg}}{\text{dan}}\right) \times \text{vreme koliko postrojenje radi } \left(\frac{\text{dan}}{\text{god}}\right)) \quad (6.2.)$$

Primer 6.1. Izračunati dnevnu i godišnju emisiju ukoliko su poznati podaci monitoringa dati u tabeli, a poznato je da postrojenje radi 200 dana u toku godine:

Protok (10 ⁶ l/dan)	Cd (µg/l)	Dnevna količina kadmijuma koja se emituje (kg)
1,828	729	1,33
1,696	964	1,63
1,852	722	1,34
1,656	566	0,94
1,456	510	0,74
1,360	630	0,86
1,828	630	1,15
1,696	652	1,11
1,852	649	1,20
1,656	695	1,15
1,904	758	1,44
1,724	658	1,13
1,476	970	1,43
Srednja vrednost		1,19

Primer 6.1. nastavak:

$$\text{Dnevna emisija} = (\text{protok } \left(\frac{l}{dan}\right) \times \text{izmerena koncentracija polutanta}(kg)$$

Godišnja emisija

$$\begin{aligned} &= (\text{srednja vrednost dnevne emisije } \left(\frac{kg}{dan}\right) \\ &\times \text{vreme koliko postrojenje radi } \left(\frac{dan}{kg}\right) \\ &= 1,19 \frac{kg}{dan} \times 200 \frac{dan}{god} = 238 \text{ kg Cd} \end{aligned}$$

6.2. Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata

Maseni bilans identifikuje količinu supstance koja ulazi i izlazi iz procesa, dela opreme ili iz postrojenja. Emisija se računa iz razlike ulaza i izlaza sirovine (jednačina 6.3). Primer izračunavanja emisije upotrebom masenog bilansa dat je u primeru 6.2.

$$E_{kpy,i} = Ulaz_i - Izlaz_i \quad (6.3.)$$

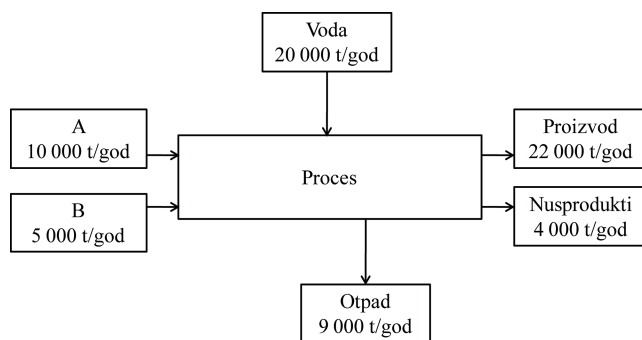
gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

$Ulaz_i$ – količina polutanta i koji ulazi u proces (kg/god)

$Izlaz_i$ – količina polutanta i koji izlazi iz procesa kao neka vrsta otpada (kg/god)

Primer 6.2. U procesu proizvodnje koristi se 10 000 t sirovog materijala A, 5000 t sirovog materijala B i 20 000 t vode kako se proizvelo 22 000 t proizvoda i 4000 t nusproizvoda godišnje. Izračunati ukupnu količinu otpada emitovanog iz procesa?



Korak 1.

$$\begin{aligned}
 & \text{Izračunati količinu ulaznih komponenti} \\
 & = \text{masa (A)} + \text{masa (B)} + \text{masa (vode)} \\
 & = 10\,000\,t + 5\,000\,t + 20\,000\,t = 35\,000\,t
 \end{aligned}$$

Korak 2.

$$\begin{aligned}
 & \text{Izračunati količinu izlaznih komponenti} \\
 & = \text{masa (proizvoda)} + \text{masa (nusproizvoda)} \\
 & = 22\,000\,t + 4\,000\,t = 26\,000\,t
 \end{aligned}$$

Korak 3.

$$\begin{aligned}
 & \text{Izračunati ukupnu količinu otpada} \\
 & = \text{masa ulaznih komponenti} \\
 & \quad - \text{masa izlaznih komponenti} \\
 & = 35\,000\,t - 26\,000\,t = 9\,000\,t
 \end{aligned}$$

6.3. Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata

U odsustvu drugih informacija, poznati emisioni faktori (prilog 13) mogu da se koriste prilikom procene emisije. Emisioni faktori su uglavnom dobijaju generalnim ispitivanjem procesa i proizvoda (kao što su npr. kotlovi koji koriste određenu vrstu goriva). Primer izračunavanja dat je u tekstu niže (primer 6.3.).

Generalna jednačina koja uključuje emisione faktore data je izrazom 6.4.

$$E_{kpy} = A \times OpHrs \times EF \times \left[1 - \frac{CE}{100} \right] \quad (6.4.)$$

gde je:

E_{kpy} – emisija polutanta (kg/god)

A – stopa aktivnosti (t/h)

$OpHrs$ – broj radnih sati u toku godine (h/god)

EF – nekontrolisani emisioni faktor polutanta (kg/t)

CE – ukupna efikasnost kontrole polutanta (%)

Jednostavniji prikaz ove jednačine koji se i koristi u najvećem broju slučajeva je:

$$E = A \times T \times EF \times \left[1 - \left(\frac{ER}{100} \right) \right] \quad (6.5.)$$

gde je:

E – emisija polutanta (kg/god)

A – stopa aktivnosti (t/h)

T – broj radnih sati u toku godine (h/god)

EF – nekontrolisani emisioni faktor polutanta (kg/t)

ER – ukupna efikasnost redukcije polutanta (%)

Primer 6.3. Anodna peć za pečenje radi sa tornjem za raspršivanje u cilju kontrole emisije. Postrojenje radi 5000 sati godišnje, sa protokom od 0,2 t/h, a vrednost CE je 0. Iz literature je poznat kontrolisani faktor emisije: 0,375 kg/t. Izračunati kontrolisanu emisiju PM_{10} .

$$\begin{aligned} E_{kpy, PM_{10}} &= A \times OpHrs \times EF \times \left(1 - \frac{CE}{100} \right) \\ &= 0,2 \frac{t}{h} \times 5000 \frac{h}{god} \times 0,375 \frac{kg}{t} \times (1 - 0) \\ &= 375 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

6.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata

Inženjerski proračuni se zasnivaju na fizičkim i hemijskim karakteristikama supstance (npr. napon pare i sl.) i matematičkih odnosa (npr. zakon idealnih gasova).

Analiza goriva je primer primene inženjerskog proračuna i može se koristiti za predviđanje emisije npr. SO₂ ili metala. Poznavanje podatka o prisustvu nekih elemenata može da se koristi za predviđanje njihove emisije u otpadnim tokovima. Ovo uključuje npr. sumpor, koji se može konvertovati u druge komponente i kao takav se emitovati u životnu sredinu. Osnovna jednačina (jednačina 6.6.) koja se koristi za ovu vrstu proračuna je:

$$E_{kpy} = Q \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (6.6.)$$

gde je

E_{kpy} – godišnja emisija polutanta (kg/god)

Q – protok goriva (kg/h)

$OpHrs$ – broj radnih sati u toku godine (h/god)

MW – molekulaska težina emitovanog polutanta (g/mol)

EW – težina elementa polutanta u gorivu (g/mol)

C – koncentracija polutanta u gorivu (%)

Primer jednostavnog računa emisije SO₂ iz sagorevanja goriva može se uraditi iz koncentracije sumpora u samom gorivu (primer 6.4). Ovaj pristup podrazumeva kompletnu konverziju sumpora u SO₂. S toga, za svaki kg sumpora ($EW=32$ g/mol) koji sagori, emitovaće se dva kilograma SO₂ ($MW=64$ g/mol). Primena je prikazana na primeru 6.4.

Primer 6.4. Izračunaj emisiju SO₂ iz podataka ukoliko se zna da je protok goriva 20 900 kg/h, procentualni udeo S u gorivu 1,17% i ako je poznato da postrojenje radi 1500 h/god.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= Q_f \times \frac{C_i}{100} \times \left(\frac{MW_p}{EW_f} \right) \times OpHrs \\ &= 20\,900 \frac{kg}{h} \times \frac{1,17}{100} \times \left(\frac{64 \frac{g}{mol}}{32 \frac{g}{mol}} \right) \times 1500 \frac{h}{god} \\ &= 733\,590 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

ZADACI

1. Izračunati emisiju kadmijuma ukoliko su poznati sledeći podaci:

- protok dimnih gasova na dimnjaku je $28\,000\text{ dm}^3/\text{s}$
- izmerena koncentracija kadmijuma je $0,01\text{ mg/m}^3$
- fabrika radi 24 sata dnevno tokom 350 dana godišnje

Izrada:

2. U toku proizvodnog procesa koristi se 15000 t sirovog materijala A, 5 000 t sirovog materijala B i 20 000 tona vode kako bi se proizvelo 28000 t produkta i 3000 t nusprodukata godišnje. Koja je ukupna količina emisije u toku procesa?

Izrada:

3. Ukoliko su poznate sledeći podaci o otpadnim tokovima izračunati koja količina kadmijuma se emituje u životnu sredinu.

- Sadržaj kadmijuma u otpadnim vodama se kreće od 400–500 mg/l
- Otpadne vode se šalju na prečistač sa protokom od 15 l/min;
- Otpadna voda iz postrojenja za prečišćavanje izlazi sa sadržajem kadmijuma od 20-25 mg/l;
- Postrojenje radi 24h 330 dana godišnje.

Izrada:

4. Izračunaj emisiju SO_2 iz podataka ukoliko se zna da je protok goriva 17,4 t/h, procentualni udeo S u gorivu 1,17% i ako je poznato da postrojenje radi 2400 h/god.

Izrada:

Beleške:

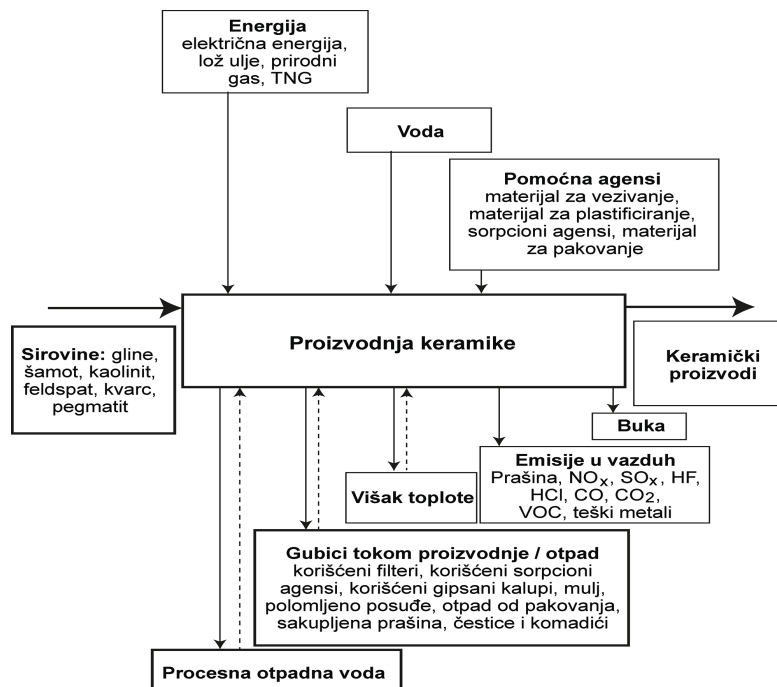
7. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ INDUSTRIJE NEMETALA

Istorija industrije nemetala se vezuje za Stari istok. Prve dekorativne glinene pločice napravljene su u Egiptu u doba faraona, oko 4000. pne, a nakon toga su našle i svoju primenu u arhitekturi Asirije, Vavilona i Mesopotamije. Koristile su se za popločavanje prilaza hramovima, predvorja carskih palata i faraonskih grobnica. U vekovima koji su usledili, u red naroda koji izrađuju keramiku staju Grci, Rimljani, Persijanci, kao i dalekoistočni kolosi Kina i Indija. Kinezi su svoj pečat na sceni istorije umetnosti utisnuli onog trenutka kada su napravili porcelan i razvili tehniku glaziranja keramike.

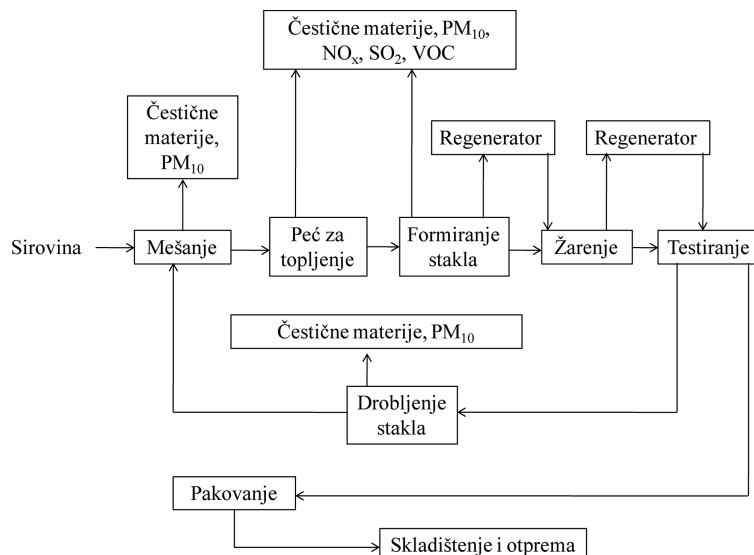
Danas, u industriju nemetala spadaju proizvodnja cementa, keramike, stakla i kreča. Svi ovi sektori proizvodnje se karakterišu transformacijom prirodno prisutnih minerala kao što su krečnjak, kvarc i glina upotrebom energetski intenzivnih procesa. Širok dijapazon krajnjih produkata se kreće od cigle i pločica do stakla i staklenog posuđa, i odlikuju se osobinama kao što su velika tvrdoća, teška topivost, vatrostalnost, otpornost prema atmosferskim uticajima i hemikalijama uz relativno nisku cenu sirovina i veliki utrošak energije. Evropska unija kroz set svojih dokumenata promoviše kompeticije svih pomenutih sektora i ohrabruje poboljšavanje efikasnosti procesa.

Proizvodnja **keramičkih pločica** (slika 7.1) uključuje kondicioniranje dve osnovne sirovine materijali: kaolinit i montmorilonit. Ove gline su rafinirane pomoću odvajanje i beljenja, a zatim se mešaju, formiraju i suše u peći.



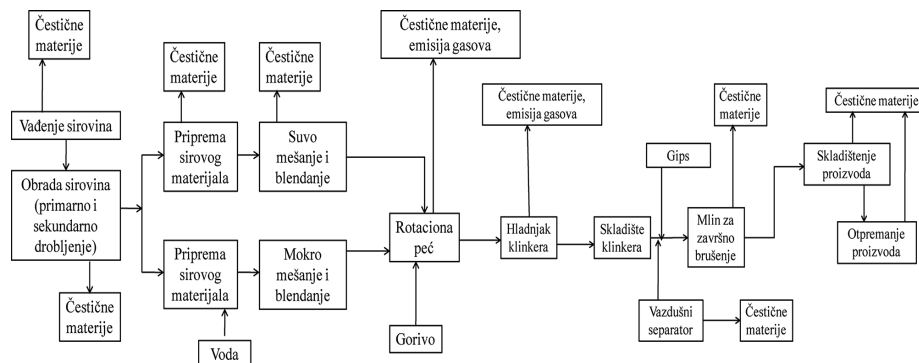
Slika 7.1 Šematski prikaz proizvodnje keramičkih proizvoda sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu

Industrija **stakla** (slika 7.2) uključuje niz proizvodnih pogona. Sadržaji se kreću od primarne proizvodnje stakla, do proizvodnje proizvoda od stakla. Proizvodnja stakla i staklenih proizvoda dele iste početne korake procesa: mešanje i topljenje. Sva proizvodnja proizvoda od stakla i vlakana uključuje korak hlađenja na kraju procesa. Glavna komponenta sektora proizvoda od stakla je proizvodnja ravnog stakla. Ravno staklo se stavlja na tržište u izvornom stanju ili podvrgava daljoj preradi da bi se ojačalo (kaljeno), laminirano, dekorativno, površinski premazano, dvostruko zastakljeno, itd. Sektor staklenih vlakana proizvodi dva glavna proizvoda: tekstilna staklena vlakna i izolaciju od staklenih vlakana. Tekstilna staklena vlakna koriste se u proizvodnji vatrostalnog platna, dok se izolaciono stakleno vlakno koristi u toplotnoj i zvučnoj izolaciji.



Slika 7.2. Šematski prikaz proizvodnje stakla i proizvoda od stakla sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu

Cement je fini prah koji se pretežno sastoji od kalcijumovih silikata, aluminata, aluminoferita i, u manjoj meri, gipsa i krečnjaka. Ovi materijali se hemijski kombinuju piropcesiranjem i podvrgavaju kasnijim operacijama mehaničke obrade (slika 7.3). Svetski proizvođači cementa proizvode nekoliko vrsta cementa, ali portland cement i mešani cement su daleko najčešći. Portland cement sastoji se prvenstveno od topljenog materijala u peći, poznatog kao klinker, koji se melje i kombinuje sa malim količinama gipsa ili sličnog materijala. Portland cement se proizvodi u nekoliko klasa dizajniranih da daju određena svojstva betonu. Glavni sastojci pomešanog cementa su portlandski cement, leteći pepo i šljaka. Takođe se proizvode manje količine specijalnih cementa koji uključuju zidarske i prljavo bele cemente. Prljavo-beli cement, koji je napravljen od materijala bez gvožđa izuzetne čistoće (obično krečnjaka, kaolina ili silicijum-dioksida), prvenstveno se koristi za proizvodnju dekorativnog betona. Zidarski cement, proizveden dodavanjem krečnjaka i/ili drugih materijala portlandskom cementu, je hidraulični cement koji se koristi kao komponenta maltera za zidanje.



Slika 7.3. Šematski prikaz proizvodnje cementa sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu

7.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata

U ovom delu daje se prikaz kako i na koji način se može izračunati emisija u kg/h na osnovu podataka dobijenih uzorkovanjem i direktnim merenjem, a zatim i konvertovanjem dobijenih podataka u godišnju emisiju. Primer sprovedenih testova je prikazan u tabeli 7.1. Parametri izmereni kao deo testa uključuju brzinu gasa i sadržaj vlage. Težina čestičnih materija (koje se u ovom primeru računaju) određivala se gravimetrijski i podeljena je sa zapreminom uzorkovanog gasa, kao što je prikazano jednačinom 7.1 kako bi se dobila koncentracija u g/m³. Koncentracija polutanta je zatim pomnožena sa zapreminskim protokom kako bi se odredila emisija u kg/h, kao što je prikazano jednačinom 7.2. i primerom 7.1.

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (7.1)$$

gde je:

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija (g/m³)

C_f – masa koja ostane u filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka (m³)

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \left[\frac{273}{(273 + T)} \right] \quad (7.2)$$

gde je:

E_{PM} – stopa emisije čestica po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m³)

Q_d – protok gasa (m³/s)

3,6 – 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kilograma po gramu

T – temperatura uzorka gasa (°C)

Emisije čestičnih materija može da se računa i na sledeći način (jednačina 7.3. i primer 7.2.):

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times \frac{3600}{1000} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \quad (7.3)$$

gde je:

E_{PM} – stopa emisije čestica po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m^3)

Q_d – protok gasa (m^3/s)

3600 – konverzioni faktor 3600 sekundi u satu

1000 – konverzioni faktor (g/kg)

Tabela 7.1. Primer rezultata sprovedenih testova merenja

Parametar	Simbol	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3
Ukupno vreme uzorkovanja (s)		7200	7200	7200
Sakupljena vlaga (g)	vlaga	395,6	372,6	341,4
Masa koja ostane u filteru (g)	C_f	0,0851	0,0449	0,0625
Prosečna brzina uzorkovanja (m^3/s)		$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$
Zapremina gasa (m^3)	$V_{m,STP}$	1,185	1,160	1,163
Protok gasa (m^3/s)	Q_d	8,48	8,43	8,45
Koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m^3)	C_{PM}	0,0718	0,0387	0,0537
Stopa emisije čestica (kg/h)	E_{PM}	2,20	1,19	1,65

Primer 7.1. Upotrebom dobijenih rezultata merenja iz tabele 7.1. potrebno je izračunati emisiju PM prilikom merenja 1, primenom jednačina 7.1. i 7.2., ukoliko je poznato da je temperatura izduvnih gasova $150^\circ C$.

$$C_f = 0,0851 \text{ g}$$

$$V_{m,STP} = 1,185 \text{ m}^3$$

$$C_{PM} = 0,0718 \text{ g/m}^3$$

$$Q_d = 8,48 \text{ m}^3/s$$

$$T = 150^\circ C = 150 + 273 = 423 \text{ K}$$

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} = \frac{0,0851 \text{ g}}{1,185 \text{ m}^3} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} E_{PM} &= C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} = \\ &= 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3,6 \frac{\text{s}}{\text{h}} \frac{\text{kg}}{\text{g}} \times \frac{273 \text{ K}}{423 \text{ K}} = 1,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Primer 7.2. Izračunati emisiju čestičnih materija PM na osnovu dostupnih podataka iz tabele 7.1. za period 1, koristeći jednačine 7.1. i 7.3.

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} = \frac{0,0851 \text{ g}}{1,185 \text{ m}^3} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times \frac{3600}{1000} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}}$$

$$= 2,20 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Podaci merenja mogu biti izraženi u u kg/kg vlažnog gasa. Tada se koristi jednačina 7.4. kako bi se rezultat preračunao na suhu materiju u kg/h.

$$E_{PM} = \frac{Q_a}{1000} \times 3600 \times 1,2 (1 - R) \times \frac{293}{(273 + T)} \quad (7.4)$$

gde je:

E_{PM} – stopa emisije čestica po satu (kg/h)

Q_a – protok gasa (m^3/s)

1000 – 1000 kg gasa po kg PM

3600 – 3600 sekundi po satu

1,2 – konstanta (kg/m^3)

R – sadržaj vlage, (%)

293 – temperatura 0°C , (K)

273 – temperatura 20°C , (K)

T – temperatura gasa ($^\circ\text{C}$)

Za izračunavanje emisije suve materije u kg/h može se koristiti izraz 7.5.

$$E_{PM} = Q_w \times C_{PM} \times 3,6 \times \left(1 - \frac{\text{vlaga}}{100}\right) \times \frac{273}{(273 + T)} \quad (7.5)$$

gde je

E_{PM} – emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

Q_w – zapremina vlažnog izduvnog gasa u sekundi (m^3/s)

C_{PM} – koncentracija PM po gramu punjenja (g/m^3)

3,6 - 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kg/g

vlaga – procenat vlage (%)

273 – temperatura 0°C (K)

T – temperatura gasa ($^\circ\text{C}$)

Da bi se izračunala vlaga koristi se jednačina 7.6. Primer izračunavanja dat je u primeru 7.3.

$$\text{Procenat vlage} = 100 \times \frac{\text{težina vodene pare po specifičnoj jedinici zapremine gasa}}{\text{ukupna težina gasa u datoj zapremini}}$$

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})} + \rho_{\text{STP}}} \quad (7.6)$$

gde je:

vlaga – procenat vlage (%)

m_{vlaga} – sakupljena vlaga (g)

$V_{m,\text{STP}}$ – izmerena zapremina uzorka (m^3)

ρ_{STP} – gustina suvog uzorka, kg/m^3 (ukoliko gustina nije poznata, može se koristiti standardna vrednost od $1,62 \text{ kg}/\text{m}^3$, gde se polazi od pretpostavke da se gas sastoji od 50% vazduha i 50% CO_2)

Primer 7.3. Uzorak $1,6 \text{ m}^3$ gasa pri standardnim uslovima, sadrži 350 g vodene pare. Izračunati procenat vlage u datom uzorku. Gustina iznosi $1,62 \text{ kg}/\text{m}^3$.

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})} + \rho_{\text{STP}}}$$

$$\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})} = \frac{350 \text{ g}}{(1000 \times 1,6 \text{ m}^3)} = 0,219 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{vlaga} = 100 \times (0,219 \text{ kg}/\text{m}^3 / (0,219 \text{ kg}/\text{m}^3 + 1,62 \text{ kg}/\text{m}^3)) = 11,9\%$$

7.1.1. Kontinualni emisijski monitoring sistem (CEMS)

Kontinualni emisijski monitoring sistem obezbeđuje kontinualno sakupljanje podataka o emisiji, obično merenjem koncentracije polutanata. Primer podataka potrebnih za kontinualni emisijski monitoring (primer 7.4) dati su u tabeli 7.2. Kada je koncentracija polutanata poznata emisijski faktori se

moгу израчунати množenjem koncentracije polutanata i zapremine gasa ili otpadne vode u kojoj se polutant nalazi.

Tabela 7.2. Primer израчуnavanja emisije upotrebom CEMS podataka

Period	Sadržaj O ₂	Koncentracija (cm ³ /m ³)				Protok gasa (Q)	Stopa produkcije (A)
	% zapremine	SO ₂	NO _x	CO	VOC	m ³ /s	t/h
1	10,3	150,9	142,9	42,9	554,2	8,52	290
2	10,1	144,0	145,7	41,8	582,9	8,48	293
3	11,8	123,0	112,7	128,4	515,1	8,85	270

Vrednost emisije po satu može se računati po jednačini 7.7.

$$E_i = \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{22,4 \times \frac{(T + 273)}{273} \times 10^6} \quad (7.7)$$

gde je:

E_i – emisija polutanta i (kg/h)

C – koncentracija polutanta (cm³/m³)

MW – molarna masa polutanta (g/mol)

Q – realan protok gasa (m³/s)

3600 – konverzioni faktor 3600 sekundi u jednom satu (s/h)

22,4 – zapremina koju zauzima jedan mol gasa pri standardnoj temperaturi i pritisku (0°C i 101,3 kPa) (dm³/mol)

T – temperatura uzorka gasa (°C)

10⁶ – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Godišnja emisija se računa množenjem emisije u kg/h sa brojem sati koliko fabrika radi (OpHrs) kao što je prikazano u jednačini 7.8.

$$E_{kpy,i} = \sum (E_i \times OpHrs) \quad (7.8)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (t/god)

E_i – emisija po satu polutanta i (kg/h)

OpHrs – broj radnih sati u toku godine (h/god)

Emisija u kilogramima polutanta po toni produkta, može da se izračuna deljenjem emisije u kg/h sa stopom produkcije (t/h) tokom nekog definisanog perioda. Ovo je prikazano jednačinom 7.9.

$$E_{kpt,i} = \frac{E_i}{AR} \quad (7.9)$$

gde je:

$E_{kpt,i}$ – emisija polutanta i po toni proizvedenog proizvoda (kg/t)

E_i – emisija po satu polutanta i (kg/h)

AR – stopa produkcije (t/h)

Primer 7.4. Na osnovu podataka dostupnih u tabeli 7.2. izračunati vrednost emisije SO₂ za period 1 ukoliko je poznato da je temperatura gasa 150°C.

$$\begin{aligned} E_{so2,1} &= \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{22,4 \times \frac{(T + 273)}{273} \times 10^6} \\ &= \frac{150,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \times 64 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 8,52 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{22,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \times \frac{(150 + 273)}{273} \times 10^6} = \\ E_{so2,1} &= \frac{296\,217\,907}{34\,707\,692} = 8,53 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Za podatke dobijene u Periodu 2, takođe na 150°C $E_{so2,2} = 8,11 \text{ kg/h}$

Za podatke dobijene u Periodu 3, takođe na 150°C $E_{so2,3} = 7,23 \text{ kg/h}$

Ukoliko su reprezentativni operativni uslovi rada dati u nastavku teksta, potrebno je izračunati ukupnu godišnju emisiju polutanta za sva tri perioda.

Period 1: 1500h; Period 2: 2000 h; Period 3: 1800h

Ukupna emisija za celu godinu računa se upotrebom jednačine 7.8.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= \sum (E_i \times OpHrs) \\ &= E_{so2,1} \times OpHrs + E_{so2,2} \times OpHrs + E_{so2,3} \times OpHrs \\ &= \left(8,53 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1500 \frac{\text{h}}{\text{god}} \right) + \left(8,11 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2000 \frac{\text{h}}{\text{god}} \right) \\ &\quad + \left(7,23 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1800 \frac{\text{h}}{\text{god}} \right) = 42\,021 \frac{\text{kg}}{\text{god}} \end{aligned}$$

Primer 7.4. nastavak:

Emisija izražena u kg/t produkovanog proizvoda ukoliko se posmatra Period 1, a upotrebom jednačine 7.9., izračunava se na sledeći način:

$$E_{kpt,SO_2} = \frac{E_{SO_2}}{A} = \frac{8,53 \frac{kg}{h}}{290 \frac{t}{h}} = 2,94 \times 10^{-2} \frac{kg}{t}$$

7.2. Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata

Maseni bilans identifikuje količinu supstance koja ulazi i izlazi iz procesa, dela opreme ili iz postrojenja. Emisija se računa iz razlike ulaza i izlaza sirovine (jednačina 7.10).

$$E_{kpy,i} = Ulaz_i - Izlaz_i \quad (7.10)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

$Ulaz_i$ – količina polutanta i koji ulazi u proces (kg/god)

$Izlaz_i$ – količina polutanta i koji izlazi iz procesa kao neka vrsta otpada, (kg/god)

Jednačina 7.10. se može napisati i na sledeći način, uzimajući u obzir i količinu polutanata koja prelazi u otpadni tok i u reciklirani material:

$$E_{kpy,i} = \frac{[(Q_{in} \times C_{in}) - (Q_{pr} \times C_{pr}) - (Q_{rec} \times C_{rec}) - (Q_{otpad} \times C_{otpad})]}{10^6} \quad (7.11)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

Q_{in} , Q_{pr} , Q_{rec} , Q_{otpad} – količina sirovog materijala, proizvoda, recikliranog materijala ili otpada, koji su produkovani u toku procesa (generalno izraženo kao kg za čvrste materijale, ili u l za tečnosti)

C_{in} , C_{pr} , C_{rec} , C_{otpad} – koncentracija polutanta i u sirovom materijalu, proizvodu, recikliranom materijalu ili otpadu, koji su produkovani godišnje (mg/kg, mg/l)

10^6 – konverzioni faktor iz miligrama u kilogram

7.3. Primena emisijih faktora za procenu emisije polutanata

U odsustvu drugih informacija, poznati emisijni faktori mogu da se koriste prilikom procene emisije. Emisijni faktori su uglavnom dobijaju generalnim ispitivanjem procesa i proizvoda (kao što su npr. kotlovi koji koriste određenu vrstu goriva). Ove informacije se koriste za povezivanje količine emitovanog materijala sa nekom opštom merom skale aktivnost (npr. za kotlove, faktori emisije se uglavnom zasnivaju na količini goriva koja je utrošena). Faktori emisije zahtevaju „podatke o aktivnosti“, koji se kombinuju sa faktorom za generisanje procene emisije. Generička formula za izračunavanje emisijih faktora data je jednačinom 7.12., dok je primer izračunavanja emisije upotrebom emisijih faktora dat u primeru 7.5. Npr., ukoliko je emisijni faktor izražen kao “kg polutanta/m³ goriva koje sagoreva”, tada bi podaci o aktivnosti trebalo da budu u “m³ goriva koje sagoreva/h”, kako bi se generisao emisijni faktor “kg polutanta/h”.

$$\begin{aligned} \text{Emisijni faktor} \left(\frac{\text{masa}}{\text{jedinica aktivnosti}} \right) \\ \times \text{podaci o aktivnosti} \left(\frac{\text{jedinica aktivnosti}}{\text{vreme}} \right) \\ = \text{emisijni faktor} \left(\frac{\text{masa}}{\text{vreme}} \right) \end{aligned} \quad (7.12)$$

Generalna jednačina koja uključuje emisijne faktore data je izrazom 7.13.

$$E_{kpy,i} = AR \times OpHrs \times EF \times \left[1 - \frac{CE}{100} \right] \quad (7.13)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (t/h)

OpHrs – broj radnih sati u toku godine (h/god)

EF – nekontrolisani emisijni faktor polutanta i (kg/t)

CE – ukupna efikasnost kontrole polutanta i (%)

Jednostavniji prikaz ove jednačine koji se i koristi u najvećem broju slučajeva je:

$$E = AR \times T \times EF \times \left[1 - \frac{ER}{100} \right] \quad (7.14)$$

gde je

E – emisija polutanta (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (t/h)

T – broj radnih sati u toku godine (h/god)

EF – nekontrolisani emisioni faktor polutanta (kg/t)

ER – ukupna efikasnost redukcije polutanta (%)

Primer 7.5. Izračunati emisiju CO prilikom proizvodnje iz postrojenja koje pripada sektoru industrije nemetala, ukoliko je poznata količina polutanta koja se emituje. Postrojenje radi 1500 sati godišnje, a količina proizvoda je 250 t/h.

	NO _x	CO	VOC	HF	Fluoridi
Emisija (kg/t)	0,27	1,65	0,215	0,23	0,28

$$EF_{CO} = 1,65 \text{ kg/t}$$

$$\text{Količina proizvoda} = 250 \text{ t/h}$$

$$CO_{emisija} = EF_{CO} \times \text{količina proizvoda} \times \text{vreme rada}$$

$$CO_{emisija} = 1,65 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 250 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times 1500 \frac{\text{h}}{\text{god}}$$

$$CO_{emisija} = 618750 \frac{\text{kg}}{\text{god}} = 618,75 \frac{\text{t}}{\text{god}}$$

7.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata

Inženjerski proračuni se zasnivaju na fizičkim i hemijskim karakteristikama supstance (npr. napon pare i sl) i matematičkih odnosa (npr. zakon idealnih gasova). Analiza goriva je primer primene inženjerskog proračuna i može se koristiti za predviđanje emisije npr. SO₂ ili metala. Poznavanje podataka o prisustvu nekih elemenata može da se koristi za predviđanje njihove emisije u otpadnim tokovima. Ovo uključuje npr. sumpor, koji se može konvertovati u druge komponente i kao takav se emitovati u životnu sredinu. Osnovna jednačina (jednačina 7.15.) koja se koristi za ovu vrstu proračuna je:

$$E_{kpy,i} = Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (7.15)$$

gde je

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

Q_f – upotreba goriva (kg/h)

$OpHrs$ – broj radnih sati u toku godine (h/god)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – molarna masa polutanta u gorivu (g/mol)

C – koncentracija polutanta u gorivu (%)

Primer jednostavnog računa emisije SO_2 iz spaljivanja goriva može se uraditi iz koncentracije sumpora u samom gorivu (Primer 7.6). Ovaj pristup podrazumeva kompletnu konverziju sumpora u SO_2 . S toga, za svaki kg sumpora ($EW = 32$ g/mol) koji sagori, emitovaće se dva kilograma SO_2 ($MW = 64$ g/mol).

Primer 7.6. Izračunaj emisiju SO_2 iz podataka ukoliko se zna da je protok goriva 10 700 kg/h, procentualni udeo S u gorivu 1,17% i ako je poznato da postrojenje radi 1700 h/god.

Q_f – 10 700 kg/h

Procentualni udeo sumpora u gorivu – 1,17%

$OpHrs$ – 1700 h/god

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \\ &= 10\,700 \frac{kg}{h} \times \frac{1,17}{100} \times \frac{64 \frac{g}{mol}}{32 \frac{g}{mol}} \times 1700 \frac{h}{god} \\ &= 425\,646 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

ZADACI:

1. Upotrebom dobijenih rezultata merenja iz tabele 7.1. potrebno je izračunati emisiju PM prilikom merenja 2 i 3 ukoliko je poznato da je temperatura izduvnih gasova 170°C.

Izrada:

2. Koristeći podatke date u tabeli izračunati emisije CO i NO, ukoliko je poznato da je temperatura gasa 150°C.

Vreme	O2 (%V)	Koncentracija (C) (cm ³ /m ³)			Protok gasa (Q)
		SO ₂	NO	CO	
1	10,3	150,9	142,9	42,9	8,52
2	10,1	144,0	145,7	41,8	8,48
3	11,8	123,0	112,7	128,4	8,85

Izrada:

Izrada:

3. Izračunati emisiju NO_x, VOC, HF i fluorida prilikom proizvodnje cigle, ukoliko se znaju emitovane količine ovih polutanata. Postrojenje radi 1500 sati godišnje, a količina proizvedenih cigli je 250 t/h.

	NO _x	CO	VOC	HF	Fluoridi
Emisija (kg/t)	0,27	1,65	0,215	0,23	0,28

Izrada:

4. Pod pretpostavkom da postrojenje za proizvodnju radi 2500 sati, izračunati emisiju SO_2 . Poznato je da je upotreba goriva 2000 kg/h, a da je udeo sumpora u korišćenom gorivu 1,17 %.

Izrada:

5. Izračunati količinu emitovanih gasova SO_2 (u odnosu na sirovi materijal) prikazanih u tabeli u toku procesa proizvodnje cigle ukoliko je poznato da postrojenje radi 1500 sati godišnje, a za 1 sat proizvede 250 t cigle.

Izvor	Emisija kg polutanta/t formiranog proizvoda					
	SO_2	NO_x	CO	VOC	HF	Fluorid
Sadržaj sumpora u sirovom materijalu >0,07%	22	0,27	1,65	0,215	0,23	0,28
Sadržaj sumpora u sirovom materijalu <0,07%	4,75	0,27	1,65	0,215	0,23	0,28

Izrada:

6. Ukoliko je poznato da se po toni proizvedenog klinkera emituje 2,7 kg NO_x i poznato je da postrojenje radi 1200 sati godišnje i produkuje 247 t/h klinkera, izračunaj emisiju NO_x u toku godine.

Izrada:

7. Ukoliko se prilikom proizvodnje dekorativnog stakla emituje 0,15 kg organskih komponenti i postrojenje radi 1700 sati godišnje kapacitetom 25 t/h, izračunaj emisiju organskih komponenti za posmatranu godinu.

Izrada:

Beleške:

8. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ INDUSTRIJE CELULOZE I PAPIRA

Industrija pulpe (celuloze) i papira je grana industrije koja se bavi proizvodnjom hartije, kartona, raznih vrsta vlakana i sličnih proizvoda. Istorijski gledano industrija pulpe i papira smatra se velikim potrošačem prirodnih resursa (drvo) i energije (fossilna goriva, električna energija), uključujući vodu, i time predstavlja jednog od najvećih potrošača i zagađivača voda. Tehnološki proces proizvodnje celuloze i papira zahteva upotrebu velike količine ulazne vode. To ima za posledicu nastanak otpadnih voda, koje se javljaju u vidu crnih ("crni lug") i belih otpadnih voda. "Crni lug" sadrži veliku koncentraciju organskih materija, fenola, tanina, lignina, itd. Bele vode se javljaju kao posledica obrade starog papira sa ciljem dobijanja papirne mase. Karakteristika belih otpadnih voda je veliki sadržaj vlaknastih materija, a ujedno mala koncentracija rastvorenih organskih materija. Fabrike celuloze i papira generišu niz emisija supstanci od procesa pulpiranja i proizvodnje električne energije. Glavni izvori emisija javljaju se u fazama kuvanja pulpe i beljenja, kao i u proizvodnji energije. Procene emisija navedenih materija u vazduh, vodu i zemlju treba da budu prijavljene za svaku supstancu koja prevazilazi graničnu vrednost.

Emisija u vazduh. Primeri emisije u vazduh uključuju emisiju prašine, isparivanje pare iz kaca, otvorenih posuda ili izlivanja i rukovanja materijalom, emisije koje proizilaze iz ventilacionih otvora, žaluzina i otvorenih vrata zgrade, kao i curenje opreme i curenja iz ventila i prirubnica. Emisioni faktori su uobičajena metoda za utvrđivanje gubitaka usled fugitivnih emisija. Tabela 8.1. prikazuje uobičajenu emisiju u vazduh iz postrojenja za proizvodnju celuloze i papira.

Tabela 8.1. Uobičajena emisija u vazduh iz postrojenja za proizvodnju celuloze i papira

Izvor	Karakteristike efluenta
Kraft povratna peć	Čestične materije (PM ₁₀)
Leteći pepeo iz kotla za drveni otpad i ugalj	Čestične materije (PM ₁₀)
Operacije sulfitnog mlevenja	Sumporni oksidi
Kraft procesi pulpiranja i povraćaja	Redukovani sumporni gasovi
Digestori iveraka i isparavanje matičnog luga	VOC
Svi procesi sagorevanja	Azotni oksidi, SO _x , CO, PM ₁₀

Emisija u vodu. Emisije supstanci u vodu mogu se kategorisati kao ispuštanja u površinske vode (npr. jezera, reke, akumulacije); obalne ili morske vode. Tabela 8.2 prikazuje uobičajenu emisiju u vodu iz postrojenja za proizvodnju celuloze i papira.

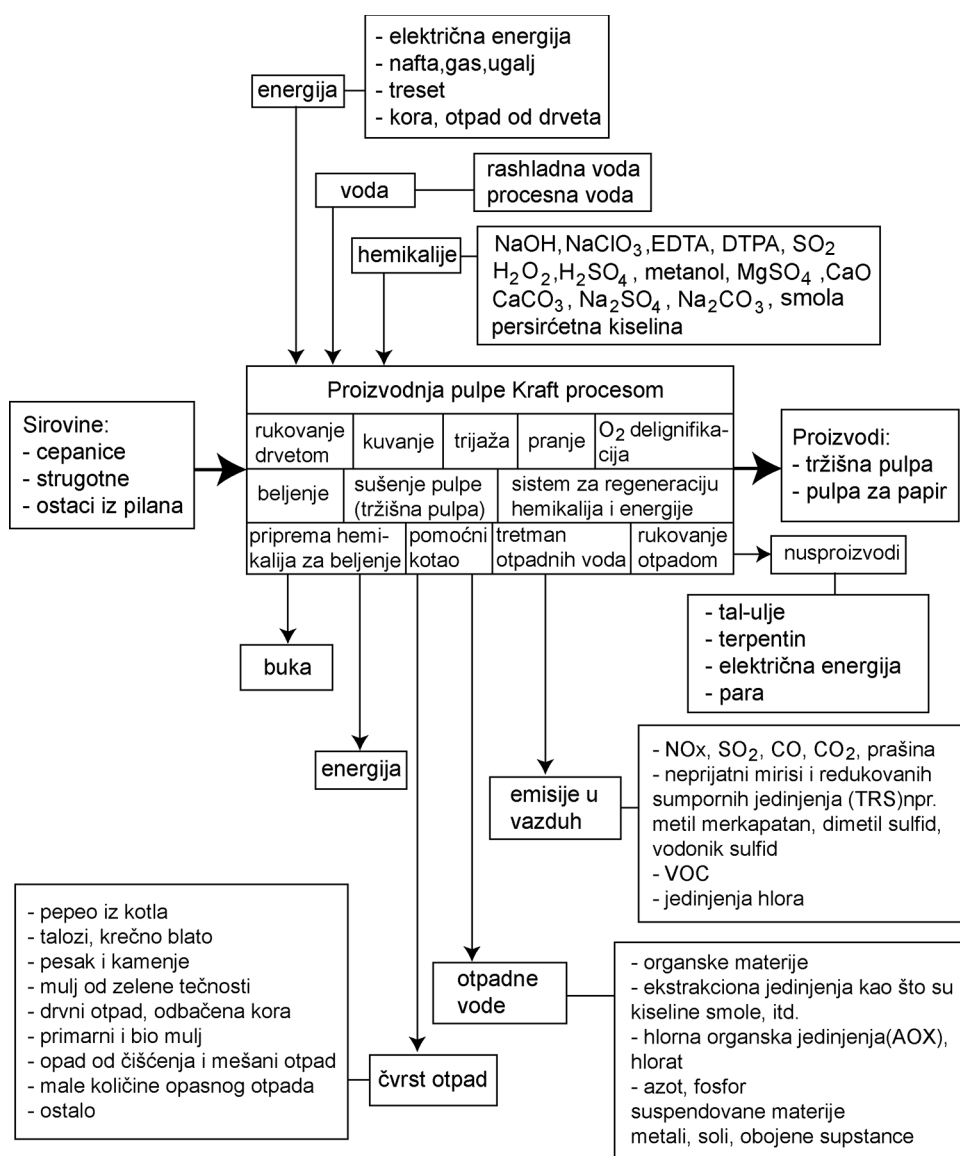
Tabela 8.2. Uobičajena emisija u vode iz postrojenja za proizvodnju celuloze i papira

Izvor	Karakteristike efluenta
Voda korišćena u obradi drveta, uklanjanja kore i pranja ivera	Čvrsta materija, BPK, boja
Digestovanje iveraka i kondenzat isparavanja matičnog luga	Koncentrisano BPK, redukovane sumporne komponente
“Bele vode” od ceđenja pulpe, ugušćavanja i čišćenja	Velike zapremine vode sa suspendovanim materijama, može biti visok BPK
Filtrati od pranja u postrojenju za izbeljivanje	BPK, boja, hlorovane organske komponente
Tokovi od mašina za papir	Čvrsta materija
Izlivanja od obrade vlakana i matičnog luga	Čvrsta materija, BPK, boja

Emisije na zemljište. Ove emisije uključuju čvrsti otpad, muljeve, sedimente, izlivanja i curenja, skladištenje i distribuciju tečnosti koje mogu zadržati toksične supstance. Ovi izvori emisija mogu biti široko kategorizovano kao površinska akumulacija tečnosti i mulja i nenamerno curenje i izlivanje.

Procesni ulazi i emisiji izlazi. Kraft hemijska proizvodnja pulpe i tradicionalno beljenje na bazi hlora koji se obično koristi može stvoriti značajne emisije (slika 8.1). Emisije iz mehaničkog, semi-hemijskog i sekundarnog dobijanja celuloznih vlakana su male u poređenju sa Kraft

hemijskom proizvodnjom, koja je najznačajniji izvor emisije zagađujućih materija u vazduh.



Slika 8.1. Pregled ulaznih i izlaznih tokova za proizvodnju Kraft pulpe (celuloze)

8.1. Primena direktnog merenja za procenu emisije polutanata

Izveštaji o monitoringu često daju podatke o emisijama u kg/h ili g/m³. Godišnje emisije za izveštavanje se mogu izračunati iz ovih podataka. Testove treba izvoditi pod reprezentativnim (tj. normalnim) uslovima rada. Primer podataka dobijenih monitoringom prikazan je u tabeli 8.3. Tabela prikazuje rezultate tri različita uzorkovanja sprovedena tokom jednog test perioda. Parametri izvora izmereni u okviru testa uključuju brzinu gasa i sadržaj vlage koji se koriste za određivanje protoka izduvnih gasova u m³/s. Prirast mase filtera određuje se gravimetrijski i deli sa zapreminom uzorkovanog gasa (kako je prikazano u jednačini 8.1) za određivanje PM koncentracije. Koncentracija zagađujuće supstance se zatim pomnoži sa zapreminskim protokom da se odredi stopa emisije u kilogramima na sat, kako je prikazano u jednačini 8.2 i primeru 8.1.

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (8.1)$$

gde je:

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m³)

C_f – masa koja ostane u filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka (m³)

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times \frac{3600}{1000} \quad (8.2)$$

gde je:

E_{PM} – emisija po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m³)

Q_d – protok gasa (m³/s)

3600 – sekundi po satu (s/h)

1000 – grama po kg (g/kg)

Tabela 8.3. Primer rezultata sprovedenih testova merenja

Parametar	Simbol	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3
Ukupno vreme uzorkovanja (s)		7200	7200	7200
Sakupljena vlaga (g)	vlaga	395,6	372,6	341,4
Masa koja ostane u filteru (g)	C_f	0,0851	0,0449	0,0625
Prosečna brzina uzorkovanja (m ³ /s)		$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$
Zapremina gasa (m ³)	$V_{m,STP}$	1,185	1,160	1,163
Protok gasa (m ³ /s)	Q_d	8,48	8,43	8,45
Koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m ³)	C_{PM}	0,0718	0,0387	0,0537

Primer 8.1. Koristeći podatke iz tabele 8.3. za merenje 1 izračunati koncentraciju i emisiju čestičnih materija.

$$C_{PM} = \frac{c_f}{V_{m,STP}} = \frac{0,085 \text{ g}}{1,185 \text{ m}^3} = 0,072 \text{ g/m}^3$$

$$\begin{aligned} E_{PM} &= C_{PM} \times Q_d \times \frac{3600}{1000} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}} \\ &= 2,20 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Za izračunavanje emisije suve materije u kg/h može se koristiti jednačina 4.3.

$$E_{PM} = \frac{Q_a}{1000} \times 3600 \times 1,2(1 - R) \times \frac{273}{273 + T} \quad (8.3)$$

gde je:

E_{PM} –emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

Q_a – stvarni zapreminski protok gasa (m^3/s)

3600 – konverzioni faktor sekundi po satu (s/h)

1000 – konverzioni faktor grama po kg (g/kg)

1,2 – konstanta (kg/m^3)

R – sadržaj vlage (%)

293 – temperatura 20°C (K)

273 – temperatura 0°C (K)

T – temperatura gasa (°C)

8.1.1. Kontinulani emisioni monitoring sistem (CEMS)

Da bi se pratila emisija SO_2 , NO_x , ukupnih VOC i CO pomoću kontinualnog sistema za monitoring, potrebno je da se koristi oprema za merenje koja meri koncentraciju zagađujućih supstanci u delovima na milion po zapremini suvog vazduha. Potrebno je meriti zapreminsku brzinu protoka. Na osnovu ovih merenja izračunavaju se emisije (kg/h) množenjem koncentracije zagađujućih supstanci u dimnom gasu sa brzinom protoka dimnog gasa. Odabrani podaci kontinualnog monitoringa treba da predstavljaju reprezentativne uslove rada. Kada je moguće, treba koristiti podatke prikupljene tokom dužih perioda. Primer podataka potrebnih za kontinualni emisioni monitoring (primer 8.2) dati su u tabeli 8.4. Kada je

koncentracija polutanata poznata emisijom faktori se mogu izračunati množenjem koncentracije polutanata i zapremine gasa ili otpadne tečnosti u kojoj se polutant nalazi.

Tabela 8.4. Primer izračunavanja emisije kontinualnim prikupljanjem podataka

Period	Sadržaj O ₂	Koncentracija (cm ³ /m ³)				Protok gasa (Q) m ³ /s	Stopa produkcije (AR) t/h
		SO ₂	NO _x	CO	VOC		
	% zapremine						
1	10,3	150,9	142,9	42,9	554,2	8,52	290
2	10,1	144,0	145,7	41,8	582,9	8,48	293
3	11,8	123,0	112,7	128,4	515,1	8,85	270

Emisija polutanta izražena u kg/h se može izračunati pomoću jednačine 8.4 i primera 8.2

$$E_i = \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{V \times 10^6} \quad (8.4)$$

gde je:

E_i – emisija polutanta i (kg/h)

C – koncentracija polutanta i (cm³/m³)

MW – molarna masa polutanta (g/mol)

Q – protok gasa na dimnjaku (m³/s)

3600 – konverzioni faktor, 3600 sekundi u jednom satu (s/h)

V – zapremina jednog mola gasa na standardnom pritisku i temperaturi (22,4 dm³/mol na 0°C i 101325 Pa)

10⁶ – konverzioni faktor za prevođenje mernih jedinica

Alternativno emisija u kg po godini se može izračunati množenjem brzine emisije kg/h sa brojem radnih dana (OpHrs) (jednačina 8.5)

$$E_{kpy,i} = E_i \times OpHrs \quad (8.5)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

E_i – časovna emisija polutanta i (kg/h)

OpHrs – broj radnih sati u godini (h/god)

Emisija u kilogramima zagađujuće supstance po toni potrošenog goriva može se izračunati deljenjem stope emisije (kg/h), sa stopom potrošnje goriva (t/h) tokom istog perioda (jednačina 8.6).

$$E_{kpt,i} = \frac{E_i}{AR} \quad (8.6)$$

gde je:

$E_{kpt,i}$ –emisija zagađujućih supstanci i po toni goriva (kg/t)

E_i – časovna emisija zagađujuće supstance (kg/h)

AR – stopa potrošnje goriva (t/h)

Primer 8.2. Procena emisije SO₂. Primer pokazuje izračunavanje SO₂ emisije primenom jednačine 4 i podataka iz tabele.

$$E_{SO_2} = (C \times MW \times Q \times 3600) / (V \times 10^6)$$

$$C = 150,9 \text{ cm}^3/\text{m}^3$$

$$MW = 64 \text{ g/mol}$$

$$Q = 8,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$E_i = \frac{(C_i \times MW \times Q \times 3600)}{V \times 10^6} = \frac{150,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \times 64 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 8,52 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{22,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \times 10^6}$$

$$= 13,22 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Za Period 2 } E_{SO_2} = 12,56 \text{ kg/h}$$

$$\text{Za Period 3 } E_{SO_2} = 11,2 \text{ kg/h}$$

recimo da su reprezentativni operativni uslovi u toku godine:

$$\text{Period 1} = 1500 \text{ h}$$

$$\text{Period 2} = 2000 \text{ h}$$

$$\text{Period 3} = 1800 \text{ h}$$

Ukupna emisija za godinu =

$$= (13,22 \text{ kg/h} \times 1500 \text{ h/god}) + (12,56 \text{ kg/h} \times 2000 \text{ h/god}) + (11,2 \text{ kg/h} \times 1800 \text{ h/god}) = 65110 \text{ kg/god}$$

Emisija, u kg/t konzumiranog tečnog goriva za period 1, se izračunava:

$$E_{kpt,SO_2} = \frac{E_{SO_2}}{AR} = \frac{13,22 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{290 \frac{\text{t}}{\text{h}}} = 4,56 \times 10^2 \frac{\text{kg}}{\text{t}}$$

8.2. Primena emisijih faktora za procenu emisije polutanata

Faktor emisije je alat koji se koristi za procenu emisija u životnu sredinu. Odnosi se na količinu supstanci koje se emituju iz izvora za neku zajedničku aktivnost povezanu sa tim emisijama. Faktori emisije dobijaju se iz američkih, evropskih i australijskih izvora i obično se izražavaju kao težina emitovane supstance podeljena sa jedinicom težine, zapremine, udaljenosti ili trajanja aktivnosti koje emituju supstancu. Primeri emisijih faktora dati su u prilogu 13.

Faktori emisije se koriste za procenu emisije postrojenja opštom jednačinom:

$$E_{kpy,i} = AR \times T \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (8.7)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i , (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (t/h)

EF – nekontrolisani emisijni faktor polutanta i (kg/t)

CE – sveukupna kontrolna efikasnost za polutant i (%)

Faktori emisije razvijeni na osnovu merenja za određeni proces mogu se ponekad koristiti za procenu emisije na drugim lokacijama. Ukoliko kompanija ima nekoliko sličnih procesa emisija se može meriti iz jednog izvora. Faktor emisije se može razviti i primeniti na za njega slične izvore. Potrebno je da faktor emisije pregleda i odobri nadležno državno telo pre njegove upotrebe za procene.

Primer 8.3. 0,55 kg vodonik-sulfida u isparivaču sa višestrukim efektom emituje se za svaku tonu vazdušno sušene celuloze proizvedene bez ugrađenog uređaja za odzračivanje. Pretpostavlja se da mlin za celulozu radi 1 500 sati godišnje. Izračunati godišnju emisiju.

$EF_{\text{vodonik-sulfid}} = 0,55 \text{ kg/t}$

Brzina proizvodnje pulpe = 100 t/h

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= EF_{\text{vodonik sulfid}} \times \text{Brzina proizvodnje pulpe} \times \text{Vreme rada} \\ &= 0,55 \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} \times 1500 \frac{\text{h}}{\text{god}} = 82,5 \text{ t/god} \end{aligned}$$

8.3. Primena inženjerskog proračuna za procenu emisije polutanata

Analiza goriva je primer inženjerskog proračuna i može se koristiti za predviđanje SO₂, metala i drugih emisija zasnovanih na primeni zakona o očuvanju, ako se meri brzina potrošnje goriva. Prisustva određenih elemenata u gorivima može se koristiti za predviđanje njihovog prisustva u emisijama tokovima. To uključuje elemente, kao što je sumpor, koji se tokom procesa sagorevanja može pretvoriti u druga jedinjenja. Osnovna jednačina koja se koristi u proračunu emisija u analizi goriva je sledeća:

$$E_{kpy,i} = Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (8.8)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija zagađujuće materije i (kg/god)

Q_f – potrošnja goriva (kg/h)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – molarna masa polutanta u gorivu (g/mol)

C – koncentracija polutanata u gorivu izražena kao težinski procenat (%)

$OpHrs$ – radni sati (h/god)

Primer 8.4. Ovaj primer pokazuje kako se emisije SO₂ može izračunati iz sagorevanja nafte na osnovu rezultata analize goriva i informacija o protoku goriva. Pretpostavlja se da mlin za celulozu radi 1500 sati godišnje.

Pretpostavljeni Q_f – 2000 kg/h

Težinski procenat sumpora u gorivu – 1.17

$$\begin{aligned} E_{so2} &= Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW_p}{MW_f} \times OpHrs \\ &= 2000 \frac{kg}{h} \times \frac{1,17}{100} \times \frac{64 \frac{g}{mol}}{32 \frac{g}{mol}} \times 1500 \frac{h}{god} = 70\,200 \frac{kg}{god} \\ &= 70,2 \frac{t}{god} \end{aligned}$$

ZADACI:

1. Koristeći podatke iz tabele izračunati emisiju i koncentraciju PM za oba merenja.

Parametar	Simbol	Merenje 1	Merenje 2
Ukupno vreme uzorkovanja (s)		7400	7400
Sakupljena vlaga (g)	vlaga	391,6	374,6
Masa koja ostane u filteru (g)	C_f	0,0844	0,05789
Prosečna brzina uzorkovanja (m^3/s)		$1,57 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-4}$
Zapremina gasa (m^3)	$V_{m,STP}$	1,085	1,120
Protok gasa (m^3/s)	Q_d	8,41	8,48
Koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m^3)	C_{PM}	0,0724	0,0397

Izrada:

2. Koristeći podatke iz tabele izračunati emisiju SO₂, NO i CO za oba merenja ukoliko je poznato da je postrojenje radilo: Period 1 = 1000 h, Period 2 = 2500 h i Period 3 = 1500 h

Period	Sadržaj O ₂	Koncentracija (cm ³ /m ³)			Protok gasa (Q)	Stopa produkcije (AR)
	% zapremine	SO ₂	NO	CO	m ³ /s	t/h
1	11,5	147,9	144,9	55,9	8,46	290
2	12,6	154,0	171,7	48,7	8,55	293
3	10,4	153,0	131,7	64,1	8,89	270

Izrada:

3. Izračunati godišnju emisiju H_2S ukoliko je poznato da postrojenje za proizvodnju pulpe radi 1200 sati godišnje kapacitetom od 15000 kg/h i emituje 0,4 kg H_2S po toni pulpe.

Izrada:

4. Izračunati koliko dana godišnje radi postrojenje za proizvodnju celuloze i papira, ukoliko je poznato da je protok goriva u postrojenju 1500 kg/h, težinski procenat sumpora u gorivu 1,17, a emisija sumpor(IV)–oksida 69,7 t/god.

Izrada:

Beleške:

9. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ INDUSTRIJE TEKSTILA

Tekstilna industrija predstavlja jedan od najstarijih i najkomplikovanijih industrijskih lanaca u prerađivačkoj industriji. To je fragmentiran i heterogen sektor kojim dominiraju, na prvom mestu, mala i srednja preduzeća. Njihova proizvodnja za osnovu ima tri glavna krajnja cilja upotrebe: odeća, uređenje doma i industrijska upotreba. Tekstilna industrija je vodeća industrija u mnogim zemljama, uključujući Kinu, Singapur, Tursku i Bangladeš. U Evropskoj Uniji, Italija je vodeći proizvođač, daleko ispred Nemačke, Francuske i Španije (datim redom). Ove zemlje zajedno čine preko 80% industrije tekstila i odeće u EU. Svakako da ovaj sektor predstavlja važan deo evropske prerađivačke industrije i ima ključnu ulogu u ekonomiji i socijalnoj dobrobiti u mnogim regionima Evrope. Uobičajene emisije u vazduh uključuju supstance kao VOC, NO_x, SO₂, CO i čestične materije PM₁₀. Tehnologije za kontrolu emisije vazduha, poput elektrofiltera, vrećastih filtera i mokrih skrubera, obično se instaliraju kako bi se prethodno smanjila koncentracija čestica u otpadnim gasovima. *Emisije supstanci u vodu* mogu se kategorisati kao ispuštanja u: površinske vode (npr. jezera, reke, akumulacije); obalne ili morske vode. Zbog značajnih opasnosti po životnu sredinu koje mogu izazvati toksične supstance ispuštanjem u vodu, većina objekata prati emitovanje supstanci u vodene puteve i meri sve emisije. *Emisije na zemljište* uključuju čvrst otpad, muljeve, sedimente, izlivanja i curenja, skladištenje i distribuciju tečnosti koje mogu sadržati toksične supstance. Ovi izvori emisija mogu biti široko kategorizovano kao površinsko zadržavanje tečnosti i mulja; i nenamerno curenje i izlivanje. Emisije u zemljište, vazduh i vodu od izlivanja moraju se proceniti i dodati procesnim emisijama pri izračunavanju ukupnih emisija u svrhu izveštavanja.

9.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata

Direktna merenje se vrše u svrhu izveštavanja, i prikupljaju se tokom određenog vremenskog perioda i reprezentativna su za operacije za celu godinu. Izveštaji o monitoringu često daju podatke o emisijama u kg/h ili g/m³. Godišnje emisije se mogu izračunati iz ovih podataka. Primer sprovedenih testova je prikazan u tabeli 9.1. Tabela daje prikaz merenja tri različita merenja. Parametri izmereni kao deo testa uključuju brzinu gasa i sadržaj vlage. Težina čestičnih materija (koje se u ovom primeru računaju) određivala se gravimetrijski i podeljena je sa zapreminom uzorkovanog gasa, kao što je prikazano jednačinom 9.1 kako bi se dobila koncentracija u g/m³. Koncentracija polutanta je zatim pomnožena sa zapreminskim protokom kako bi se odredila emisija u kg/h, kao što je prikazano jednačinom 9.2. i primerom 9.1.

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (9.1)$$

gde je:

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija (g/m³)

C_f – masa koja ostane u filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka (m³)

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} \quad (9.2)$$

gde je:

E_{PM} – stopa emisije čestica po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m³)

Q_d – protok gasa (m³/s)

3,6 – 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kg/g

T – temperatura uzorka gasa (°C)

Tabela 9.1. Primer rezultata sprovedenih testova merenja

Parametar	Simbol	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3
Ukupno vreme uzorkovanja (s)		7200	7200	7200
Sakupljena vlaga (g)	vlaga	395,6	372,6	341,4
Masa koja ostane u filteru (g)	C_f	0,0851	0,0449	0,0625
Prosečna brzina uzorkovanja (m ³ /s)		$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$
Zapremina gasa (m ³)	$V_{m,STP}$	1,185	1,160	1,163
Protok gasa (m ³ /s)	Q_d	8,48	8,43	8,45

Primer 9.1. Izračunati emisiju PM korišćenjem jednačine 9.1 i jednačine 9.2 korišćenjem podataka uzorkovanja za merenje 1. datih u tabeli 9.1. ukoliko je temperatura izlaznog otpadnog gasa bila 150 °C.

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} = \frac{0,0851 \text{ g}}{1,185 \text{ m}^3} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} E_{PM} &= C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} \\ &= 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3,6 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times \frac{273}{273 + 150} \\ &= 1,42 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Informacije nekih merenja (uzorkovanja) mogu biti izražene u gramima čestica po metru kubnom izlaznog otpadnog gasa (vlažnog). Za izračunavanje emisije suve materije u kg/h može se koristiti jednačina 9.3.

$$E_{PM} = Q_w \times C_{PM} \times 3,6 \times \left(1 - \frac{\text{vlaga}_R}{100}\right) \times \frac{273}{273 + T} \quad (9.3)$$

gde je :

E_{PM} – emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

Q_w – protok otpadnog gasa u sekundi (m^3/s)

C_{PM} - koncentracija čestičnih materija (g/m^3)

3,6 – 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kg/g

vlaga_R – sadržaj vlage, %

273 – 273 K (0 °C)

T – temperatura izlaznog gasa (°C)

Da bi se izračunala vlaga koristi se jednačina 9.4. Primer izračunavanja dat je u primeru 9.2.

Procenat vlage =

$$= 100 \times \frac{\text{težina vodene pare po specifičnoj jedinici zapremine gasa}}{\text{ukupna težina gasa u datoj zapremini}}$$

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,STP})}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,STP})} + \rho_{STP}} \quad (9.4)$$

gde je:

vlaga – procenat vlage (%)

m_{vlaga} – sakupljena vlaga (g)

$V_{\text{m, STP}}$ – izmerena zapremina uzorka (m^3)

ρ_{STP} – gustina suvog uzorka, kg/m^3 (ukoliko gustina nije poznata, može se koristiti standardna vrednost od $1,62 \text{ kg}/\text{m}^3$, gde se polazi od pretpostavke da se gas sastoji od 50% vazduha i 50% CO_2)

1000 – konverzioni faktor za pretvaranje jedinica

Da bi se izračunao sadržaj vlage koristiti jednačinu 9.4.

Primer 9.2. Uzorak gasa od $1,2 \text{ m}^3$ sadrži 410g vode. Da bi se izračunao sadržaj vlage koristiti jednačinu 9.4.

$$vlaga_R = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{\text{m, STP}})}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{\text{m, STP}})} + \rho_{\text{STP}}}$$

$$\frac{m_{\text{vlaga}}}{1000} \times V_{\text{m, STP}} = \frac{410 \text{ g}}{1000 \times 1,2 \text{ m}^3} = 0,342 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$vlaga_R = 100 \times \frac{0,342 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,342 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 17,4\%$$

9.2. Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata

Maseni bilans identifikuje količinu supstance koja ulazi i izlazi iz čitavog postrojenja, procesa ili komada oprema. Emisije se mogu izračunati kao razlika između ulaza i izlaza svakog od navedenih supstanca.

9.3. Primena emisijih faktora za procenu emisije polutanata

Emisioni faktori predstavljaju alat koji se koristi za procenu emisija u životnu sredinu. Odnosi se na količinu supstanci koje se emituju iz izvora za neku zajedničku aktivnost povezanu sa tim emisijama. Faktori emisije dobijaju se iz američkih, evropskih i australijskih izvora i obično se izražavaju kao težina emitovane supstance podeljena sa jedinicom težine, zapremine, udaljenosti ili trajanja aktivnosti koje emituju supstancu.

Generalna jednačina koja uključuje emisione faktore data je sledećim izrazom:

$$E_{kpy,i} = AR \times OpHrs \times EF \times \left[1 - \frac{CE}{100} \right] \quad (9.4)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (t/h)

OpHrs – broj radnih sati u toku godine (h/god)

EF – nekontrolisani emisioni faktor polutanta (kg/t)

CE – ukupna efikasnost kontrole polutanta (%)

Faktori emisije razvijeni na osnovu merenja za određeni proces mogu se ponekad koristiti za procenu emisije na drugim lokacijama. Ukoliko kompanija ima nekoliko sličnih procesa, emisije se mogu meriti iz jednog izvora. Faktor emisije se može razviti i primeniti na za njega slične izvore. Potrebno je da faktor emisije pregleda i odobri nadležno državno telo pre njegove upotrebe za procene.

9.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata

Inženjerski proračun (primer 9.3) je metoda procene zasnovana na fizičko-hemijskim svojstvima (npr. pritisak pare) supstance i matematičkih odnosi (npr. zakon idealnog gasa). Analiza goriva je primer inženjerskog proračuna i može se koristiti za predviđanje SO_2 , metala i drugih emisije zasnovanih na primeni zakona o očuvanju, ako se meri brzina potrošnje goriva. Prisustvo određenih elemenata u gorivima može se koristiti za predviđanje njihovog prisustva u emisionim tokovima. To uključuje elemente, kao što je sumpor, koji se tokom procesa sagorevanja može pretvoriti u druga jedinjenja. Osnovna jednačina koja se koristi u proračunu emisija u analizi goriva je sledeća:

$$E_{kpy,i} = Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (9.5)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija zagađujuće materije i (kg/god)

Q_f – potrošnja goriva (kg/h)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – molarna masa polutanta u gorivu (g/mol)

C – koncentracija polutanata u gorivu izražena kao težinski procenat (%)

OpHrs – radni sati (h/god)

Na primer, emisija SO₂ pri sagorevanju nafte može se izračunati na osnovu koncentracije sumpora u nafti. Ovaj pristup pretpostavlja potpunu konverziju sumpora u SO₂. Prema tome, za svaki kilogram sumpora (EW = 32 g/mol), emituje se dva kilograma SO₂ (MW = 64 g/mol).

Primer 9.3. Izračunaj emisiju SO₂ ukoliko je poznato da postrojenje radi 1500 sati godišnje, sa potrošnjom goriva od 2000 kg po satu i težinskim udelom sumpora u gorivu od 1,17%. Molarna masa SO₂ je 64 g/mol, a molarna masa sumpora iznosi 32 g/mol.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \\ &= 2000 \frac{kg}{h} \times \frac{1,17}{100} \times \frac{64 \frac{g}{mol}}{32 \frac{g}{mol}} \times 1500 \frac{h}{god} \\ &= 20 \frac{kg}{h} \times 1500 \frac{h}{god} = 70\,200 \, kg/god \end{aligned}$$

ZADACI

1. Izračunaj emisiju čestičnih materija u sva tri slučaja, na temperaturi od 135°C, na osnovu podataka datih u tabeli.

Parametar	Simbol	Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3
Vreme uzorkovanja (s)		7500	7500	7500
Prikupljena vlaga (g)	g_{moist}	178,9	201,4	204,7
Uhvaćeno na filter (g)	C_f	0,0784	0,0697	0,0641
Prosečna brzina uzorkovanja (m^3/s)		$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$
Standardna zapremina (m^3)	$V_{\text{m, STP}}$	1,098	1,130	1,187
Zapreminski protok (m^3/s)	Q_d	8,40	8,77	8,96

Izrada:

2. Zapremina uzorka gasa $1,7 \text{ m}^3$ sadrži $0,54 \text{ kg}$ vode. Izračunati sadržaj vlage u gasu.

Izrada:

3. Ukoliko postrojenje radi 68 dan/god , ima protok gasa od 2000 kg/h i procenat S u gorivu $1,17\%$ izračunati emisiju SO_2 . Poznato je da je molarna masa SO_2 64 g/mol , a molarna masa sumpora 32 g/mol .

Izrada:

Beleške:

10. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ POGONA ZA ŠTAVLJENJE I PRERADU KOŽE

Koža je često glavna sirovina, koja se primenjuje za izradu obuće, odeće, kožnog nameštaja i mnogo drugih predmeta koji imaju svakodnevnu upotrebu. Ove različite aplikacije zahtevaju različite vrste kože. Štavljenje i prerada kože stvaraju druge nusproizvode, koji nalaze svoju primenu u nekoliko industrijskih sektora, kao što su proizvodnja hrane za životinje, fine hemikalije, uključujući hemikalije za fotografije i kozmetiku, kao i za đubriva u poljoprivredi. Proces izrade kože je uvek bio povezan sa neprijatnim mirisom i zagađenjima, što se, u prethodnom periodu, činilo kao neizbežna posledica proizvodnih aktivnosti. Većina osnovnih faza u izradi kože su i dalje iste, ali industrija štavljenja pretrpela je značajne promene, dok je u pogledu zaštite životne sredine napravljen veliki napredak. Značajan potencijalni uticaj štavljenja i povezanih aktivnosti na vazduh, površinske i podzemne vode, zemljišta i resurse, nastaje zbog primenjenih hemikalija, sirovina, otpadne vode, otpada i ispuštenih gasova generisanih u procesu. Ekološki problemi igraju važnu ulogu, ali socijalni i ekonomski faktori su takođe podjednako važni. Proizvodnja krzna i kože zavisi od navika stanovništva i stope potrošnje mesa. Postupci proizvodnje, korišćene hemikalije, kao i emisioni nivoi razlikuju se u zavisnosti od vrste kože koja se proizvodi.

Emisija u vazduh. Primeri emisije u vazduh uključuju emisiju prašine, isparivanje pare iz kaca, otvorenih posuda ili izlivanja i rukovanja materijalom, emisije koje proizlaze iz ventilacionih otvora, žaluzina i otvorenih vrata zgrade, kao i curenje opreme i curenja iz ventila i priborica. Emisioni faktori su uobičajena metoda za utvrđivanje gubitaka usled fugitivnih emisija.

Emisija u vodu. Emisije supstanci u vodu mogu se kategorisati kao ispuštanja u površinske vode (npr. jezera, reke, akumulacije); obalne ili morske vode. Zbog značajnih opasnosti po životnu sredinu usled emitovanih toksičnih supstanci, ove emisije se pažljivo nadgledaju i mere. Ovi postojeći podaci o uzorkovanju mogu se koristiti za izračunavanje godišnje emisije.

Emisija na zemljište. Ove emisije uključuju čvrsti otpad, muljeve, sedimente, izlivanja i curenja, skladištenje i distribuciju tečnosti koje mogu zadržati toksične supstance. Ovi izvori emisija mogu biti široko kategorizovano kao površinska akumulacija tečnosti i mulja i nenamerno curenje i izlivanje. Emisije na zemljište iz postrojenja za štavljenje i završnu obradu kože mogu nastati iz: navodnjavanja otpadnim vodama; čvrstog otpada i muljeva; i slučajnim izlivanjem ili curenjem.

10.1. Primena direktnog merenja za procenu emisije polutanata

Direktna merenja se vrše u svrhu izveštavanja, i prikupljaju se tokom određenog vremenskog perioda i reprezentativna su za operacije za celu godinu. Izveštaji o monitoringu često daju podatke o emisijama u kg/h ili g/m³. Godišnje emisije se mogu izračunati iz ovih podataka.

Procena emisije od navodnjavanja otpadnom vodom. Ako se efluent koristi za navodnjavanje, moguće je proceniti emisije u zemljište iz prosečne koncentracije određenih zagađujućih materija u efluentu i prosečne količine otpadnih voda za navodnjavanje zemljišta godišnje (primer 10.1). Ovaj metod može biti posebno važan i koristan za procenu emisija hroma (III) (Cr(III)) i amonijaka, koji se mogu naći u otpadnim vodama.

Osnovna jednačina za izvođenje ovog proračuna prikazana je sledećim izrazom:

$$E_{kpy,i} = \frac{C_i \times V}{1000} \quad (10.1)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

C_i – koncentracija polutanta u otpadnoj vodi (mg/l)

V – zapremina otpadne vode za navodnjavanje (m³/god)

1000 – konverzioni faktor (1000000 mg/kg/1000 l/m³)

Primer 10.1. Izračunati emisiju Cr(III) u postupku štavljenja, ukoliko je poznato da se 100 000 m³ otpadnih voda se koristi za navodnjavanje u jednoj godini. Prosečna koncentracija Cr(III) u ovoj otpadnoj vodi je 5 mg/l.

$$E_{kpy,CrIII} = \frac{c_{Cr III} \times V}{1000} = \frac{5 \frac{mg}{l} \times 100000 \frac{m^3}{god}}{1000 \frac{mg \cdot m^3}{kg \cdot l}} = 500 \frac{kg}{god}$$

Stoga se iz ovog postupka štavljenja emituje 0,5 tona Cr(III) godišnje kroz navodnjavanje zemljišta.

Jednačina 10.2 se koristi da konvertuje koncentraciju supstance u jednačini 10.1 u satnu emisiju te supstance.

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{273 + T} \quad (10.2)$$

gde je:

E_{PM} – emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija (g/m³)

Q_d – zapreminski protok gasa (m³/s)

3,6 – 3600 sekundi po satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kg/g

T – temperatura uzorka gasa (°C)

10.1.1. Kontinuirani sistem praćenja emisija (CEMS)

Kontinuirani sistem praćenja emisija obezbeđuje kontinuiranu evidenciju emisija tokom vremena, obično izveštavanjem o koncentraciji zagađujuće materije. Jednom kada je poznata koncentracija zagađujuće materije, emisije se dobijaju množenjem koncentracije zagađujuće materije sa zapreminskim protokom gasa ili tečnosti otpadnog toka te zagađujuće materije.

10.2. Primena masenog bilansa za procenu emisije polutanata

Maseni bilans identifikuje količinu supstance koja ulazi i izlazi iz čitavog postrojenja, procesa ili dela opreme. Emisija se može izračunati kao razlika između ulaza i izlaza svake od navedenih supstanci. Akumulacija ili trošenje supstance u opremi treba da se uvrsti u ovaj proračun.

10.3. Primena emisionih faktora za procenu emisije polutanata

Generalna jednačina koja se koristi za izračunavanje emisionih faktora data je izrazom 10.3.

$$E_{kpy,i} = AR \times OpHrs \times EF \times \left(1 - \frac{CE}{100}\right) \quad (10.3)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (t/h)

OpHrs – broj radnih sati postrojenja (h/god)

EF – nekontrolisani emisioni faktor polutanta (kg/t)

CE – sveukupna kontrolna efikasnost za polutant (%)

Faktori emisije razvijeni na osnovu merenja za određeni proces mogu se ponekad koristiti za procenu emisije na drugim lokacijama. Ukoliko kompanija ima nekoliko sličnih procesa emisija se može meriti iz jednog izvora. Faktor emisije se može razviti i primeniti na za njega slične izvore. Potrebno je da faktor emisije pregleda i odobri nadležno državno telo pre njegove upotrebe.

10.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata

Inženjerski proračun je metoda procene zasnovana na fizičko-hemijskim svojstvima (npr. pritisak pare) supstance i matematičkih odnosa (npr. zakon idealnog gasa). Analiza goriva je primer inženjerskog proračuna i može se koristiti za predviđanje SO₂, metala i drugih emisije zasnovanih na primeni zakona o očuvanju, ako se meri brzina potrošnje goriva. Prisustvo određenih elemenata u gorivima mogu se koristiti za predviđanje njihovog prisustva u emisionim tokovima. To uključuje elemente, kao što su sumpor, koji se tokom procesa sagorevanja može pretvoriti u druga jedinjenja. Osnovna jednačina koja se koristi u proračunu emisija u analizi goriva je sledeća:

$$E_{kpy,i} = Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (10.4)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

Q_f – potrošnja goriva (kg/h)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – molarna masa polutanta u gorivu (g/mol)

C - koncentracija polutanata u gorivu izražena kao težinski procenat (%)

OpHrs – broj radnih sati postrojenja (h/god)

Na primer, emisije SO₂ od sagorevanja uglja mogu se izračunati na osnovu koncentracije sumpora u uglju. Ovaj pristup podrazumeva potpunu konverziju sumpora u SO₂. Prema tome, za svaki kilogram sumpora (EW = 32 g/mol), emituju se dva kilograma SO₂ (MW = 64 g/mol).

Primer 10.2. Izračunaj emisiju SO₂ ukoliko je poznato da postrojenje radi 1500 sati godišnje, sa potrošnjom goriva od 2000 kg po satu i težinskim udelom sumpora u gorivu od 0,5 %. Molarna masa SO₂ je 64 g/mol, a molarna masa sumpora iznosi 32 g/mol.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= Q_f \times \frac{C}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \\ &= 2000 \frac{kg}{h} \times \frac{0,5}{100} \times \frac{64 \frac{g}{mol}}{32 \frac{g}{mol}} \times 1500 \frac{h}{god} \\ &= 20 \frac{kg}{h} \times 1500 \frac{h}{god} = 30\,000 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

ZADACI

1. Izračunati emisiju SO_2 iz postrojenja koje radi 7141 h godišnje na osnovu sadržaja sumpora u uglju ukoliko su poznati sledeći parametri: protok goriva 2900 kg/h i procenat sumpora u gorivu 0,75%

Izrada:

2. Izračunati emisiju hroma na zemljište ukoliko su dati sledeći podaci:

- Godišnja produkcija otpadnih voda je 75 000 m³
- Prosečna koncentracija hroma u otpadnoj vodi je 7,5 mg/l

Izrada:

Beleške:

11. DEO

EMISIONI FAKTORI IZ POLJOPRIVREDNO- PREHRAMBENOG SEKTORA

Poljoprivredno-prehrambena industrija ima dve karakteristike:

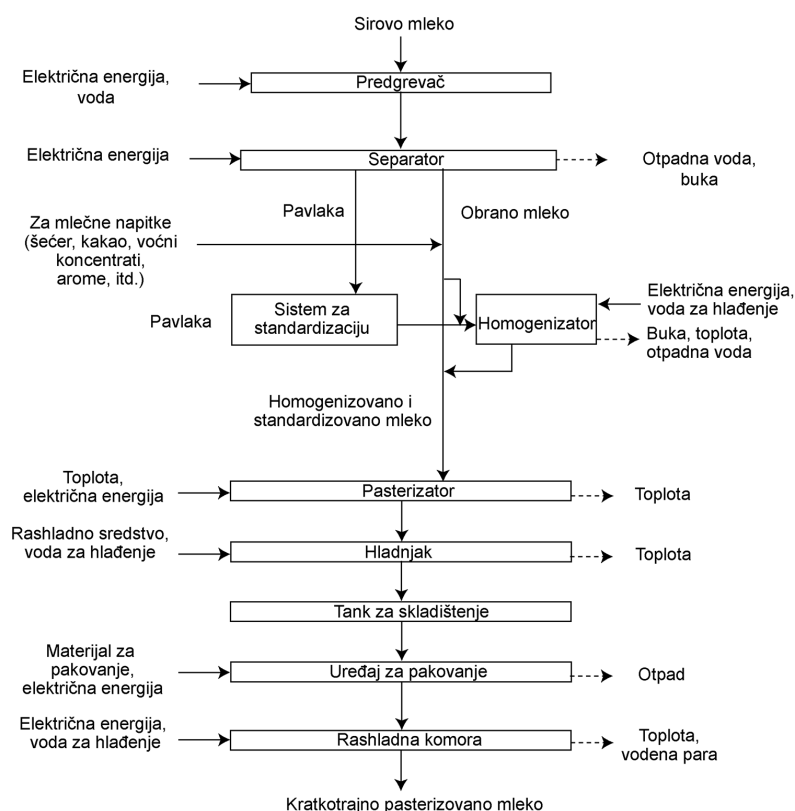
- (i) sezonski način rada (sezonsko ispuštanje zagađujućih materija)
- (ii) visoku potrošnju vode (koristi se za pranje i transport sirovina i proizvoda; generisanje pare; kao sirovina (npr., za pića); u bazenima za pranje sirovina, proizvoda, opreme, pumpi, podova i dr. i za hlađenje)

Različite potrebe za vodom stvaraju različite karakteristike otpadne vode. Ipak, njihove zajedničke osobine su da sadrže esencijalne organske materije iz proizvodnje i lako biodegradabilan organski ugljenik, kao i da imaju osobinu brze acidifikacije i fermentacije.

Posledice sezonskog načina rada su: (i) potrebe za preradom poljoprivrednog sirovog materijala što je pre moguće od trenutka branja (u vinogradarstvu, fabrikama voća povrća i šećera) i (ii) sezonske potrebe od strane konzumera (industrija pića). Ovakav način proizvodnje stvara velike varijacije u koncentraciji i količini zagađujućih materija koje se moraju procesuirati. Zagađenje može biti veoma visoko tokom kratkog vremenskog perioda, što zahteva da postrojenja za tretman otpadnih tokova budu projektovana za dva operativna moda, jedan za „vrhunac sezone“ i jedan za rad „van sezone“. U ovom poglavlju obrađeni su načini procene emisije u životnu sredinu iz različitih poljoprivredno-prehrambena industrija. Primeri uticaja na životnu sredinu iz sektor industrije za proizvodnju mleka, stočarsku proizvodnju i proizvodnju konzervisanog povrća dati su na slikama 11.1., 11.2. i 11.3.

U proizvodnji hrane karakteristični izvori emisija su: (1) transport sirovina do postrojenja za proizvodnju hrane, prijem i skladištenje sirovina u

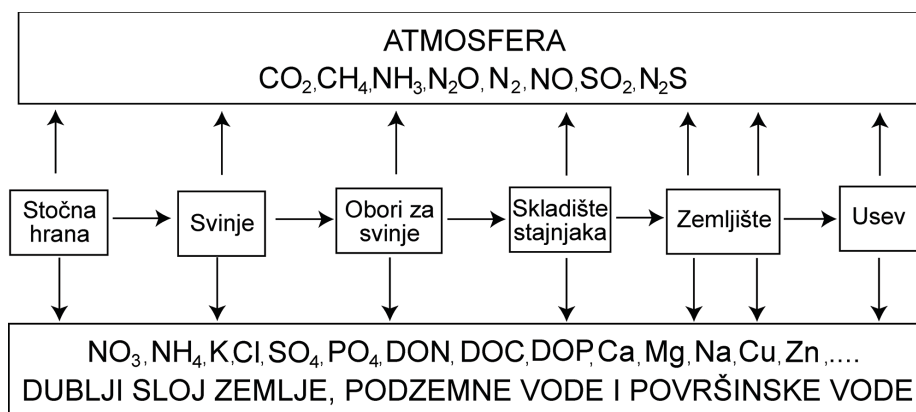
postrojenju; i (2) proces proizvodnje hrane, u okviru koga se mogu posmatrati pojedinačni pogoni kao posebni izvori emisija ili se u okviru tehnološkog procesa proizvodnje mogu posmatrati pojedine faze procesa (ili jedinični procesi) kao posebni izvori emisija, uključivši tu procese čišćenja i sanitacije pogona, kao i dobijanje energije za potrebe proizvodnje. Proizvodnja mleka ima značajan udeo u ukupnoj proizvodnji hrane (mereno po količini). To je drugi po redu važan sektor, posle proizvodnje pića. Industrija mleka troši velike količine vode u proizvodnom procesu ali je evidentno da velike količine efluenta nastanu (uzima se u obzir i otpadna voda nakon pranja).



Slika 11.1. Šematski prikaz sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu za sektor proizvodnje mleka

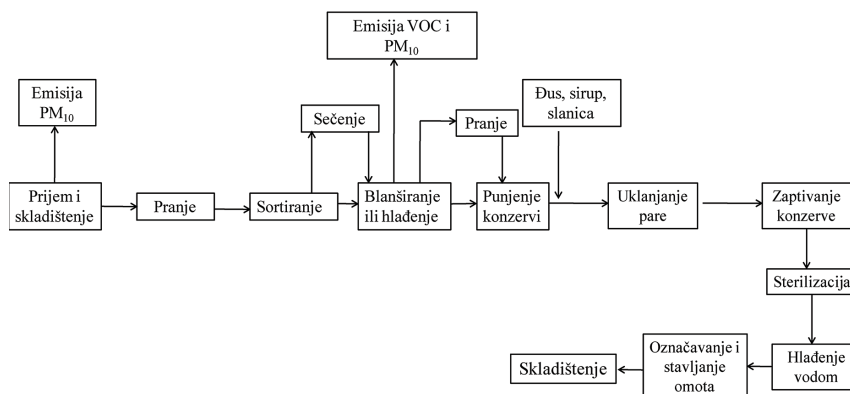
Poljoprivredne aktivnosti na farmama za intenzivni uzgoj živine, goveda i svinja potencijalno mogu da doprinesu čitavom nizu pojava u životnoj sredini: (i) acidifikacija; (ii) eutrofikacija; (iii) oštećenje ozonskog omotača;

(iv) povećanje efekta staklene bašte; (v) ekstremna suša; (vi) uticaj na lokalno stanovništvo; (vii) difuzno širenje metala i pesticida.



Slika 11.2. Šematski prikaz sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu za sektor stočarske proizvodnje

Proizvodi prerade povrća se uglavnom razvrstavaju prema postupcima konzervisanja. Specifični proizvodi su tzv. marinirano povrće (povrće konzervisano u slano-kiselom rastvoru) i povrće konzervisano mlečno kiselinskom fermentacijom. Od nekih vrsta povrća proizvode se kaše (pirei), npr. od spanaća, ili sokovi, npr., od mrkve i cvekle i paradajza. Po važnosti slede i prerada krompira, kukuruza, maslina, graška, itd. Neka voća i povrća se prerađuju u gotova jela. U tu svrhu, u zavisnosti od vrste voća i povrća, koriste se različiti procesi i razni proizvodi. U većini instalacija, raznovrsna voća i povrća se istovremeno obrađuju u različite proizvode. Većina instalacija rade u sezoni u skladu sa rotacijom useva. Međutim, neke proizvodne linije nisu pogođene sezonskim oscilacijama, posebno u slučaju mogućnosti čuvanja sirovina u zamrznutom stanju.



Slika 11.3. Šematski prikaz sa označenim mestima nastanka komponenti koje se emituju u životnu sredinu za sektor konzervisanja povrća

Procena emisije podrazumeva upotrebu:

- (i) direktnih merenja;
- (ii) masenog bilansa;
- (iii) emisionih faktora; i
- (iv) inženjerske proračune

11.1. Primena direktnih merenja za procenu emisije polutanata

U ovom delu daje se prikaz kako i na koji način se može izračunati emisija u kg/h na osnovu podataka dobijenih uzorkovanjem i direktnim merenjem, a zatim i konvertovanjem dobijenih podataka u godišnju emisiju. Primer sprovedenih testova je prikazan u tabeli 11.1. Osnovna jednačina za proračun emisije data je izrazom 11.1., a primena te jednačine je data u primeru 11.1.

$$E_{kpy,i} = \frac{C_i \times V}{1000} \quad (11.1)$$

gde je

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

C_i – koncentracija polutanta i u otpadnim vodama (mg/l)

V – zapremina otpadne vode u toku godinu dana (m³/god)

1000 – konverzioni faktor $\left(\frac{1\,000\,000 \frac{mg}{kg}}{1\,000 \frac{l}{m^3}} \right)$

Primer 11.1. Iz postrojenja za proizvodnju mleka, 100 000 m³ otpadne vode se produkuje u toku godine. Ako je prosečna koncentracija hlora u otpadnoj vodi 1mg/l potrebno je izračunati emisiju na zemljište.

Rešenje:

$$E_{kpy,i} = \frac{C_i \times V}{1000} = \frac{1 \frac{mg}{l} \times 100\,000 \frac{m^3}{god}}{1000 \frac{mg\,m^3}{kg\,l}} = 100 \frac{kg}{god}$$

Pored gore navedene jednačine, za izračunavanje emisije polutanata koriste se i jednačine 11.2. i 11.3. (primer 11.2).

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m,STP}} \quad (11.2)$$

gde je:

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m³)

C_f – masa koja ostane u filteru (g)

$V_{m,STP}$ – zapremina uzorka (m³)

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \frac{273}{(273 + T)} \quad (11.3)$$

gde je:

E_{PM} – stopa emisije čestica po satu (kg/h)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m³)

Q_d – protok gasa (m³/s)

3,6 – 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kg/g

T – temperatura uzorka gasa, °C

Tabela 11.1. Primer rezultata sprovedenih testova merenja

Parametar	Simbol	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3
Ukupno vreme uzorkovanja (s)		7200	7200	7200
Sakupljena vlaga (g)	vlaga	395,6	372,6	341,4
Masa koja ostane u filteru (g)	C_f	0,0851	0,0449	0,0625
Prosečna brzina uzorkovanja (m ³ /s)		$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-4}$
Zapremina gasa (m ³)	$V_{m,STP}$	1,185	1,160	1,163
Protok gasa (m ³ /s)	Q_d	8,48	8,43	8,45
Koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m ³)	C_{PM}	0,0718	0,0387	0,0537
Stopa emisije čestica (kg/h)	E_{PM}	2,20	1,19	1,65

Primer 11.2. Upotrebom dobijenih rezultata merenja iz tabele 11.1. potrebno je izračunati emisiju PM prilikom merenja 1, primenom jednačina 11.2. i 11.3., ukoliko je poznato da je temperatura izduvnih gasova 150°C.

$$C_f = 0,0851 \text{ g}$$

$$V_{m, STP} = 1,185 \text{ m}^3$$

$$C_{PM} = 0,0718 \text{ g/m}^3$$

$$Q_d = 8,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 150^\circ\text{C} = 150 + 273 = 423 \text{ K}$$

$$C_{PM} = \frac{C_f}{V_{m, STP}} = \frac{0,0851 \text{ g}}{1,185 \text{ m}^3} = 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} E_{PM} &= C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times \left[\frac{273}{(273 + T)} \right] = \\ &= 0,072 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 8,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{0,001 \frac{\text{kg}}{\text{g}}} \times \left[\frac{273}{(423)} K \right] = \\ &= 1,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Za izračunavanje emisije suve materije u kg/h može se koristiti jednačina 11.4.

$$E_{PM} = Q_w \times C_{PM} \times 3,6 \times \left(1 - \frac{\text{vlaga}}{100} \right) \times \frac{273}{273 + T} \quad (11.4)$$

gde je

E_{PM} – emisija čestičnih materija po satu (kg/h)

Q_w – zapremina vlažnog izduvnog gasa u sekundi (m^3/s)

C_{PM} – koncentracija čestičnih materija po gramu punjenja (g/m^3)

3,6 - 3600 sekundi u satu pomnoženo sa konverzionim faktorom 0,001 kg/g

vlaga – procenat vlage (%)

273 – 273 K (0°C)

T – temperatura gasa ($^\circ\text{C}$)

Da bi se izračunala vlaga koristi se jednačina 11.5. Primer izračunavanja dat je u primeru 11.3.

$$\text{Procenat vlage} = 100 \times \frac{\text{težina vodene pare po specifičnoj jedinici zapremine gasa}}{\text{ukupna težina gasa u datoj zapremini}}$$

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})} + \rho_{\text{STP}}} \quad (11.5)$$

gde je:

vlaga – procenat vlage (%)

m_{vlaga} – sakupljena vlaga (g)

$V_{m,\text{STP}}$ – izmerena zapremina uzorka (m^3)

ρ_{STP} – gustina suvog uzorka, kg/m^3 (ukoliko gustina nije poznata, može se koristiti standardna vrednost od $1,62 \text{ kg}/\text{m}^3$, gde se polazi od pretpostavke da se gas sastoji od 50% vazduha i 50% CO_2)

1000 – konverzioni faktor

Primer 11.3. Uzorak $1,2 \text{ m}^3$ gasa pri standardnim uslovima, sadrži 410 g vodene pare. Izračunati procenat vlage u datom uzorku.

$$\text{vlaga} = \frac{100\% \times \frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})}}{\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})} + \rho_{\text{STP}}}$$

$$\frac{m_{\text{vlaga}}}{(1000 \times V_{m,\text{STP}})} = \frac{410 \text{ g}}{(1000 \times 1,2 \text{ m}^3)} = 0,342 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{vlaga} = 100 \times (0,342 \text{ kg}/\text{m}^3 / 0,342 \text{ kg}/\text{m}^3 + 1,62 \text{ kg}/\text{m}^3) = 17,4\%$$

11.1.1. Kontinulani emisioni monitoring sistem (CEMS)

Kontinulani emisioni monitoring sistem obezbeđuje kontinualno sakupljanje podataka o emisiji, obično merenjem koncentracije polutanata. Primer podataka potrebnih za kontinualni emisioni monitoring (primer 11.4.) dati su u tabeli 11.2. Kada je koncentracija polutanata poznata emisioni faktori se

moгу израчунати množenjem koncentracije polutanata i zapremine gasa ili otpadne tečnosti u kojoj se polutant nalazi.

Tabela 11.2. Primer izračunavanja potrebom CEMS podataka

Period	Sadržaj O ₂	Koncentracija (cm ³ /m ³)				Protok gasa (Q)	Stopa produkcije (A)
	% zapremine	SO ₂	NO _x	CO	VOC	m ³ /s	t/h
1	10,3	150,9	142,9	42,9	554,2	8,52	290
2	10,1	144,0	145,7	41,8	582,9	8,48	293
3	11,8	123,0	112,7	128,4	515,1	8,85	270

Vrednost emisije po satu može se računati po jednačini 11.6.

$$E_i = \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{22,4 \times \frac{T + 273}{273} \times 10^6} \quad (11.6)$$

gde je:

E_i – emisija polutanta i (kg/h)

C – koncentracija polutanta (cm³/m³)

MW – molarna masa polutanta (g/mol)

Q – realan protok gasa (m³/s)

3600 – konverzioni faktor (s/h)

22,4 – zapremina koju zauzima jedan mol gasa a standardnoj temperature i pritisku (0°C I 101,3 kPa), dm³/mol

T – temperatura uzorka gasa (°C)

10⁶ – konverzioni faktor za pretvaranje jedinica

Godišnja emisija se računa množenjem emisije u kg/h sa brojem sati koliko fabrika radi (OpHrs) kao što je prikazano u jednačini 11.7.

$$E_{kpy,i} = \sum (E_i \times OpHrs) \quad (11.7)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (t/god)

E_i – emisija po satu polutanta i (kg/h)

OpHrs – broj radnih sati postrojenja u toku godine (h/god)

Emisija u kilogramima polutanta po toni produkta, može da se izračuna deljenjem emisije u kg/h sa stopom produkcije (t/h) tokom nekog definisanog perioda. Ovo je prikazano jednačinom 11.8.

$$E_{kpt,i} = \frac{E_i}{AR} \quad (11.8)$$

gde je:

$E_{kpt,i}$ – emisija polutanta i po toni proizvedenog proizvoda (kg/t)

E_i – emisija po satu polutanta i (kg/h)

AR – stopa produkcije (t/h)

Primer 11.4. Na osnovu podataka dostupnih u tabeli 11.2. izračunati vrednost emisije SO_2 za period 1 ukoliko je poznato da je temperature gasa $150^\circ C$.

$$\begin{aligned} E_{SO_2,1} &= \frac{C \times MW \times Q \times 3600}{22,4 \times \frac{T + 273}{273} \times 10^6} \\ &= \frac{150,9 \frac{cm^3}{m^3} \times 64 \frac{g}{mol} \times 8,52 \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{h}}{22,4 \frac{dm^3}{mol} \times \frac{423 + 273}{273} \times 10^6} = \\ E_{SO_2,1} &= \frac{296\,217\,907}{34\,707\,692} = 8,53 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

Za podatke dobijene u Periodu 2, takođe na $150^\circ C$ $E_{SO_2,2} = 8,11$ kg/h

Za podatke dobijene u Periodu 3, takođe na $150^\circ C$ $E_{SO_2,3} = 7,23$ kg/h

Ukoliko su reprezentativni operativni uslovi rada dati u nastavku teksta, potrebno je izračunati ukupnu godišnju emisiju polutanta za sva tri perioda.

Period 1: 1500h; Period 2: 2000 h; Period 3: 1800h

Ukupna emisija za celu godinu računa se upotrebom jednačine 7.8.

$$\begin{aligned} E_{kpy,i} &= \sum (E_i \times OpHrs) \\ &= E_{SO_2,1} \times OpHrs + E_{SO_2,2} \times OpHrs + E_{SO_2,3} \times OpHrs \\ &= \left(8,53 \frac{kg}{h} \times 1500 \frac{h}{god}\right) + \left(8,11 \frac{kg}{h} \times 2000 \frac{h}{god}\right) \\ &\quad + \left(7,23 \frac{kg}{h} \times 1800 \frac{h}{god}\right) = 42\,021 \frac{kg}{god} \end{aligned}$$

Emisija izražena u kg/t produkovanog proizvoda ukoliko se posmatra Period 1, a upotrebom jednačine 11.8., izračunava se na sledeći način:

$$E_{kpt,SO_2} = \frac{E_{SO_2}}{A} = \frac{8,53 \frac{kg}{h}}{290 \frac{t}{h}} = 2,94 \times 10^{-2} \frac{kg}{t}$$

Maseni bilans identifikuje količinu supstance koja ulazi i izlazi iz procesa, dela opreme ili iz postrojenja. Emisija se računa iz razlike ulaza i izlaza sirovine (jednačina 11.9.).

$$E_{kpy,i} = Ulaz_i - Izlaz_i \quad (11.9)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

$Ulaz_i$ – količina polutanta i koji ulazi u proces (kg/god)

$Izlaz_i$ – količina polutanta i koji izlazi iz procesa kao neka vrsta otpada (kg/god)

Primer 11.5. Hemijsko postrojenje prima 1000 tona ulazne sirovine godišnje, koja se čuva on-site. Poznato je da ova sirovina sadrži 2% vode koja se taloži tokom skladištenja i odlazi u kanalizaciju. Rastvorljivost date sirovine je 100 g/kg. Takođe, poznato je da se 975 t godišnje te sirovine koristi u procesu proizvodnje. Tokom godine, uočeno je da je 1 tona sirovine izgubljena usled nekontrolisanog curenja, kao i da je 500 kg sirovine reciklirano i pravilno odloženo.

Uzimajući u obzir sadržaj vode i rastvorljivost komponente može se izračunati sadržaj vode u datom rastvaraču:

Sadržaj u 100g/kg rastvarača:

$$Voda = 1000 \text{ t} \times \frac{2}{100} = 20 \text{ t vode}$$

Pošto je rastvorljivost 100g/kg onda je

$$rastvarač \text{ u vodi} = 20 \times 0,1 = 2 \text{ t}$$

Isključujući vodu kao komponentu, količina rastvarača koji ulazi u proces je:

$$ukupno \text{ rastvarača} = 1000 \times 0,98 = 980 \text{ t}$$

Primer 11.5. nastavak:

Ukupna količina rastvora (uključujući i vodu) koja ulazi na postrojenje je $980 + 2 = 982 \text{ t}$

Kada je ova vrednost izračunata, može se pristupiti računanju količine sirovine koja odlazi u kanalizaciju:

Rastvarač u kanalizaciji

$$\begin{aligned} &= \text{curenje iz tanka} + \text{nekontrolisano curenje} \\ &= 2000 \text{ kg} + 500 \text{ kg} = 2500 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Reciklirano} = 500 \text{ kg}$$

S obzirom da nije došlo do emisije na zemljište, emisiju u vazduh možemo lako da izračunamo na sledeći način:

Emisija u vazduh

$$\begin{aligned} &= \text{Ukupna količina rastvora} \\ &- \text{Rastvarač u kanalizaciji} - \text{Reciklirano} \\ &- \text{Količina sirovine koja se upotrebi u procesu} \\ &= 982 - 2,5 - 0,5 - 975 = 4 \text{ tone} \end{aligned}$$

Maseni bilans individualnih procesa u okviru postrojenja: Generalni proračun za procenu masenog bilansa može biti primenjen i na individualne procesne jedinice. Ovo zahteva dostupne informacije vezane za ulaz sirovina (protok, koncentraciju, gustinu) i izlaz iz procesne jedinice. Za proračun se može koristiti sledeća jednačina

$$E_i = \sum Q_i W_{fi} P_i - \sum Q_o W_{oi} P_o \quad (11.10)$$

gde je

E_i – protok komponente i u nepoznatom toku (kg/h)

Q_i – zapreminski protok ulaznog toka (i) (m^3/h)

Q_o – zapreminski protok izlaznog toka (o) (m^3/h)

W_{fi} – težinska frakcija komponente i u ulaznom toku

W_{oi} – težinska frakcija komponente i u izlaznom toku

P_i, P_o – gustina toka (i) i (o) redom (kg/m^3)

Informacije o procesu ulaznih i izlaznih tokova su uglavnom poznate, pošto su ovi parametri potrebni i za kontrolu i praćenje procesa proizvodnje. Gubitak E_x se utvrđuje analizom procesa. Treba napomenuti i da je potrebno utvrditi medijum u životnoj sredini u kom dolazi do emisije.

11.3. Primena emisijonih faktora za procenu emisije polutanata

U odsustvu drugih informacija, poznati emisijoni faktori mogu da se koriste prilikom procene emisije. Emisijoni faktori su uglavnom dobijaju generalnim ispitivanjem procesa i proizvoda (kao što su npr. kotlovi koji koriste određenu vrstu goriva). Ove informacije su koristi se za povezivanje količine emitovanog materijala sa nekom opštom merom skale aktivnost (npr. za kotlove, faktori emisije se uglavnom zasnivaju na količini goriva utrošena ili toplotna snaga kotla). Faktori emisije zahtevaju „podatke o aktivnosti“, koji se kombinuju sa faktorom za generisanje procene emisije. Generička formula za izračunavanje emisijonih faktora data je jednačinom 11.11., dok je primer izračunavanja emisije upotrebom emisijonih faktora dat u primeru 11.7.

$$\begin{aligned} \text{Emisijoni faktor} \left(\frac{\text{masa}}{\text{jedinica aktivnosti}} \right) \\ \times \text{podaci o aktivnosti} \left(\frac{\text{jedinica aktivnosti}}{\text{vreme}} \right) \\ = \text{emisijoni faktor} \left(\frac{\text{masa}}{\text{vreme}} \right) \end{aligned} \quad (11.11)$$

Npr., ukoliko je emisijoni faktor izražen kao “kg polutanta/m³ goriva koje sagoreva”, tada bi podaci o aktivnosti trebalo da budu u “m³ goriva koje sagoreva/h”, kako bi se generisao emisijoni faktor “kg polutanta/h”

Generalna jednačina koja uključuje emisijone faktore data je jednačinom 11.12.

$$E_{kpy,i} = AR \times OpHrs \times EF \times \left[1 - \frac{CE}{100} \right] \quad (11.12)$$

gde je:

$E_{kpy,i}$ – emisija polutanta i (kg/god)

AR – stopa aktivnosti (t/h)

OpHrs – broj radnih sati u toku godine (h/god)

EF – nekontrolisani emisijoni faktor polutanta (kg/t)

CE – ukupna efikasnost kontrole polutanta (%)

Primer 11.7. Iz sektora linije za punjenje boca, 0,066 kg etanola se emituje na svakih 1000 litara piva. Pretpostavka je da se godišnja proizvodnja pivskih boca kreće oko 200 000 kilolitara. Ukoliko je poznato da je $CE_{etanol} = 0$, izračunati godišnju vrednost emisije etanola.

$$\begin{aligned} E_{etanol} &= A \times EF_{etanol} \times \left[1 - \left(\frac{CE_{etanol}}{100} \right) \right] \\ &= 200\,000\,kl \times 0,066\,\frac{kg}{kl} \times (1 - 0) = 13\,200\,\frac{kg}{god} \\ &= 13,2\,\frac{t}{god} \end{aligned}$$

11.4. Primena inženjerskih proračuna za procenu emisije polutanata

Inženjerski proračuni se zasnivaju na fizičkim i hemijskim karakteristikama supstance (npr. napon pare i sl) i matematičkih odnosa (npr. zakon idealnih gasova). Analiza goriva je primer primene inženjerskog proračuna i može se koristiti za predviđanje emisije npr. SO_2 ili metala. Poznavanje podatka o prisustvu nekih elemenata može da se koristi za predviđanje njihove emisije u otpadnim tokovima. Ovo uljučuje npr. sumpor, koji se može konvertovati u druge komponente i kao takav se emitovati u životnu sredinu. Osnovna jednačina (jednačina 11.13) koja se koristi za ovu vrstu proračuna je:

$$E_{kpy,i} = Q_f \times \frac{C_i}{100} \times \frac{MW}{EW} \times OpHrs \quad (11.13)$$

gde je

$E_{kpy,i}$ – godišnja emisija polutanta i (kg/god)

Q_f – upotreba goriva (kg/h)

$OpHrs$ – broj radnih sati u toku godine (h/god)

MW – molarna masa emitovanog polutanta (g/mol)

EW – težina elementa polutanta u gorivu (g/mol)

C_i – koncentracija polutanta i u gorivu (%)

Primer 11.6. Izračunaj emisiju SO_2 iz industrijskog postrojenja ukoliko je poznato da fabrika radi 1500 sati godišnje, da je protok goriva 2000 kg/h, a procenat sumpora u gorivu 0,5.

$$\begin{aligned} E_{SO_2} &= Q_{SO_2} \times \frac{C_s}{100} \times \left(\frac{MW_{SO_2}}{EW_s} \right) \times OpHrs \\ &= 2000\,\frac{kg}{h} \times \frac{0,5}{100} \times \frac{64\,\frac{g}{mol}}{32\,\frac{g}{mol}} \times 1500\,\frac{h}{god} \\ &= 30\,000\,\frac{kg}{god} \end{aligned}$$

ZADACI

1. Izračunaj emisiju SO_2 iz podataka ukoliko se zna da je protok goriva 18 500 kg/h, procentualni udeo S u gorivu 0,65 % i ako je poznato da postrojenje radi 1700 h/god.

Izrada:

2. Izračunati protok goriva ukoliko se zna da emisija SO_2 iz nekog industrijskog postrojenja 70 200 kg/god, a da je procentualni udeo S u gorivu 1,17%, a vreme rada postrojenja 50 sati mesečno.

Izrada:

Beleške:

12. DEO

LITERATURA

1. Emission Estimation Technique Manual for Alumina refining, version 2.0 (2007) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage
2. Emission Estimation Technique Manual for Aluminium Smelting (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
3. Emission Estimation Technique Manual for Animal and Bird Feed Manufacture (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage
4. Emission Estimation Technique Manual for Bricks, Ceramics, & Clay Product Manufacturing (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
5. Emission Estimation Technique Manual for Cement manufacturing, version 2.1 (2008) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
6. Emission Estimation Technique Manual for Copper Concentrating, Smelting and Refining (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
7. Emission Estimation Technique Manual for Dairy Product Manufacturing (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage
8. Emission Estimation Technique Manual for Fossil Fuel Electric Power Generation, version 3.0 (2012) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage

9. Emission Estimation Technique Manual for Fruit and Vegetable Processing Industry (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage
10. Emission Estimation Technique Manual for Glass and Glass Fibre Manufacturing, version 2.0 (2004) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
11. Emission Estimation Technique Manual for Inorganic Chemicals Manufacturing, version 2.0 (2004) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
12. Emission Estimation Technique Manual for Iron and Steel Production (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
13. Emission Estimation Technique Manual for Lead Concentrating, Smelting and Refining (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
14. Emission Estimation Technique Manual for Leather Tanning and Finishing (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage
15. Emission Estimation Technique Manual for Non-Metallic Mineral Product Manufacture (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
16. Emission Estimation Technique Manual for Organic Chemical Processing Industries (1999) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
17. Emission Estimation Technique Manual for Pulp and Paper Manufacturing (1998) National Pollutant Inventory. Australian Government, Department of the Environment and Heritage
18. Maletić, S., Dalmacija, M., Dalmacija, B., Bečelić-Tomin, M., Rončević, S., Krčmar, D., Kerkez, Đ. (2017) Knjiga Izvori i kontrola zagađivanja životne sredine Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-

- matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine . ISBN: 978-86-7031-418-4
19. Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (2018) BREF document https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-12/ROM_2018_08_20.pdf
 20. Pacific Power International, Review of the NPI Emission Estimation Technique Manual for Fossil Fuel Electric Power Generation, Report to the Electricity Supply Association of Australia, 2002.
 21. Perry, R.H., Green, D.W., Maloney J.O. (1997), 'Perry's Chemical Engineers Handbook – Seventh Edition', McGraw Hill, USA.
 22. Rae I. D., Review of the National Environment Protection Measure for the National Pollutant Inventory, http://www.ephc.gov.au/pdf/npi/npi_Rae_Report.pdf, 2000.
 23. UNEP Chemicals, Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases (draft), 2001.
 24. Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja, osim postrojenja za sagorevanje ("Sl. glasnik RS", br. 111/2015)
 25. Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 67/2011, 48/2012 i 1/2016)
 26. USEPA, Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42.html>, 1998a.
 27. USEPA, Emergency Planning and Community Right to Know Section 313 Guidance for Reporting Toxic Chemicals: Mercury and Mercury Compounds Category, Office of Environmental Information, EPA 260-B-01-004, http://www.epa.gov/tri/guide_docs/2001/hg2001.pdf, 2001

13. DEO

PRILOG

EMISIONI FAKTORI

Tabela 13.1. Faktori emisije supstance za sagorevanje crnog uglja

Komponenta	Kategorija praga	Tehnika procene emisije – konstante potrebne za proračun emisije (a) (broj u zagradama odnosi se na prateće informacije u Referenci: Pacific Pover International 2002) kg/t, ako nije drugačije naznačeno	EFR (b)
Amonijum	1	$2,8 \times 10^{-4}$ (6.0)	U
Antimon i njegova jedinjenja	1	$0,675 \times [(C/A) \times PM]$ 0,63 kg/PJ (6.1) 9×10^{-6} (I)	A
Arsen i njegova jedinjenja	1/2b	$2,73 \times [(C/A) \times PM]$ 0,85 kg/PJ (6.2) $2,1 \times 10^{-4}$ (I)	A
Benzen	1	3,4 kg/PJ (6.3)	U
Berilijum i njegova jedinjenja	1/2b	$1,31 \times [(C/A) \times PM]$ 1,1 kg/PJ (6.4) $1,1 \times 10^{-5}$ (I)	A
Bor i njegova jedinjenja	1	$C \times 10^{-3} \times 0.5$ (c) (6.5)	U
Kadmijum i njegova jedinjenja	1/2b	$2,17 \times [(C/A) \times PM]$ 0,5 kg/PJ (6.6) $2,6 \times 10^{-5}$ (I)	A
Ugljenik (II)-oksid	1/2a	$2,5 \times 10^{-1}$ (6.7)	A
Hrom (III) i njegova jedinjenja	1/2b	$0,95 \times 2,6 \times [(C/A) \times PM]$ 0,58 kg/PJ (c) (6.8) $1,3 \times 10^{-4}$	A
Hrom (VI) i njegova jedinjenja	1/2b	$0,05 \times 2,6 \times [(C/A) \times PM]$ 0,58 kg/PJ (c) (6.8) $9,0 \times 10^{-5}$ (I)	A
Kobalt i njegova jedinjenja	1	$1,31 \times [(C/A) \times PM]$ 0,69 kg/PJ (6.9) 5×10^{-5} (I)	A
Bakar i njegova jedinjenja	1/2b	$1,31 \times [(C/A) \times PM]$ 1,1 kg/PJ (6.10)	U
Kumen	1	$2,7 \times 10^{-6}$ (6.11)	U
Cijanidi (neorganski) i njegova jedinjenja	1	$1,3 \times 10^{-3}$ (6.12)	D

Etilbenzen	1	$4,7 \times 10^{-5}$ (14)	U
Fluoridi	1/2b	$7,5 \times 10^{-2}$ (6.15)	B
n-Heksan	1	$3,4 \times 10^{-5}$ (6.16)	U
Hlorovodonična kiselina	1/2a	0,6 (6.17)	B
Olovo i njegova jedinjenja	1/2b	$2,87 \times [(C/A) \times PM]$ 0,8 kg/PJ (6.18) $2,1 \times 10^{-4}$ (I)	A
Magnezijum oksid pare	1/2b	0 (6.19)	U
Mangan i njegova jedinjenja	1	$2,71 \times [(C/A) \times PM]$ 0,6 kg/PJ (6.20) $2,5 \times 10^{-4}$ (I)	A
Živa i jedinjenja žive	1/2b	C x 8,1 x 10⁻⁴ za fabričke filtere i elektrostatičke precipitatore (I) (6.21)	A
Nikl i njegova jedinjenja	1/2b	$2,84 \times [(C/A) \times PM]$ 0,48 kg/PJ (6.22) $1,4 \times 10^{-4}$ (I)	A
Nikl karbonil	1/2b	0 Ne emituje se tokom proizvodnje električne energije sagorevanjem (e) (6.23)	U
Nikl subsulfid	1/2b	0 Ne emituje se tokom proizvodnje električne energije sagorevanjem (e) (6.23)	U
Oksidi azota (izraženi kao azot(IV) oksid, NO ₂) (f)	1/2a	11.0 Nekomontrolisano, bitumen	A
		5.5 Gorionik sa niskim sadržajem NO _x , suvo dno, zid spaljen, bitumen	A
		6.0 Nekomontrolisano, suvo dno, zid spaljen, sub-bitumen	A
		6.0 Suvo dno, zid spaljen. Post 1978 (f)	A
		3.7 Suvo dno, zid spaljen, sub-bitumen. Post 1978 (f)	A
		7.5 Nekomontrolisano, suvo dno, tangencijalno spaljeno, bitumen	A
		4.9 Gorionik sa niskim sadržajem NO _x , suvo dno, tangencijalno spaljen, bitumen	A
		4.2 Nekomontrolisano, suvo dno, zid spaljen, sub-bitumen	A
		3.6 Suvo dno, zid spaljen, sub-bitumen. Post 1978 (f)	A
		15.5 Nekomontrolisano, mokro dno, zid spaljen, bitumen	D
		7.0 Mokro dno, tangencijalno spaljeno, bitumen. Post 1978 (f)	E
		12.0 Mokro dno, zid spaljen, sub-bitumen	E

		16.5 Ciklonska peć, bitumen 8.5 Ciklonska peć, sub-bitumen 2.5 Fluidisani sloj, cirkuliše 7.6 Fluidisani sloj, mehurići (6.24)	A C D D
PM ₁₀	1/2a	A x 1000 x F x (1-ER/100) x FP (c) (6.25) 0,34 za postrojenja sa fabričkim filterom 0,96 za postrojenja sa elektrostatičkim precipitatorom	A
PM _{2,5}	2a	A x 1000 x F x (1-ER/100) x FP (53%/92%) x 0,34 = 0,20 za postrojenja sa fabričkim filterom (29%/67%) x 0,96 = 0,42 za postrojenja sa elektrostatičkim precipitatorom	A
Polihlorovani dioksini i furani (g)	2b	1 x 10 ⁻⁵ kg/PJ 2,46 x 10 ⁻¹⁰ kg/t za NSW crni ugalj 2,34 x 10 ⁻¹⁰ kg/t za crni ugalj Queensland 2,04 x 10 ⁻¹⁰ kg/t za WA crni ugalj	D
Policiklični aromatični ugljovodnici	2a	1,0 x 10 ⁻⁵ (6.27)	B-D
Selen i njegova jedinjenja	1	6,5 x 10 ⁻⁴ (6.28)	A
Sumpor (IV)-oksid	1/2a	19 x S za bitumenozni ugalj 17,5 x S za sub-bitumenozni ugalj (6.29)	A
Sumporna kiselina	1	0,2 x S (j) (6.30)	U
Toluen (metilbenzen)	1	1,2 x 10 ⁻⁴ (6.31)	U
VOC (k)	1a/2 a	3 x 10 ⁻² kotlovi sa suvim dnom, zidni i tangencijalno loženi 2 x 10 ⁻² kotlovi sa vlažnim dnom 6,0 x 10 ⁻¹ ciklonska peć (6.32)	B
Ksileni	1	1,9 x 10 ⁻⁵ (6.33)	U
Cink i njegova jedinjenja	1	2,84 x [(C/A) x PM] 0,48 kg/PJ (6.34)	U

Napomene:

Izvedeno iz reference: USEPA 1998 (osim ako nije drugačije naznačeno).

a. Faktori emisije se primenjuju na napajanje ugljem, kao što je loženje za praškasti ugalj, kotlove sa suvim dnom sa emisijama koje kontrolišu elektrostatički filteri ili filteri od tkanine

b. Ocena faktora emisije

c. Pacific Power International 2002

d. USEPA 2001

e. Za raspravu o emisijama nikl sulfida i nikla karbonila pogledajte referencu: Rae 2000

f. Pogledajte tabelu 1.1-3 AP-42 (Referenca: USEPA 1998) za objašnjenje i dodatne faktore, ako su potrebni. Post 1978 se odnosi na kotlove koji su nakon ovog datuma morali

da zadovolje američke nove standarde performansi (NSPS)

Kategorija granične vrednosti supstance Tehnika procene emisije - konstante potrebne za proračun emisije (a) (broj u zagradama odnosi se na dodatne informacije u Referenci: Pacific Pover International 2002) kg/t, osim ako nije drugačije naznačeno EFR (b)

g. Referenca: USEPA A P-42, 1998, navodi sledeća jedinjenja PCDD / PCDF: ukupni TCDD, ukupni PeCDD, ukupni HxCDD, ukupni HpCDD, ukupni OCDD, ukupni TCDF, ukupni PeCDF, ukupni HkCDF, ukupni HpCDF i ukupni OCDF

h. Referenca: UNEP 2001

i. Policiklični aromatični ugljovodonici (PAH) navedeni u AP-42 (Referenca: USEPA 1998) uključuju: bifenil, acenaften, acenaftilen, antracen, benzo(a)antracen, benzo(a)piren, benzo(b,j,k)fluoranten, benzo(g,h,i)perilen, hrizen, fluoranten, fluoren, indeno(1,2,3-cd)pirin, naftalen, fenantren, pirin, 5-metil-krizen. Treba napomenuti da je ova lista slična, ali se malo razlikuje od NPI liste PAH-a

j. Referenca: USEPA 1998

k. Ukupna nemetanska organska jedinjenja iz AP-42 (Referenca: USEPA 1998). Sličan, ali malo drugačiji od definicije NPI ukupan VOC

l. Faktori zasnovani na uglju, sagorevanju, i primenjuju se na kontrolisano sagorevanje uglja za kotlove koji koriste elektrofiltre ili filtere od tkanine

C = koncentracija metala u uglju, maseni udeo ili mg / kg (prema primljenoj osnovi)

A = težinski udeo pepela u uglju. (10% pepela je 0,1 frakcija pepela). Podrazumevano koristite 0,2

F = udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu. Pretpostavimo da je 0.9 podrazumevano

ER = efikasnost smanjenja emisije (%). Podrazumevano 99,8% za filtere od tkanine i 99,2% za ESP

FP = udeo PM₁₀ emitovanih čestica na bazi mase. Kao podrazumevane vrednosti koristite 0,67 i 0,92 za ESP i filtere za tkaninu.

PM = faktor emisije specifičan za postrojenje za ukupne čestice (kg / GJ)

S = procenat sadržaja sumpora u uglju u izgaranju (Ako je sadržaj sumpora 0,5%, S = 0,5)

Tabela 13.2. Faktori emisije supstance za sagorevanje mrkog uglja

Komponenta	Kategorija praga	Tehnika procene emisije – konstante potrebne za proračun emisije (a) (broj u zagradama odnosi se na prateće informacije u Referenci: Pacific Pover International 2002) kg/t, ako nije drugačije naznačeno	EFR (b)
Amonijum	1	$1,3 \times 10^{-3}$ (b) (6.37)	U
Antimon i njegova jedinjenja	1	$0,675 \times [(C/A) \times PM] 0,63 \text{ kg/PJ}$ $1,75 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.1)	A A
Arsen i njegova jedinjenja	1/2b	$2,73 \times [(C/A) \times PM] 0,85 \text{ kg/PJ}$ $3,0 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.2)	A A
Benzen	1	$3,6 \times 10^{-6}$	A
Berilijum i njegova jedinjenja	1/2b	$1,31 \times [(C/A) \times PM] 1,1 \text{ kg/PJ}$ $1,7 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.4)	A A
Bor i njegova jedinjenja	1	$C \times 10^{-3} \times 0,5$ (b) (6.5) $6,2 \times 10^{-3}$	U
Kadmijum i njegova jedinjenja	1/2b	$2,17 \times [(C/A) \times PM] 0,5 \text{ kg/PJ}$ $2,5 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.6)	A A
Ugljenik (II)-oksid	1/2a	0,13 nekontrolisano sagorevanje (d) 0,24 spaljivanje, gorionici sa niskim NO _x 0,05 tangencijalno spaljen 0,08 atmosferskog fluidizovanog sloja (6.7)	C D D
Hrom(III) i njegova jedinjenja	1/2b	$0,95 \times 2,6 \times [(C/A) \times PM] 0,58 \text{ kg/PJ}$ (b) $9,0 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.8)	A A
Hrom(VI) i njegova jedinjenja	1/2b	$0,05 \times 2,6 \times [(C/A) \times PM] 0,58 \text{ kg/PJ}$ (b) $6,1 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.8)	A D
Kobalt i njegova jedinjenja	1	$1,31 \times [(C/A) \times PM] 0,69 \text{ kg/PJ}$ $2,7 \times 10^{-6}$ (c) (e) (6.9)	A A
Bakar i njegova jedinjenja	1/2b	$1,31 \times [(C/A) \times PM] 1,1 \text{ kg/PJ}$ (6.10) $6,2 \times 10^{-6}$	U
Kumen	1	$5,8 \times 10^{-8}$ (6.12 i 6.37)	U
Cijanidi (neorganski) i njegova jedinjenja	1	$3,6 \times 10^{-6}$ (6.37)	D
Cikloheksan	1	$3,6 \times 10^{-6}$ (6.13 i 6.37)	U
Etilbenzen	1	$3,6 \times 10^{-6}$ (6.14 i 6.37)	U
Fluoridne komponente (kao npr fluorovodonik)	1/2b	$3,5 \times 10^{-2}$ (iz masenog bilansa) (6.15)	B
n-Heksan	1	$3,6 \times 10^{-6}$ (6.16 i 6.37)	U

Hlorovodonična kiselina	1/2a	$4,6 \times 10^{-1}$ (iz masenog bilansa) (6.17 i 6.37)	B
Olovo i njegova jedinjenja	1/2b	$2,87 \times [(C/A) \times PM] 0,8 \text{ kg/PJ}$ $8,1 \times 10^{-6}$ (6.37)	A A
Magnezijum oksid pare	1/2b	0 (6.19)	
Mangan i njegova jedinjenja	1	$2,71 \times [(C/A) \times PM] 0,6 \text{ kg/PJ}$ $2,1 \times 10^{-4}$ (6.37)	A A
Živa i jedinjenja žive	1/2b	$C \times 9,8 \times 10^{-4}$ $2,6 \times 10^{-5}$ (6.37)	A A
Nikl i njegova jedinjenja	1/2b	$2,84 \times [(C/A) \times PM] 0,48 \text{ kg/PJ}$ $3,4 \times 10^{-5}$ (6.37)	A A
Nikl karbonil	1/2b	0 Ne emituje se tokom proizvodnje električne energije sagorevanjem (g) (6.23)	U
Nikl subsulfat	1/2b	0 Ne emituje se tokom proizvodnje električne energije sagorevanjem (g) (6.23)	U
Oksidi azota (izraženi kao azot (IV)-dioksid, NO ₂) (h)	1/2a	3.5 Suvo dno, tangencijalno spaljivanje 3.4 Tangencijalno spaljivanje vazduhom 6.5 Suvi donji zid spaljen. Pre 1978 (i) 3.2 Suvo dno, zid ispaljen. Post 1978 (i) 2.3 Zid, gorionik, gorionici sa niskim sadržajem NO _x 7.5 Ciklonska peć 1.8 Atmosferski fluidizovani sloj (6.24)	C C C C C
PM ₁₀	1/2a	A x 1000 x F x (1-ER/100) x FP (b) (6.25) 1,7 x A za postrojenja sa fabričkim filterom 4,8 x A za postrojenja sa elektrostatičkim precipitatorom	A
PM _{2,5}	1/2a	A x 1000 x F x (1-ER/100) x FP (b i o) (53%/92%) x 1,7 x A = 0,98 x A za postrojenja sa fabričkim filterom (29%/67%) x 4,8 x A = 2,1 x A za postrojenja sa elektrostatičkim precipitatorom	A
Polihlorovani dioksini i furani (j)	2b	$1 \times 10^{-5} \text{ kg/PJ}$ (f) (6.26) $9,48 \times 10^{-5} \text{ kg/t}$ za ugalj <i>Victorian Brown Coal</i> $1,42 \times 10^{-10} \text{ kg/t}$ za ugalj <i>SA Brown Coal</i>	U D
Policiklični aromatični ugljovodonici (l)	2a	$8,0 \times 10^{-7}$ (e) (6.27)	B-D
Selen i njegova	1	$7,8 \times 10^{-6}$ (c) (e)	A

jedinjenja		0,7 kg/PJ (6.28 & 6.37)	
Sumpor(IV)-oksid	1/2a	15 x S 5 x S (fluidizovani sloj pomoću krečnjačkog materijala) (6.29)	C C
Sumporna kiselina	1	$1,6 \times 10^{-3}$ (6.37) 0,2 x S (6.30) (m)	U
Toluen (metil- benzen)	1	$3,6 \times 10^{-6}$ (6.31 & 6.37)	A
VOC	1a/2a	2×10^{-2} tangencionalno spaljivanje $3,5 \times 10^{-2}$ ciklon $1,5 \times 10^{-2}$ fluidizovani sloj (6.32)	C C C
Ksilen	1	$3,6 \times 10^{-6}$ (6.33 i 6.37)	C
Cink i njegova jedinjenja	1	$7,4 \times 10^{-5}$ (6.37) $2,84 \times [(C/A) \times PM]0,48 \text{ kg/PJ}$ (6.34)	U U
<u>Napomene:</u> Izvedeno iz reference: USEPA 1998a (osim ako nije drugačije naznačeno). a. Ocena faktora emisije b. Referenca: Pacific Pover International 2002 a. Faktori emisije se primenjuju na napajanje ugljem, kao što je loženje za praškasti ugalj, kotlove sa suvim dnom sa emisijama koje kontrolišu elektrostatički filteri ili filteri od tkanine d. Koristiti faktore za tangencijalne kotlove. e. Na osnovu rezultata ispitivanja iz postrojenja koja lože crni ugalj (26 postrojenja) i lignit (1-2 postrojenja). f. Referenca: USEPA 2001 g. Za raspravu o emisijama nikl sulfida i nikla karbonila pogledajte referencu: Rae 2000 h. Pogledajte tabelu 1.1-3 AP-42 Referenca: USEPA 1998 za objašnjenje i dodatne faktore, ako su potrebni. i. Post 1978 se odnosi na kotlove koji su nakon ovog datuma morali da zadovolje američke nove standarde performansi (NSPS) j. AP-42 navodi sledeće kao sastav ukupnog PCDD / PCDF: ukupni TCDD, ukupni PeCDD, ukupni HxCDD <u>Kategorija praga supstance Tehnika procene emisije – kontsrate potrebne za proračun emisije (broj u zagradama odnosi se na prateće informacije u Referenci: Pacific Pover International 2002) kg/t, osim ako nije drugačije naznačeno EFR (a) ukupni HpCDD, ukupni OCDD, ukupni TCDF, ukupni PeCDF, ukupni HxCDF, ukupni HpCDF i ukupno OCDF</u> k. Referenca: UNEP 2001 l. Policiklični aromatični ugljovodonici (PAH) navedeni u AP-42 uključuju: bifenil, acenaften, acenaftilen, antracen, benzo(a)antracen, benzo(a)piren, benzo(b,j,k)fluoranten, benzo(g,h,i)perilen, krizen, fluoranten, fluoren, indeno(1,2,3-cd)piren, naftalen, fenantren, pirin, 5-metil krizen. Treba napomenuti da je ova lista slična, ali se malo razlikuje od NPI liste PAH-a m. Referenca: USEPA 1998 n. Ukupna nemetanska organska jedinjenja iz AP-42 (Referenca: USEPA 1998). Sličan, ali			

<u>malo drugačiji od definicije NPI Ukupnog VOC</u>						
o. Pogledajte Tabelu 1.1-6 AP - 42 (Referenca: USEPA 1998a) Kumulativna masa%						
<u>C = koncentracija metala u uglju, maseni udeo ili mg / kg (prema primljenoj osnovi)</u>						
<u>A = težinski udeo pepela u uglju. (10% pepela je 0,1 frakcija pepela).</u>						
<u>F = udeo letećeg pepela u ukupnom pepelu. Pretpostavimo da je 0,9 podrazumevano.</u>						
<u>ER = efikasnost smanjenja emisije (%). Podrazumevano 99,8 za filtere od tkanine, 99,2 za</u>						
<u>ESP i 80 za ciklone</u>						
<u>FP = udeo PM10 emitovanih čestica na bazi mase. Kao podrazumevane vrednosti koristite</u>						
<u>0,67 za ESP, 0,92 za tkanine i 0,67 za ciklone.</u>						
<u>PM = faktor emisije specifičan za postrojenje za ukupne čestice (kg / GJ)</u>						
<u>S = procenat sadržaja sumpora u uglju (Ako je sadržaj sumpora 0,5%, S = 0,5). Za visok</u>						
<u>natrijum pepeo (Na₂O > 8%) koristite 11S. Za pepeo sa malo natrijuma (Na₂O < 2%)</u>						
<u>koristite 17S. Ako je sadržaj natrijumovog pepela nepoznat, upotrebite 15S.</u>						

Tabela 13.3. Faktori emisije iz Kraft procesa proizvodnje celuloze

Izvor	SO ₂	CO	H ₂ S	NO _x	Pb	RSH, RSR, RSSR, kg/t
Izlazi iz digestora	ND	ND	0,02	ND	ND	0,6
Perilica	ND	ND	0,01	ND	ND	0,2
Višestepeni isparivač	ND	ND	0,55	ND	ND	0,05
Parni kotao	3,5	5,5	6	ND	ND	1,5
Krečana	0,15	0,05	0,25	ND	ND	0,25
Kondenzer za terpentin	ND	ND	0,005	ND	ND	0,25

RSH-metil merkaptan, RSR- dimetil sulfid, RSSR- dimetil disulfid

