

3. IZVORI I PROCENA EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA

3.1. Izvori emisije zagađujućih materija u atmosferu

Čist vazduh se najčešće aproksimira smešom gasova koja sadrži 78% azota, 21% kiseonika i 1% ugljen-dioksida i plemenitih gasova. U prirodi vazduh navedenog sastava ne postoji, već on pored glavnih činilaca sadrži veliki broj različitih materija koje se javljaju u različitim koncentracijama i gotovo svim agregatnim stanjima. Zbog toga se kvalitet vazduha određuje na osnovu dozvoljenih koncentracija supstanci za koje je dokazano da štetno utiču na biljni i životinjski svet ili na zdravlje ljudi.

Zagađenje u vazduhu može biti posledica prisustva čestica u koncentracijama iznad maksimano dozvoljenih koncentracija. Čestično zagađenje se manifestuje u sledećim oblicima:

- Prašina (engl. *dust*): krupne čestice ($100\text{ }\mu\text{m}$) koje se emituju iz raznih mehaničkih operacija;
- Dim (engl. *fume*): submikronske ($0,03 - 0,3\text{ }\mu\text{m}$) čestice oksida metala koje se javljaju usled kondenzacije i sublimacije u raznim procesima;
- Izmaglica (engl. *mist*): kapljice ($0,5 - 3\text{ }\mu\text{m}$) nastale kondenzacijom i hemijskim reakcijama;
- Čadavi dim (engl. *smoke*): čađ ($0,05 - 1\text{ }\mu\text{m}$) nastaje pri nepotpunom sagorevanju ugljenika;
- Sprej (engl. *aerosol*): fino raspršena tečnost.

Gasovite zagađujuće supstance koje se mogu naći u vazduhu u povišenim koncentracijama su:

- jedinjenja sumpora (najčešće oksidi): SO_2 , SO_3 , H_2S ;
- oksidi azota: NO , NO_2 ;
- oksidi ugljenika: CO , CO_2 ;
- ugljovodonici (C_mH_n);
- pare organskih rastvarača;
- mirisi.

Pored gore navedenih primarnih zagađujućih materija, u atmosferi se često mogu javiti i takozvane sekundarne zagađujuće materije, koje nastaju reakcijama u atmosferi:

- ozon (O_3);
- peroksiacetil nitrat (PAN);
- fotohemijski smog;
- kisele izmaglice.

Emisija zagađujućih materija u atmosferu se gotovo kontinuirano vrši iz velikog broja izvora, koji se mogu u najširem smislu podeliti na prirodne i antropogene izvore. Iako se po definiciji u prirodne izvore ubrajaju samo oni izvori do čije emisije dolazi bez uticaja čoveka, u praksi postoje izuzeci od ovog pravila. Na primer, erupcija vulkana je nesumnjivo značajan prirodni izvor čestičnog zagađenja i gasovitih zagađujućih materija (poput SO_2 , H_2S , CH_4 , itd.), dok se šumski požari (emisija CO , CO_2 , NO_x , itd.), iako su najčešće izazvani ljudskom nepažnjom, takođe uglavnom klasifikuju u prirodne izvore. Značajan izvor čestičnog zagađenja u mnogim delovima sveta su i peščane oluje, dok u primorskim krajevima okeani predstavljaju izvor aerosola koji sadrži čestice soli koje dovode do korozije metala. Biljni svet takođe predstavlja značajan prirodni izvor pre svega različitih tipova ugljovodonika, ali i polena koji je jedan od najproblematičnijih alergena u vazduhu. Ostali prirodni izvori, poput jezera ili geotermalnih izvora, uglavnom izazivaju zagađenje na lokalnom nivou koje utiče na mali broj ljudi.

Treba imati u vidu da atmosfera poseduje mehanizme kojim se vrši njeno samoprečišćavanje, poput oksidacije, taloženja, ispiranja, apsorpcije u vodi, adsorpcije u poroznom tlu, ali najčešće brzina samoprečišćavanja nije dovoljna da se eliminišu visoke koncentracije zagađujućih materija koje se uglavnom emituju na malom prostoru.

Izvori zagađenja vazduha se mogu podeliti i na stacionalne i mobilne (motorna vozila, avioni i sl.), koji se dodatno mogu klasifikovati u četiri vrste:

- tačkasti (dimnjaci termoelektrana, toplana, različiti industrijski objekti i sl.);
- linijski (npr. autoputevi);
- površinski (npr. individualna ložišta ili veći aerodromi);
- zapreminski (na primer iznenadno ispuštanje veće količine otpadnih gasova, najčešće kod akcidenata i havarija).

Podela antropogenih izvora može se izvršiti na osnovu aktivnosti koje su uzročnik emisije:

- industrijski procesi;
- stacionarno sagorevanje (SO_x , NO_x , leteći pepeo, čađ);
- saobraćaj (CO , NO_x , C_mH_n , čađ, olovo);
- deponije otpada (gasovite supstance i čestice).

Iako je iz ekonomskih razloga glavni cilj u industrijskim procesima ostvariti zatvoren ciklus u proizvodnji, oni u i dalje značajan zagađivač vazduha. Emisija u redovnom radu nekog postrojenja može biti uvećana nekoliko puta ukoliko dođe do havarija, akcidenata ili grešaka u radu. U tabeli 3.1. dat je prikaz nekih industrijskih procesa u kojima dolazi do emisije različitih gasovitih i čestičnih zagađujućih materija.

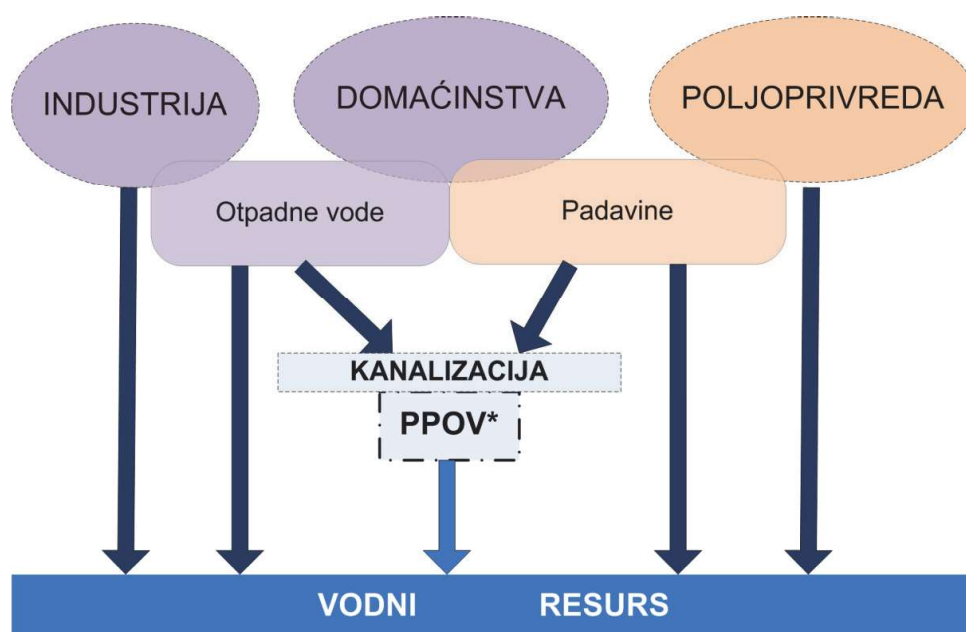
Tabela 3.1. Industrijski procesi i emisija zagađujućih materija (kg/t)

Proces	Čestice	CO	SO _x	NO _x	C _m H _n	Fluoridi ¹	Ostalo
<i>Proizvodnja koksa</i>							
Punjenje uređaja	0,75	0,30			1,25		0,04
Koksovanje	0,05	0,30			0,75		0,04
Pražnjenje uređaja	0,35	0,04			0,10		0,05
Gašenje koksa	0,45						
<i>Proizvodnja gvožđa i čelika</i>							
Topionička peć	55,0	875,0					
Aglomeracija	75,0	875,0					
Otvorene peći	4,1				0,050		0,015
Bazična oksidacija	25,5	69,5					0,100
Peć sa elektr. lukom	4,6	9,0			0,005		0,120
<i>Proizvodnja bakra</i>							
Prženje	42,5		490,0				
Topljenje	20,0		14,0				
Rafinacija	5,0						
<i>Proizvodnja aluminijuma</i>							
Drobljenje boksita	3,0						
Kalcinacija	100,0						
Anodne peći	1,5					0,8	
Redukciona ćelija	40,6					24,8	
Horizontalna Sederberg ćelija	49,2					26,6	
Vertikalna Sederberg ćelija	39,2					30,0	
Manipulacija materijalom	5,0						
<i>Rafinacija nafte</i>							
Katalitički kreking sa fluid. jedinicom	0,70	39,2	1,41	0,36	0,63		0,05
Katalitički kreking sa pokretnim uređajem	0,05	10,8	0,17	0,03	0,25		0,03
Tornjevi za hlađenje					0,72		

¹Ukupna emisija i čvrstih i gasovih fluorida

3.2. Emisija zagađujućih materija u vode

Ljudske aktivnosti ugrožavaju ograničene vodne resurse koji su nam dostupni, i to ne samo zbog zahvatanja vode koja se zatim koristi za piće ili kao procesna voda, već i konstantnom emisijom zagađujućih materija. Do zagađenja površinskih voda dolazi direktnim ispuštanjem otpadnih voda iz domaćinstava i industrije bez njihove prethodne obrade, ali i spiranjem zagađujućih materija iz zagađenog vazduha (kisele kiše) i sa obradivog zemljišta (Slika 3.1.). Zagađujuće materije iz površinskih voda se zatim prenose do podzemnih voda, mora i okeana čime ugrožavaju opstanak biljnog i životinjskog sveta, ali i zdravlje ljudi.



* Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda

■ Tačkasti izvori

■ Difuzni izvori

Slika 3.1. Difuzni i tačkasti izvori emisije zagađujućih materija u vode

Zagađenje vode može se javiti zbog prisustva različitih materija u povišenim koncentracijama:

- neorganske supstance poput teških metala i soli,
- organska jedinjenja koja se emituju u industrijskim procesima i rafinerijama nafte,
- lekovi,
- pesticidi i herbicidi koji se koriste u poljoprivredi,
- radionuklidi koji se emituju iz rudnika.

Izvori navedenih zagađujućih materija se dele na:

- tačkaste u slučaju da ispušt vode može tačno da se locira (što je slučaj sa industrijskim ili kanalizacionim ispuštima), i
- difuzne u koje spadaju npr. vode koje se spiraju sa oranica.

Smatra se da je kontrola emisija u površinske vode znatno složeniji problem u odnosu na emisije u vazduh. Upravljanje otpadnim vodama koje se ispuštaju iz tačkastih izvora relativno lako se vrši ukoliko su na kanalizacionu mrežu priključeni svi zagađivači na određenom području i ukoliko se pre izliva kanalizacije nalazi postrojenje za preradu otpadnih voda (PPOV). Takođe, veća industrijska postrojenja često imaju sopstvene PPOV, što značajno doprinosi smanjenju emisije zagađujućih materija u vode.

Međutim, kao što se može uočiti na Slici 3.1., može doći do nekontrolisanog ispuštanja industrijskih otpadnih voda ili emisije komunalnih otpadnih voda bez njihove prethodne obrade u vodne resurse. Na primer, industrijski pogoni su najveći korisnici vodnih resursa u Evropi, jer oni zahvataju oko 40 % od ukupne količine vode koja se koristi. Takođe, industrija je i najznačajniji zagađivač, pri čemu se pre ispuštanja prečisti svega oko 60 % industrijskih otpadnih voda.

Difuzni zagađivači takođe emituju značajne količine zagađujućih materija, poput:

- nutrijenata koji se spiraju sa obradivih površina, a koji u vodi dovode do pojave eutrofikacije, i
- kisele depozicije (kisele kiše) koja nastaje rastvaranjem kiselih oksida sumpora i azota iz atmosfere, a koja dovodi do izumiranja osetljivih biljnih i životinjskih organizama, ali i menja fizičko-hemijske procese u vodama koji zavise od pH vrednosti.

Sve površinske vode imaju određeni puferski kapacitet (alkalitet) kojim mogu da se odupru promeni pH vrednosti, ali kako su usled ljudskih aktivnosti značajno povećane koncentracije kiselih oksida, a time i količina kiselih kiša koja dospeva do voda, može se desiti da kisele kiše ne mogu biti neutralisane.

Dodatni problem predstavljaju difuzni izvori koji su sačinjeni od većeg broja manjih zagađivača lociranih na određenoj površini, a koji su toliko mali da ne mogu biti zasebno praćeni, ali zato, ukoliko se nalaze u slivu manje reke ili jezera mogu izazvati značajno zagađenje i nepopravljivu štetu po biljni i životinjski svet ili zdravlje ljudi.

3.3. Generisanje čvrstog otpada

Otpad je definisan prema evropskoj direktivi o otpadu kao „bilo koja materija ili predmet koju je vlasnik odbacio, ili namerava ili mora da odbaci“, pa samim tim ljudske aktivnosti su neizbežno povezane sa nastajanjem otpada, a pored toga, dodatna sredstva i energija su potrebni za sakupljanje, tretman i deponovanje otpada. Pravilno upravljanje komunalnim čvrstim otpadom (KČO) je od suštinske važnosti kako bi se sprečilo zagađenje životne sredine, ali i zbog samih resursa koji se nalaze u otpadu, npr. reciklažom tone odbačenih mobilnih telefona može se dobiti više zlata nego preradom tone rude koja sadrži zlato u prosečnim koncentracijama. Kako KČO generiše više od 7 milijardi ljudi, sastav mu se razlikuje po regionima, ali se tokom godine menja i u zavisnosti od godišnjeg doba, što znatno usložnjava uslove za integrisano upravljanje KČO-om. Takođe, dodatan problem je i konstantan rast količine KČO koji se generiše kao posledica povećanja broja stanovnika, ekonomskog rasta, društvenih promena u svetu (potrošačko društvo), ali i sve manjeg prostora koji se može koristiti za njegovo odlaganje. Gotovo svaki predlog za izgradnju deponije na određenoj lokaciji nailazi na otpor lokalne zajednice i pored toga što su oni svesni da je deponija i njima potrebna. Na taj način sindrom „ne u mom dvorištu“ (engl. *Not In My Back Yard*) - NIMBY) protivreći opštem načelu solidarnosti u društvu. Kako se postupa sa KČO u Srbiji, u najvećem broju slučajeva, može se ilustrovati primerima datim na Slici 3.2.



Slika 3.2. Mapa sa registrovanim deponijama na teritoriji Republike Srbije (izvor: SEPA) sa fotografijama smetlišta, divljih deponija i zagađenih vodotokova

Otpad koji se odlaže bez ikakvog predtretmana (što je najčešće slučaj u Srbiji) predstavlja značajan gubitak resursa i u materijalnom i u energetsom obliku. Količina otpada koja se odlaže na deponije na nivou jedne države sve više se koristi kao indikator održivog razvoja jer ukazuje na efikasnost korišćenja prirodnih resursa. U Tabeli 3.2. predstavljeni su izvori i tipovi generisanog čvrstog otpada.

Tabela 3.2. Izvori i tipovi otpada

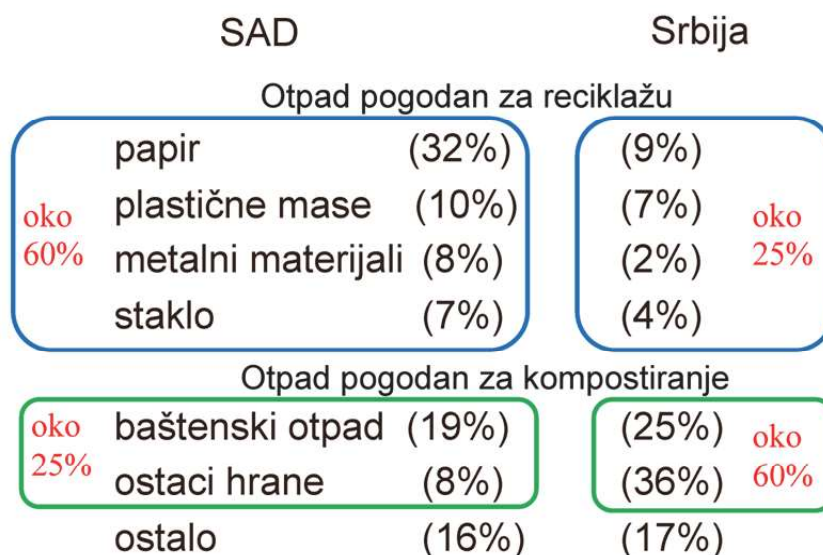
Izvori otpada	Tipovi čvrstog otpada
<u>Domaćinstva</u>	Bio-otpad, papir, karton, plastika, tekstil, koža, dvorišni otpad, drvo, staklo, metal, pepeo, specijalni otpadi (tehnika, baterije, ulje, gume) itd.
<u>Komercijalne delatnosti</u> (skladišta, hoteli, restorani, trgovine, pijace, poslovne zgrade)	Papir, karton, plastika, drvo, Bio-otpad, staklo, metali, specijalni otpadi, opasni otpadi, elektronski otpad
<u>Institucije</u> (škole, bolnice, zatvori, državne zgrade, aerodrome itd.)	
<u>Građevinarstvo</u> (gradilišta, popravljjanje puteva, renoviranje objekata, rušenje objekata)	Drvo, gvožđe, cement, cigle, keramika, itd.
<u>Komunalne službe</u> (čišćenje ulica i parkova, postrojenja za prečišćavanje pijaće i otpadne vode)	Bio-otpad, drvo, dvorišni otpad, mulj
<u>Medicinski otpad</u> (bolnice, klinike, domovi zdravlja, stomatološke ambulante, starački domovi)	Infektivni otpad, opasan otpad, radioaktivni otpad iz onkologije, farmaceutski otpad
<u>Industrija</u>	Otpad od održavanja, ambalaža, otpad od hrane, građevinski materijali, opasan otpad, pepeo, specijalni otpadi
<u>Poljoprivreda</u>	Izmešani otpaci od hrane, opasan otpad (pesticidi, herbicidi, insekticidi), itd.

Pored komunalnog otpada, značajne količine čvrstog otpada se generišu u industriji, poljoprivredi i rudarstvu (Tabela 3.3.)

Tabela 3.3. Prosečne količine otpada prema izvoru nastajanja u SAD

Izvor čvrstog otpada	Količina
Komunalne aktivnosti	2 kg/dan po stanovniku
Industrija	4 kg/dan po stanovniku
Rudarstvo i poljoprivreda	80 kg/dan po stanovniku

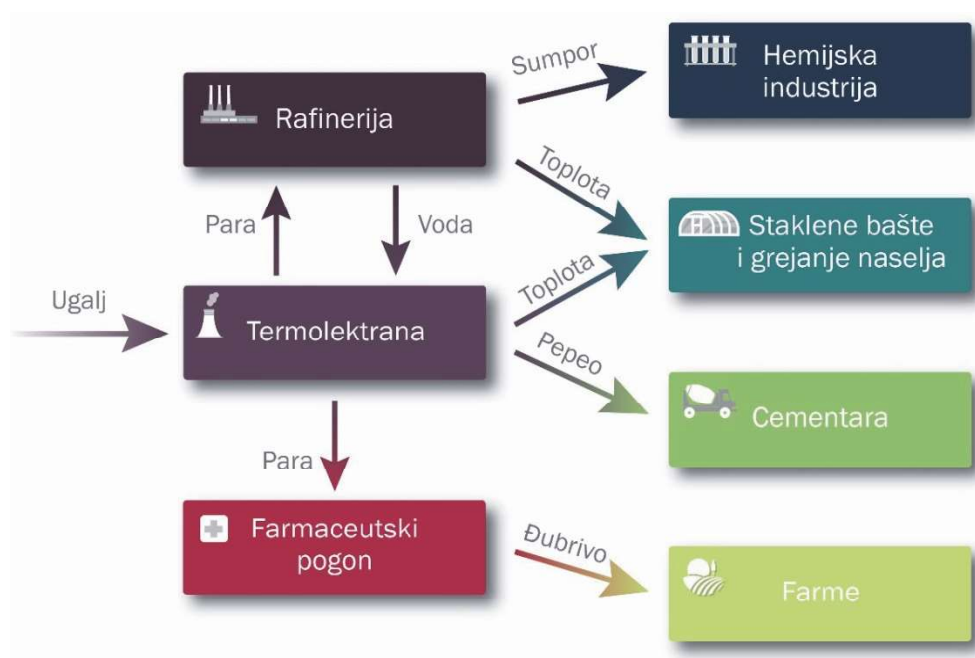
Pored toga što bruto domaći proizvod utiče na količinu otpada koji se generiše na određenoj teritoriji, on umnogome utiče i na njegov sastav (Slika 3.3.), a time određuje i potencijalne načine reciklaže i iskorišćenja nastalog otpada, npr. za dobijanje energije spaljivanjem, dobijanje komposta⁶, itd.



Slika 3.3. Prosečan sastav otpada u SAD i Srbiji (procene iz više izvora)

U svetu se poslednjih godina projektuju i grade industrijski eko-parkovi koji za cilj imaju industrijsku i poljoprivrednu simbiozu sa ciljem proizvodnje bez nastanka otpada. Primer zatvorenog ciklusa proizvodnje između termoelektrane, rafinerije nafte, cementare, poljoprivredne farme i hemijske i farmaceutske industrije prikazan je na Slici 3.4. Može se uočiti da su proizvodni pogoni navedenih industrija povezani na takav način da međusobno koriste otpad, vodu i energiju koju generišu tokom proizvodnje, a koja bi u suprotnom bila odbačena.

⁶ Kompost (materijal sličan humusu) se dobija kontrolisanim mikrobiološkim razlaganjem organskog čvrstog otpada pod aerobnim uslovima.



Slika 3.4. Primer industrijskog eko-parka

3.4. Registar izvora zagađenja (RIZ)

Intenzivan industrijski razvoj u mnogim delovima sveta, pored značajnih prednosti, dovodi i do povećane emisije zagađujućih materija u sve delove životne sredine (vazduh, voda, zemljište). Emitovane zagađujuće materije iz industrijskih postrojenja mogu biti u gasovitom, tečnom i čvrstom agregatnom stanju, od koga zavisi način rasprostiranja, kao i način njihovog delovanja na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Jedan od razloga za povećanje emisije je sve veća upotreba raznih hemijskih materija kao sirovina, a koje takođe nastaju i kao nusproizvodi tokom procesa proizvodnje. Da bi se stekao jasan uvid u izvore emisije i količine iz pojedinih izvora, mnoge zemlje sveta su u zakonsku regulativu i praksu implementirale inventare i katastre zagađivača. Krajnji cilj izrade ovakvih registara je kontrola i ograničenje emisije zagađujućih materija u životnu sredinu.

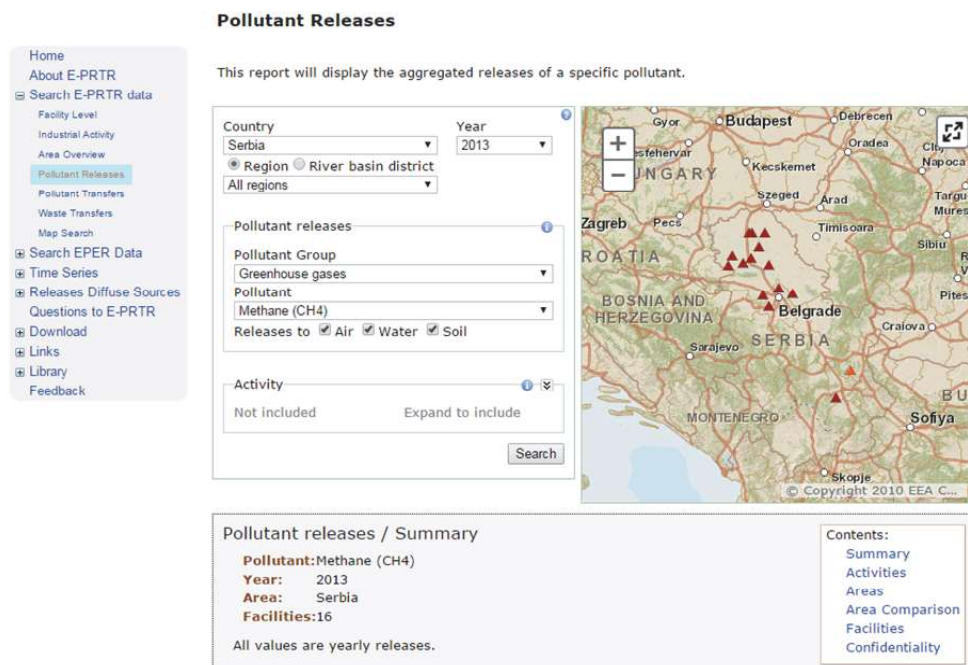
3.4.1. Evropski registar ispuštanja i prenosa zagađujućih materija (E-PRTR)

Deklaracija u Riju 1992. godine je dala podsticaj za razvoj ideje o uspostavljanju inventara emisije kojima bi se obezbedili javno dostupni podaci o zagađivačima. U Evropskoj uniji ova ideja je konkretizovana 1996. godine kroz takozvanu IPPC direktivu i 2000 godine usvajanjem odluke o izradi registra emisije (*European Pollutant Emission Register* – EPER). U Arhusu (Danska) 1998. godine održana je četvrta ministarska konferencija „Životna sredina za Evropu”, na kojoj je usvojena poznata Arhuska konvencija, Konvencija o dostupnosti informacija, učešću javnosti u odlučivanju i dostupnosti pravosuđa u pitanjima koja se tiču životne sredine.

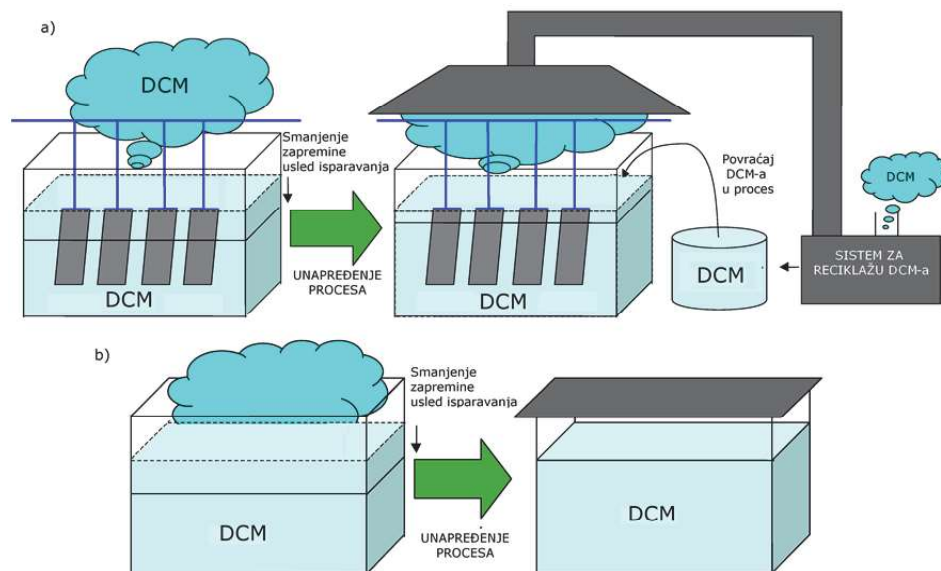
Uredbom iz 2006. godine ustanovljen je Evropski registar ispuštanja i prenosa zagađujućih supstanci (E-PRTR). E-PRTR je uspostavljen sa ciljem unapređenja pristupa informacijama koje se tiču životne sredine, i dostupan je u formi javne elektronske baze podataka na nivou EU (Slika 3.5.). Registar sadrži informacije o ispuštanju zagađujućih supstanci u vazduh, vodu i zemljište, kao i prenosu. Za određene aktivnosti se daju i granične vrednosti kapaciteta, a u nekim oblastima su sve aktivnosti (bez obzira na kapacitete operatera) obuhvaćene obavezom izveštavanja.

Definisana je lista od 91 zagađujuće supstance, kao i granične vrednosti ispuštanja u vazduh, vodu i zemljište za pojedine od njih. Ovom listom su obuhvaćeni gasovi sa efektom staklene bašte, acidifikujuće materije, supstance koje oštećuju ozonski omotač, teški metali, kancerogene materije, itd.

Pored toga što E-PRTR omogućuje pristup podacima o emisiji zagađujućih materija regulatornim organima i javnosti, njegovo uvođenje i vođenje na nivou postrojenja takođe može značajno da unapredi njihovu efikasnost ili ekonomičnost kroz poboljšanja sistema za upravljanje hemikalijama.

Slika 3.5. E-PRTR (<http://prtr.ec.europa.eu/PollutantReleases.aspx>)

Kao primer se može navesti proces pranja metalnih delova koje se vrši dihlormetanom (DCM). Analizom podataka prikupljenih u E-PRTR sistemu uočeno je da se emisija DCM vrši na dva načina: tokom i nakon rada postrojenja. Da bi se smanjila emisija tokom pranja instaliran je sistem za prikupljanje i reciklažu DCM-a, dok je smanjenje emisije nakon završenog pranja redukovano mnogo jednostavnije, prekrivanjem posuda koje sadrže DCM (Slika 3.6). Pokazalo se da uvođenjem u sistem PRTR-a takođe doprinosi i svesti zaposlenih o potrebi zaštite na radnom mestu i savesnom postupanju sa opasnim materijama.



Slika 3.6. Poboljšanje procesa na osnovu E-PRTR sistema: a) smanjenje emisije DMC tokom procesa pranja, b) smanjenje emisije DMC nakon procesa pranja
(Izvor: *Manual for Calculating the Quantity of Released Pollutant under the PRTR (Pollutant Release and Transfer Register,*
<https://www.env.go.jp/en/chemi/prtr/manual/pdf/mat01-1.pdf>)

3.4.2. RIZ u Republici Srbiji

Kako bi se stekao jasan uvid u izvore emisije, mnoge države su po ugledu na EU u svoju zakonsku regulativu implementirale registre zagađivača, čiji je cilj kontrola i ograničenje emisije zagađujućih materija. Izrada i vođenje nacionalnog i lokalnih registara izvora zagađivanja životne sredine Republike Srbije definisana je Zakonom o zaštiti životne sredine.

Zakonom o ZZS RIZ je definisan kao skup sistematizovanih podataka i informacija o vrstama, količinama, načinu i mestu unošenja, ispuštanja ili odlaganja zagađujućih materija u gasovitom, tečnom i čvrstom agregatnom stanju ili ispuštanja energije (buke, vibracija, toplote, jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja) iz tačkastih, linijskih i površinskih izvora zagađivanja u životnu sredinu. Na taj način RIZ predstavlja osnovu za:

- odgovornu politiku u oblasti zaštite životne sredine,
- implementaciju čistije proizvodnje i
- stimulisanje uvođenja čistijih tehnologija i omogućava kontrolu mera zaštite.

Formiranje registra izvora zagađivanja životne sredine obezbeđuje identifikaciju zagađivača, odnosno identifikaciju pojedinačnih izvora emisije određenih zagađujućih materija. Zahvaljujući podacima sakupljenim za registar, mogu se utvrditi tačne količine ovih materija koje su emitovane u životnu sredinu, odnosno može se delovati pravovremeno u cilju kontrole i smanjenja emisije.

RIZ je podeljen na Nacionalni registar, koji vodi Agencija za zaštitu životne sredine i koji obuhvata takozvane velike zagađivače, i Lokalne registre koje vode jedinice lokalne samouprave (gradovi ili opštine) i koji obuhvataju manje zagađivače na teritoriji svake opštine ili grada. Vođenje registra izvora zagađivanja na lokalnom nivou posebno je korisno i zbog pojave sve većeg broja malih preduzeća i individualnih delatnosti, čiji način rada, metodologija i sirovine koje se koriste, nisu uvek dobro ispitane i poznate, tako da je neophodno imati podatke o vrstama i količinama zagađujućih materija koje emituju.

Podaci o količinama emitovanih zagađujućih materija koji se dostavljaju za registre mogu biti dobijeni merenjem, proračunom ili inženjerskom procenom. Merenja, odnosno matematički metode i inženjerska procena moraju biti u skladu sa relevantnim nacionalnim, evropskim i međunarodnim uputstvima i standardima. Određivanje emisija merenjem je najtačniji i u većini slučajeva i najpouzdaniji način za određivanje emisije, naročito kontinualno merenje, pa se zbog toga preporučuje pri određivanju emisija u životnu sredinu. Međutim, u slučajevima kada je određivanje emisije merenjem komplikovano, skupo ili nepraktično, bolje je koristiti proračun. Ukoliko određivanje emisija merenjem nije bilo moguće izvesti, primenjuje se odgovarajući proračun, na primer, na osnovu materijalnog bilansa. S obzirom da su materijalnim bilansom obuhvaćene sve materije koje ulaze, nastaju, nestaju i izlaze iz procesa, može se primeniti samo ako je moguće tačno odrediti njihove količine, za svaki deo procesa (ulaz, izlaz, nastajanje, trošenje). Na primer, materijalni bilans se može primeniti da se izračuna količina emitovanog SO₂, na osnovu potrošnje goriva i sadržaja sumpora u gorivu.

Međutim, ukoliko svi podaci za izradu materijalnog bilansa nisu dostupni, emitovana količina zagađujuće materije može se odrediti proračunom, preko faktora ispuštanja. Faktori ispuštanja predstavljaju empirijski ili teoretski izvedene brojne vrednosti, pomoću kojih se, kombinovanjem sa drugim adekvatnim parametrima, može proceniti emitovana količina. Metode proračuna emisije zagađujućih materija prikazane su u narednom podpoglavlju.

3.5. Procena emisije zagađujućih materija u vazduh

3.5.1. Inventari emisije

Inventari emisija su glavni izvori podataka o emisijama zagađujućih materija u atmosferu i predstavljaju baze podataka koje se koriste kao ulaz kod procene emisija po sektorima. U opštem slučaju, emisije (E_p) se procenjuju množenjem faktora emisije (engl. *emission factor* - Ef) sa odgovarajućom stopom aktivnosti (engl. *activity rate* - Ar) posmatranog zagađivača (*Tier 1* standardni pristup):

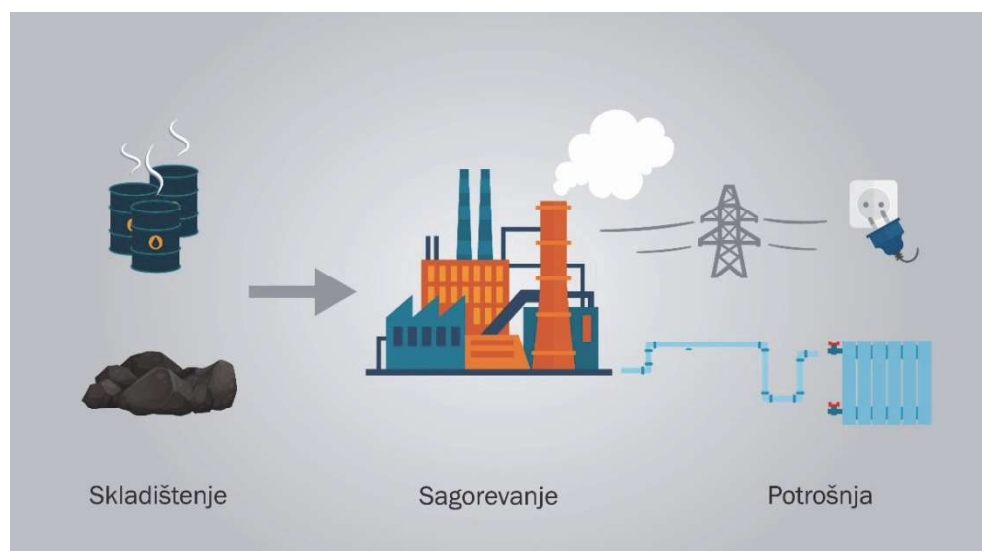
$$E_p = \sum_{aktivnosti} Ar \cdot Ef$$

Stopa aktivnosti se najčešće izvodi iz različitih statističkih baza podataka vezanih za ekonomiju i proizvodnju, energetski sektor, itd. Emisioni faktori, s druge strane, moraju biti određeni za svaki pojedinačni sektor, bilo merenjem ili proračunom (masenim bilansom). Čak i u slučaju određivanja emisionih faktora velikim brojem merenja, u velikom broju postrojenja, koja u potpunosti reprezentuju određeni sektor emisije, smatra se da oni imaju nesigurnost od 10 do 30 %.

Najčešće korišćeni inventari emisija su:

- EMEP/EEA *guidebook* koji daje smernice za proračune emisije, kako iz antropogenih, tako i iz prirodnih izvora emisije. Navedeni EMEP/EEA inventar obuhvata izveštaje o emisijama koje države dostavljaju u okviru UN programa i EU *National Emission Ceilings Directive*;
- AP42 je primarni US EPA inventar emisije od 1972. godine. U njemu se nalaze emisioni faktori za više od 200 različitih kategorija zagađivača.

Jedna od najčešćih aktivnosti u kojoj dolazi do emisije zagađujućih materija u atmosferu je sagorevanje goriva radi dobijanja električne ili toplotne energije. Tom prilikom do emisije dolazi i tokom skladištenja goriva, ali je udeo tih emisija mali u odnosu na emisiju u samom procesu sagorevanja (Slika 3.7.).



Slika 3.7. Emisije tokom skladištenja goriva i u procesu sagorevanja

Primer emisijih faktora kod sagorevanja uglja, prirodnog gasa i biomase dat je u Tabeli 3.4. Treba imati u vidu da su u Tabeli 3.4 date prosečne vrednosti emisijih faktora i da se u praksi te vrednosti mogu kretati u opsegu od 20 do 1.000% od prikazanih vrednosti, u zavisnosti od kvaliteta goriva i primenjene tehnologije za sagorevanje. Kako bi bili primenjeni što tačniji emisijni faktori poželjno je vršiti periodične analize sadržaja zagađujućih materija u gorivima.

Tabela 3.4. Emisioni faktori kod sagorevanja uglja, prirodnog gasa i biomase

Zagađujuća materija	Tip goriva			Jedinica
	Lignit	Prirodni gas	Biomasa	
NO _x	247	89	81	g/GJ
SO _x	1680	0,281	10,8	
CO	8,7	39	90	
NMVOC	1,4	2,6	7,31	
PM10	7,9	0,89	155	
PM2.5	3,2	0,89	133	
Pb	15	0,0015	20,6	mg/GJ
Cd	1,8	0,00025	1,76	
Hg	2,9	0,1	1,51	
As	14,3	0,12	9,46	
Cr	9,1	0,00076	9,03	
Cu	1,0	0,000076	21,1	
Ni	9,7	0,00051	14,2	
Se	45	0,0112	1,2	
Zn	8,8	0,0015	181	

Primena inventara emisije može se ilustrovati proračunom emisije zagađujućih materija koje nastaju sagorevanjem goriva radi proizvodnje električne energije. Jedna prosečna termoelektrana (npr. veličine Termoelektane Nikola Tesla) može godišnje da proizvede do 20,2 milijarde kWh što je 72,7 miliona GJ i da pri tome, sagorevajući lignit, emituje zagađujuće materije u količinama prikazanim u Tabeli 3.5. U Tabeli 3.5. su date i procene emisije ukoliko bi lignit bio zamenjen alternativnim gorivima (vrednosti su dobijene na osnovu emisionih faktora iz Tabele 3.4.).

Tabela 3.5. Procena emisije zagađujućih materija (u tonama) za prosečnu termoelektranu koja koristi lignit

Zagađujuća materija	Lignit	U slučaju korišćenja alternativnih goriva	
		Prirodni gas	Biomasa
NOx	17.957	6.470	5.889
SOx	122.136	20	785
CO	632	2.835	6.543
NMVOC	102	189	531
PM10	574	65	11.269
PM2.5	233	65	9.669
Pb	1,091	<0,000	1,498
Cd	0,131	<0,000	0,128
Hg	0,211	0,007	0,110
As	1,040	0,009	0,688
Cr	0,662	<0,000	0,656
Cu	0,073	<0,000	1,534
Ni	0,705	<0,000	1,032
Se	3,272	0,001	0,087
Zn	0,640	<0,000	13,159

Može se uočiti da je prirodni gas „najčistiji“ energent, dok bi zamena lignita biomasom smanjila emisiju kiselih oksida i određenog broja teških metala, ali bi se zato povećala emisija ugljen-monoksida, čestica, olova, itd. Naravno, navedene emisije mogu biti znatno smanjene ukoliko se primene adekvatne metode za prečišćavanje otpadnih gasova.

Pored navedenog *Tier 1* pristupa mogu se primeniti i znatno precizniji pristupi, *Tier 2* i 3, ukoliko se raspolaze sa potrebnim podacima. *Tier 2* pristup se zasniva na korišćenju emisionih faktora prilagođenih tehnologiji (Ef_t) (npr. sagorevanja) koja se primenjuje, dok se stope aktivnosti odnose na rad postrojenja koja raspolazu određenom tehnologijom (Ar_t):

$$E_p = \sum_{tehnologija} Ar_t \cdot Ef_t$$

Kako se u mnogim slučajevima primenjuju različiti postupci za smanjenje emisije zagađujućih materija, često se koriste emisioni faktori (Ef_{ta}) korigovani sa indeksom efikasnosti uklanjanja zagađujućih materija (η):

$$Ef_{ta} = (1 - \eta) \cdot Ef_t$$

Tier 3 pristup predstavlja procenu emisije na nivou postrojenja, za šta su potrebni odgovarajući izveštaji o emisijama i proizvodnji dostavljeni od samih operatera. Ovaj pristup se primenjuje samo ukoliko su prikupljeni izveštaji o emisijama i aktivnosti od barem 90% kompanija. U tom slučaju se emisioni faktori za određenu privrednu granu određuju kao količnik izmerenih emisija i aktivnosti postrojenja:

$$Ef = \frac{\sum_{postrojenja} Ep}{\sum_{postrojenja} Ar}$$

U slučaju da u EMEP/EEA izveštajima nedostaju podaci o emisijama određenih zagađujućih materija, tada se procene emisija vrše GAINS modelom (engl. *Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies*). GAINS model predstavlja jedan od najznačajnijih modela koji se koriste za predviđanje emisija zagađujućih materija. GAINS model se koristi za procene trenutnih i budućih emisija zagađujućih materija na osnovu: emisionih faktora, stope aktivnosti, efikasnosti i primene mera za sprečavanje emisije. Predviđanje se vrši na osnovu jednačine:

$$E_p = \sum_{aktivnosti} Ar \cdot Ef \cdot x$$

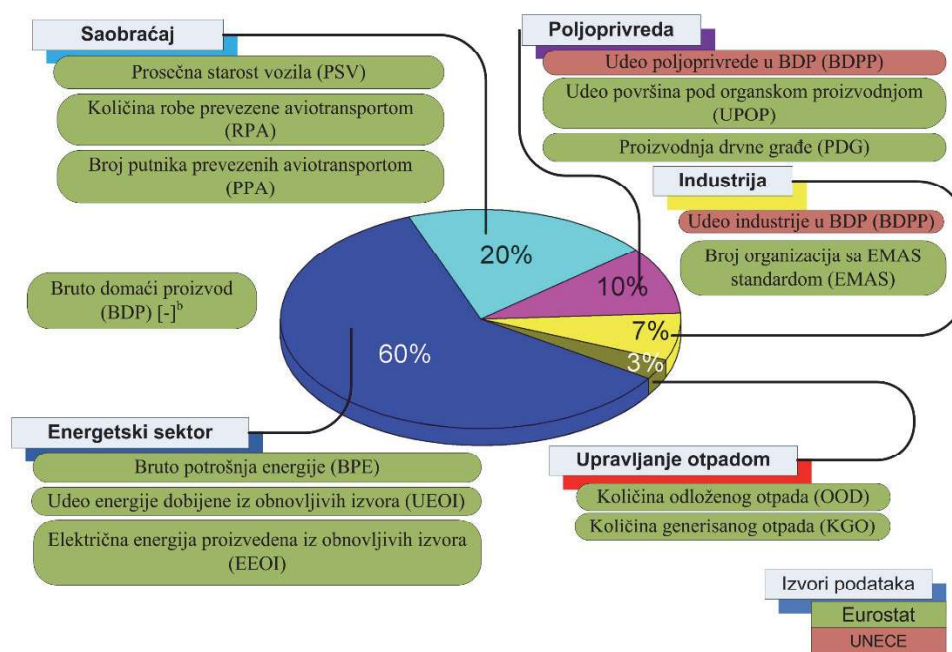
gde je x - indeks primenjenih mera za kontrolu emisije. Poređenjem *Tier 1* pristupa i GAINS modela može se uočiti da GAINS metodologija predstavlja unapređenje inventarskog pristupa u proceni emisija zagađujućih materija.

3.5.2. Primena nelinearnih tehnika za procenu emisije

Iako se inventari emisije uglavnom primenjuju za procenu emitovanih količina zagađujućih materija, njihovo korišćenje iziskuje poznavanje velikog broja ulaznih podataka (emisionih faktora i stopa aktivnosti) koji često nisu poznati ili je njihovo određivanje veoma složeno. Podaci potrebni za primenu inventarskog pristupa uglavnom nisu dostupni u zemljama u razvoju, pa je u tom slučaju neophodno koristiti alternativne tehnike za procenu emisije. Tokom poslednjih nekoliko godina razvijeni su emisioni modeli zasnovani na veštačkim neuronskim mrežama (engl. *Artificial neural networks*, ANNs) koji kao ulazne veličine koriste široko dostupne ekonomske indikatore i/ili indikatore održivog razvoja. Veštačke neuronske mreže predstavljaju informaciono-procesne algoritme, kreirane po ugledu na biološke nervne sisteme, koji mogu da uopštavaju na osnovu „učenja“ kompleksnih i nelinearnih zakonitosti koje povezuju ulazne veličine i veličinu koja se predviđa modelom. Primena veštačkih neuronskih mreža u ovoj oblasti može se ilustrovati primerom procene emisije gasova staklene bašte (engl. *Greenhouse gases*, GHGs).

Emisija gasova staklene bašte je u centru pažnje već duži niz godina zbog doprinosa globalnom zagrevanju, kao i uticaja na klimatske promene koje su jedan od najvećih problema savremene civilizacije. Da bi se u potpunosti razumeo uticaj čoveka na globalno zagrevanje, i klimatske promene uopšte, neophodno je obezbediti pouzdane podatke o emisijama gasova staklene bašte u atmosferu, a koje su posledica ljudskih aktivnosti.

Kao što je poznato, najznačajniji gasovi staklene bašte su ugljen-dioksid, metan i azotni oksidi. Za uspešno predviđanje emisije gasova staklene bašte neophodno je za ulazne promenljive modela odabrati dostupne indikatore održivog razvoja, koji kvantifikuju sve sektore njihove emisije: proizvodnja i prenos energije, saobraćaj, poljoprivreda, industrija i upravljanje otpadom (Slika 3.8.).

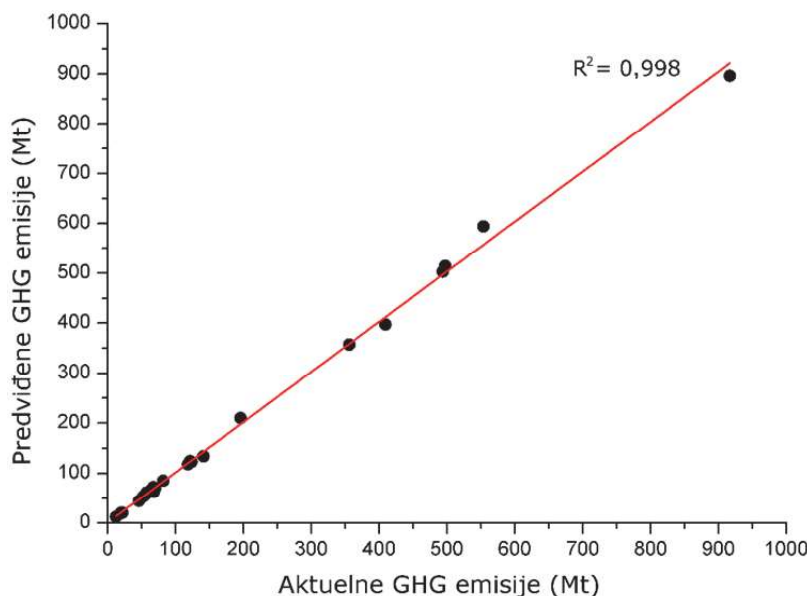


Slika 3.8. Sektori GHG emisije i odabrani indikatori ANN modela

Analizom privrednih aktivnosti kod kojih se emituju gasovi staklene bašte, može se zaključiti da su sledeći sektori glavni emiteri: energetski sektor (60 % od ukupne emisije na tlu Evrope), saobraćaj (20 %), poljoprivreda (10 %), industrija (7 %) i upravljanje otpadom (3 %).

Kao što se može uočiti na slici 3.8. za predviđanje emisije GHG-a je potrebno poznavanje svega 14 indikatora, pri čemu je tokom optimizacije ANN modela utvrđeno da tri indikatora (proizvodnja drvene građe, broj organizacija sa EMAS standardom i udeo površina pod organskom proizvodnjom) nisu neophodni, pa je finalni model kreiran sa svega 11 ulaznih veličina. Da bi se procenila preciznost ANN emisionog modela neophodno je poređenje inventarski procenjenih emisija sa emisijama koje je predvideo model (Tabela 3.6.).

Može se uočiti odlično slaganje ANN predviđenih emisija sa onima koje su dobijene primenom inventara emisija (Slika 3.9.). Takođe, u trenutku kada je ANN model kreiran (2013. godina) procene GHG emisija za Kipar i Maltu nisu postojale, što nije bila prepreka za primenu ANN modela.



Slika 3.9. Poređenje aktuelnih i modelom predviđenih emisije gasova staklene bašte za 2011. godinu

Tabela 3.6. GHG emisije evropskih zemalja za 2011. godinu

Zemlja	ANN model (Mt)	Inventar emisije (Mt)	Relativna greška (%)
Belgija	124,6	121,3	2,72
Bugarska	62,9	67,9	-7,36
Češka	134,1	141,1	-4,96
Danska	58,2	56,1	3,74
Nemačka	896,1	917	-2,28
Estonija	19,9	20,9	-4,78
Irska	62,0	57,3	8,20
Grčka	118,0	118,5	-0,42
Španija	357,2	356,1	0,31
Francuska	513,8	497,5	3,28
Italija	502,8	493,7	1,84
Kipar	11,5	-	-
Letonija	12,0	12,1	-0,83
Litvanija	20,8	21,4	-2,80
Luksemburg	12,1	12,3	-1,63
Mađarska	67,5	65,6	2,90
Malta	4,7	-	-
Holandija	209,8	195,8	7,15
Austrija	84,8	81,9	3,54
Poljska	397,5	409,3	-2,88
Portugal	70,2	70,0	0,29
Rumunija	122,9	123,7	-0,65
Slovenija	20,5	19,5	5,13
Slovačka	43,9	45,9	-4,36
Finska	72,5	67,3	7,73
Švedska	65,3	62,8	3,98
Vel. Britanija	594,3	553,8	7,31
Norveška	54,1	52,7	2,66

Pored predviđanja GHG emisija na nacionalnom nivou, ANN pristupom je moguće predviđati i GHG emisije u različitim sektorima, npr. proizvodnja energije, saobraćaj, poljoprivreda, itd. U tom slučaju je kao ulazne veličine potrebno koristiti indikatore koji opisuju specifičnosti svakog sektora čije emisije su predmet analize.

Reference

Amann, M., Bertok, I., Borken-Kleefeld, J., et al., *Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications*, Environ. Model. Softw., vol. 26, **2011**, pp. 1489–1501.

Antanasijević, D., Nikolić, S., Pocajt, V., et al., *Predviđanje emisija odabranih zagađujućih materija vazduha u Beogradu korišćenjem veštačkih neuronskih mreža*, Ecologica, vol. 20, **2013**, pp. 626–631.

Antanasijević, D. Z., *Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža*, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, **2014**.

European Environment Agency (EEA), *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*, **2013**. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.

Gaur R., *Basic Environmental Engineering*, New Delhi: New Age International Publishers, **2008**.

Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., *What a Waste - A Global Review of Solid Waste Management*, Washington, DC, USA, **2012**.

IIASA, *GAINS*, **2015**. <http://gains.iiasa.ac.at/models/>.

Todić, D., *Životna sredina, Vodič kroz EU politike*, Evropski pokret u Srbiji, Beograd, **2010**.

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), *Compilation of air pollutant emission factors, Volume I: Stationary point and area sources, AP 42*, **1995**. <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>.

Vallero, D. A., *Fundamentals of Air Pollution*, New York:Elsevier, **2007**.