

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**METALURŠKI FAKULTET**

# **ZDRAVLJE I OKOLIŠ**

**Dr.sc. Tahir Sofilić**



**Sisak, 2015.**

Autor: Doc. dr.sc. Tahir Sofilić

Recenzenti:

Izv. prof. dr.sc. Zdravko Špirić, OIKON d.o.o. Institut za primijenjenu ekologiju,  
Trg senjskih uskoka 1-2, 10020 Zagreb

Izv. prof. dr.sc. Jasna Bošnjir, Zavod za javno zdravstvo "Dr. Andrija Štampar",  
Mirogojska cesta 16, 10000 Zagreb

Izdao: Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.

Skripta su namijenjena studentima 3. godine preddiplomskog studija Metalurgije – smjer Industrijska ekologija na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a u svrhu stjecanja i dopunjavanja znanja iz područja zaštite okoliša, točnije, povezanosti čimbenika okoliša koji mogu prouzročiti štetne učinke na zdravlje čovjeka.

Ovaj nastavni materijal ima zadaću pridonijeti ekološkom osvješćivanju studenata upoznavajući ih sa zdravstvenim učincima okolišnih čimbenika i ekološkim konceptom zdravlja i zdravstveno-ekološkim standardima.

U prvom, uvodnom poglavlju, govori se o značaju opterećenja okoliša različitim onečišćujućim tvarima kojima se vrlo često ugrožava ljudsko zdravlje, pri čemu nije pošteđena niti jedna od njegovih sastavnica (zrak, voda i tlo), uzrokovalo je izravno ili neizravno štetno djelovanje ovih tvari na život na Zemlji.

O čimbenicima kao što su voda, zrak, izloženost raznim biološkim, kemijskim i fizikalnim agensima uslijed prirodnih događanja ili zbog ljudskog djelovanja, govori se u drugom poglavlju ove skripte.

Treće poglavlje studentu predstavlja zrak čija je kvaliteta narušena prisutnošću onečišćujućih tvari i to u koncentracijama zbog kojih takav zrak može uzrokovati narušavanje zdravlja, smanjenje kvalitete življenja i/ili može štetno utjecati na bilo koju sastavnicu okoliša.

U četvrtom poglavlju se govori o vodi kao jedinstvenom i nezamjenjivom prirodnom izvoru ograničenih količina te važnosti odnosa prema vodi koja lošim gospodarenjem može postati ograničavajući čimbenik razvoja, te prijetnja ljudskom zdravlju i održivosti prirodnih ekosustava.

Kroz peto poglavlje studenta se upoznaje sa značenjem tla kao sastavnice okoliša u životu čovjeka, te problemima u svezi s onečišćenjem okoliša iz prirodnih i antropogenih izvora, najčešćim onečišćujućim tvarima u tlu, s posebnim naglaskom na utjecaj pojedinih onečišćujućih tvari na ljudsko zdravlje.

U šestom poglavlju se govori o otpadu, gospodarenju otpadom i mogućem štetnom utjecaju neučinkovitog gospodarenja otpadom na vode, zrak i tlo, što može utjecati na zdravlje ljudi i okoliš u cijelosti.

Sedmo poglavlje razmatra problem buke, posebice u velikim urbanim sredinama i posljedicama razina buke koje premašuju zdravstvene standarde, te su prikazani nepovoljni učinci buke na zdravlje ljudi.

U osmom i devetom poglavlju se studenta uvodi u područje, do sada malo istraživanih, utjecaja svjetlosnog onečišćenja okoliša i onečišćenja okoliša elektromagnetnim, posebice ionizirajućim zračenjem, te njihovim štetnim učincima na zdravlje.

O zdravstvenim rizicima i njihovoj procjeni govori se u desetom poglavlju u kojem se studentima opisuje i jedan od najčešćih alata u tom procesu – humani biomonitoring.

Autor

**KAZALO**

1. UVOD	6
2. O ZDRAVLJU I OKOLIŠU	7
2.1 Zdravstveni učinci okolišnih čimbenika	8
2.2 Zdravstveno-ekološki standardi okoliša	12
3. ONEČIŠĆENJE ZRAKA	17
3.1 Lebdeće čestice i prizemni ozon	22
3.1.1 Lebdeće čestice i njihovi učinci na zdravlje	22
3.1.2 Prizemni ozon i njegovi učinci na zdravlje ljudi	29
3.2 Dušikovi i sumporovi oksidi	34
3.2.1 Dušikovi oksidi i njihovi učinci na zdravlje ljudi	34
3.2.2 Sumporovi oksidi i njihovi učinci na zdravlje ljudi	38
3.3 Hlapivi organski spojevi u zraku i njihovi učinci	42
3.4 Teški metali u zraku i njihovi učinci	45
4. ONEČIŠĆENJE VODE	51
4.1 Vrste i značajke vode u prirodi	52
4.1.1 Oborinske vode	54
4.1.2 Površinske vode	54
4.1.3 Podzemne vode	55
4.2 Onečišćenje vode i izvori onečišćenja	55
4.3 Onečišćujuće tvari u vodi i njihovi učinci na zdravlje ljudi	58
4.4 Razvrstavanje i monitoring voda u Republici Hrvatskoj	63
4.4.1 Standard kakvoće voda u Republici Hrvatskoj	63
4.4.2 Monitoring voda u Republici Hrvatskoj	66
4.5 Opskrba vodom za piće u Republici Hrvatskoj	67
4.5.1 Javna vodoopskrba i javna odvodnja	68
5. ONEČIŠĆENJE TLA	70
5.1 Izvori oštećenja i onečišćenja tla	71
5.2 Najčešće onečišćujuće tvari u tlu	73
5.3 Praćenje onečišćenosti tla – monitoring	76
5.4 Utjecaj onečišćujućih tvari u tlu na zdravlje ljudi	80
6. GOSPODARENJE OTPADOM	82
6.1 Gospodarenje otpadom kroz povijest	83
6.2 Gospodarenje otpadom danas	85
6.2.1 Što je otpad i kako se klasificira	86

6.2.2	Postupci zbrinjavanja i oporabe otpada	89
6.3	Utjecaj neučinkovitog gospodarenja otpadom na zdravlje ljudi	93
7.	ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA BUKOM	97
7.1	Buka u velikim gradovima i njen utjecaj na zdravlje ljudi	98
8.	SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA	101
8.1	Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na zdravlje ljudi	103
9.	ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA ELEKTROMAGNETNIM ZRAČENJEM	105
9.1	Utjecaj elektromagnetnog zračenja na zdravlje ljudi	108
10.	ZDRAVSTVENI RIZICI I NJIHOVA PROCJENA	114
10.1	Upravljanje zdravstvenim rizicima u okolišu	118
10.1.1	Načini upravljanja rizicima i vrednovanje mogućih rješenja	118
10.2	Korištenje biomonitoringa u procjeni rizika	121
10.2.1	Humani biomonitoring	122
11.	LITERATURA	125
12.	POPIS OZNAKA, KRATICA I POKRATA	138

## 1. UVOD

Čovjek je, razvojem gospodarstva u svrhu porasta životnog standarda, i to nenamjerno, promijenio i poremetio izmjene tvari u okolišu kako s promjenom njihovih koncentracija u svim njegovim sastavnicama, tako i tvorbom novih u prirodi nepoznatih spojeva. Opterećenje okoliša različitim onečišćujućim tvarima kojima se vrlo često ugrožava ljudsko zdravlje, pri čemu nije pošteđena niti jedna od njegovih sastavnica (zrak, voda i tlo), uzrokovalo je izravno ili neizravno štetno djelovanje ovih tvari na život na Zemlji. Zbog toga, pitanje očuvanja okoliša predstavlja jedan od najvećih izazova suvremenog čovjeka jer se prirodni okoliš, a time i ljudsko zdravlje nalazi izloženo štetnim utjecajima onečišćujućih tvari iz okoliša.

Zadaća je stoga, svakog suvremenog društva, uvođenje i pridržavanje ekoloških kriterija i standarda u svim sferama života, a osobito u području proizvodnje, transporta, korištenja slobodnog vremena, kulture i politike, kako bi se zaštitio život na Zemlji i unaprijedilo ljudsko zdravlje.

Zdrav okoliš temeljna je pretpostavka za očuvanje zdravlja ljudi i kvalitete života. Najčešći negativni utjecaji okoliša na zdravlje ljudi povezani su s lošom kakvoćom voda, onečišćenjem zraka problemima vezanim uz gospodarenje otpadom i sl. U posljednje vrijeme uočava se i utjecaj klimatskih promjena, dok gubitak biološke raznolikosti i degradacija zemljišta posredno utječu na smanjenje kvalitete života. O zdravstvenim učincima opasnih kemikalija manje se zna, a u urbanim i prometnim područjima, uz onečišćenje zraka, štetan utjecaj na zdravlje i sigurnost ljudi imaju buka te prometne nesreće. Učinak okolišnih čimbenika na zdravlje ovisi o prostoru i vremenu njihova djelovanja, intenzitetu ili dozi izloženosti, međusobnim interakcijama, kao i o ciljanoj populaciji na koju djeluju.

Iz ovih razloga, buduća tehnološka postignuća razvijenog svijeta, moraju podlijegati ekološkim zakonima i kulturnim zahtjevima kao bitnih kriterija utvrđivana smjera razvoja. Ti kriteriji moraju predstavljati temelje budućeg razvoja, na kojima treba graditi buduća društva i njihove zajednice.

Iako se smatra da se zabrinutost čovjeka za propadanje i onečišćenost okoliša pojavila prvi put tek krajem 1960-ih, važno je napomenuti da su onečišćenost zraka, vode i drugi problemi okoliša odavno poznati. Naime, od davnih vremena, među ljudima su predodžbe o bolestima, uzrokovane onečišćujućim tvarima iz okoliša, bile mnogo prihvatljivije nego danas, a većina poznatih problema ponovno je postala aktualna u vremenu obilježenom naglim razvojem industrije, porastom broja tvornica, nicanjem velikog broja gradova itd. Ovo je imalo za posljedicu promjene krajobraza i trajni gubitak tla njegovom prenamjenom za izgradnju industrijskih pogona, velike emisije onečišćujućih tvari u okoliš i njegovo onečišćenje, nastajanje otpada, pojavu buke, a time i narušavanje općeg zdravstvene slike čovječanstva i pojavu niza štetnih učinaka po zdravlje čovjeka u obliku porasta broja različitih oboljenja uzrokovanih tim štetnim tvarima.

## 2. O ZDRAVLJU I OKOLIŠU

Naše zdravlje je u izravnoj vezi sa *zdravljem* okoliša s obzirom da onečišćenost odnosno zagađenost okoliša može biti uzrokom čitavog niza zdravstvenih poteškoća, npr. astme, alergija ili preosjetljivosti, raznih oblika raka, dijabetesa, bolesti srca i krvožilnog sustava, problema s plodnošću, neuroloških stanja, pretilosti i brojnih drugih. Nažalost, još uvijek mnoge od zdravstvenih posljedica zagađenosti okoliša postaju vidljive tek nakon duljeg vremena ili se javljaju kao posljedica kronične izloženosti. Iako je štetan utjecaj zagađenja okoliša na zdravlje čovjeka odavno poznat, te iako je zdravlje vrednota kojoj većina ljudi pridaje najveći značaj, često se na mjere koje imaju cilj osigurati čišći i zdraviji okoliš još uvijek gleda kao na teško dostižan *lukšuz*, a poneki ga ne smatraju prioritetnim.

No, vrlo je važno na početku reći da je zdravlje prvo na listi prioriteta suvremenog čovjeka i jedan od najvećih izazova 21. stoljeća. Prepoznavanje niza uzroka koji utječu na zdravlje, potiče nas na stalno razmišljanje kako ga sačuvati. Naime, zdravlje čovjeka, njegov okoliš i način života su u stalnom i vrlo aktivnom međudjelovanju tijekom kojeg se čovjek stalno prilagođava svom okolišu ujedno ga mijenjajući ne bi li stvorio optimalne uvijete za uspješan život i opstanak.

Iako je teško definirati kakav bi okoliš bio optimalan s obzirom na kvalitetu života koju čovjek u njemu ostvaruje, danas se zna da bi on u sebi trebao sadržavati sve elemente od prava na osnovne biološke potrebe pa do prava na kulturno i socijalno ostvarenje s posebnim naglaskom na zdravlju.

Danas se izraz *zdravlje* najčešće upotrebljava u kolokvijalnom i znanstvenom značenju, a predstavlja vrlo širok pojam kojeg je teško definirati i kojeg se može tumačiti na mnogo načina. Naime, zdravlje predstavlja vrlo složen dinamički fenomen koji se može definirati na više načina – kao odsutnost bolesti, odsutnost nesposobnosti i poremećene funkcije, rezultata harmoničnih odnosa sa okolišem, stanje ravnoteže na svim razinama, produkt odgovornog i zdravog načina života, uvjet ili neophodnost za obavljanje svakodnevnog života i potencijal za samoostvarenje. Mnoge definicije zdravlja imaju osim medicinske i filozofsku, psihološku, socijalnu i ekonomsku dimenziju.

Stoga se pojam zdravlja ne smije shvaćati samo po definiciji Oxfordovog rječnika<sup>1</sup> koji ga definira kao *stanje odsutnosti bolesti ili ozljede*, jer je zdravlje u većini slučajeva jedno individualno iskustvo vlastitog psihofizičkog stanja, te se često ne može testirati, dijagnosticirati, izmjeriti ili izvagati. Prema ovoj definiciji, po kojoj je zdravlje definirano kao odsutnost fizičke nesposobnosti, stoljećima su se osobe, koje primjerice boluju od kroničnih bolesti ili imaju posebne potrebe, smatrane nezdravima. Naravno, ova je definicija vrlo uska jer obuhvaća samo biološke čimbenike, te nije korisna kao polazište za djelovanje na području održavanja, poboljšanja ili zadržavanja zdravlja.

S obzirom da je zdravlje vrlo širok pojam pa ima i objektivne i subjektivne aspekte. Općenito danas je najprihvaćenija definicija ona formulirana u statutu *Svjetske Zdravstvene Organizacije* – SZO (engl. *World Health Organization*, WHO), koja zdravlje opisuje kao

*jedno psihičko, fizičko i socijalno blagostanje, a ne samo puka odsutnost bolesti ili slabosti*<sup>2</sup>. Prema ovoj definiciji zdravlje treba smjestiti u najširi kontekst te govoriti o interakciji fizičkog i mentalnog u pozitivnom društvenom okruženju i sposobnost pojedinaca da se aktivno kreću unutar okruženja.

Dva najvažnija čimbenika ljudskog zdravlja kao šireg koncepta su stil i uvjeti života. Stil života uključuje zdravstvena ponašanja kao što su prehrana, tjelovježba, uporaba supstanci i spolno ponašanje, pa pojedinci često imaju utjecaj na vlastiti odabir stila života. Uvjeti života odnose se na okruženje u kojima ljudi žive i rade kao i na to kakav učinak okolno okruženje i društvo ima na život pojedinca. Uvjete života često je teško promijeniti no to nije i nemoguće te ih je stoga važno pokušati unaprijediti.

S obzirom da je čovjek svakodnevno pod utjecajem različitih čimbenika okoliša prilikom obavljanja osnovnih radnji kojima osigurava svoj opstanak (pijenja vode, konzumiranje namirnica, udisanja zraka, dodir s tlom, otpadom, svakodnevna izloženost buci ili zračenjima) primoran je na praćenje, procjenu i promjenu štetnih čimbenika okoliša, kako bi zaštitio svoje zdravlje.

Ovdje je također vrlo važno pojasniti i značenje riječi *okoliš*. Važeća definicija *okoliša* sadržana u hrvatskom *Zakonu o zaštiti okoliša*<sup>3</sup> prema kojem *Okoliš* predstavlja *prirodno i svako drugo okruženje organizama i njihovih zajednica uključivo i čovjeka, koje omogućuje njihovo postojanje i njihov daljnji razvoj: zrak, more, vode, tlo, zemljina kama, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja koje je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja*.

## 2.1 Zdravstveni učinci okolišnih čimbenika

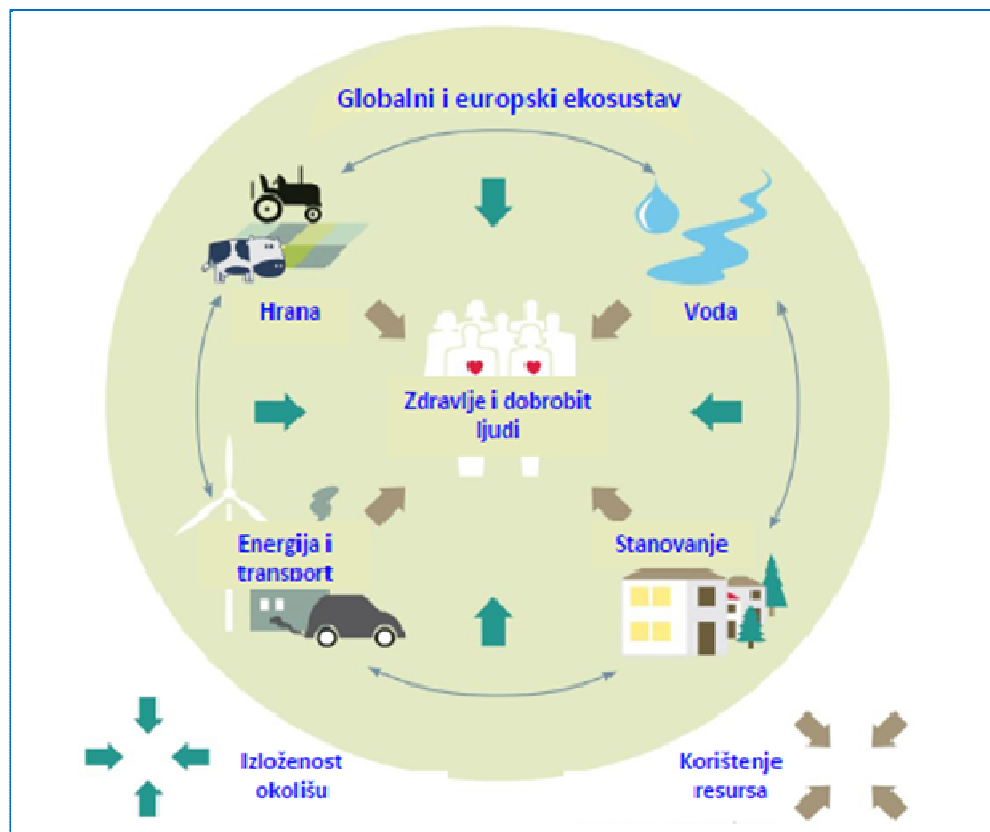
Na neke od velikog broja čimbenika koji izravno utječu na zdravlje i opće stanje čovjeka, kao što su spol, dob, određena genetska obilježja i obiteljska predispozicija određenim bolestima, čovjek ne može utjecati. Međutim, daleko je veći broj onih čimbenika na koje čovjek može utjecati te poduzimanjem određenih mjera očuvati i unaprijediti svoje zdravlje. U ovu skupinu čimbenika ubrajaju se prehrambene navike, tjelesna aktivnost, konzumiranje alkohola, pušenje, te ostale stečene navike i stilovi života.

Postoje, međutim, neki čimbenici koji mogu izravno utjecati na zdravlje ljudi i na koje se može djelovati, ali su mjere za njihovu kontrolu složenije i obično ovise o socijalno-ekonomskim uvjetima odnosno gospodarsko - ekonomskim interesima i mogućnostima. U ovu grupu spadaju okolišni čimbenici, kao što su voda, zrak, hrana, uvjeti stanovanja, te izloženost raznim biološkim, kemijskim i fizikalnim agensima uslijed prirodnih događanja ili zbog ljudskog djelovanja<sup>4</sup>.

Imajući ovo na umu, donošenje kvantitativne ocjene utjecaja ovih okolišnih čimbenika koji mogu biti štetni po zdravlje ljudi, iziskuje interdisciplinarno i u pravilu dugoročno i ciljano praćenje stanja okoliša i zdravlja ljudi, jer zaštita svih dijelova ekosustava i



spriječavanje njihovog onečišćenja ljudskom djelatnošću, nameće se kao jedno od temeljnih načela održanja života na zemlji s obzirom da je život moguć samo u zdravom okolišu. Naime, dobra kvaliteta prirodnog okruženja pruža više pogodnosti za zdravlje i dobrobit ljudi, za razliku od, zagađenog zraka, pojave buke u okolišu, loše kvalitete vode, prisutnih kemikalija, zračenja, te uništavanje okoliša što uzrokuje različite neželjene učinke na ljudsko zdravlje, slika 1.



Slika 1. Shematski prikaz povezanosti okoliša i ljudskog zdravlja i dobrobiti<sup>5</sup>

Okolišni čimbenici, bilo da su kemijski, fizikalni, biološki ili društveni, svakodnevno utječu na ljudsko zdravlje, pri čemu mogu izazvati pozitivne i negativne posljedice. S obzirom na veliki broj spomenutih okolišnih čimbenika koji, dakle, mogu prouzročiti promjene u funkciji ljudskog organizma, može ih se razvrstati u nekoliko skupina, a to su:

- Onečišćenje zraka,
- Onečišćenje vode i hrane,

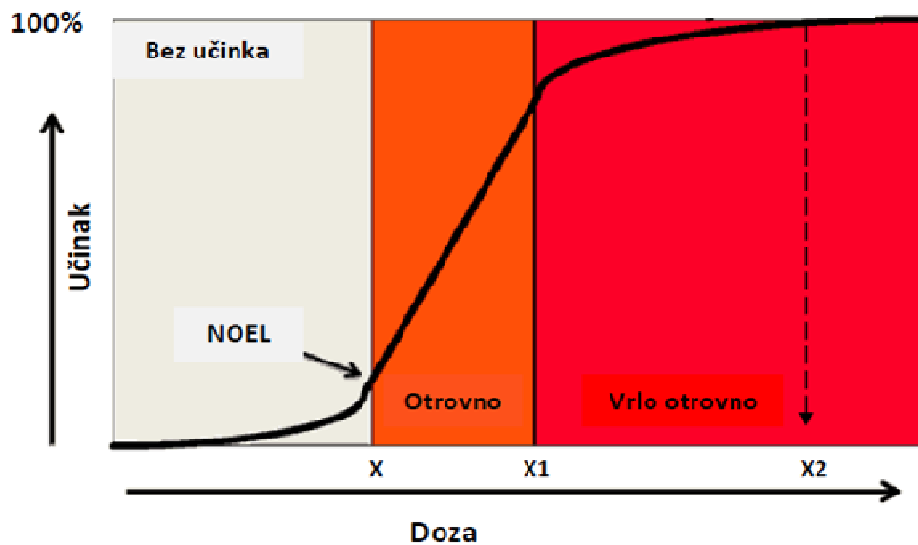
- Onečišćenje tla,
- Gospodarenje otpadom,
- Zračenje,
- Buka,
- Čimbenici naselja i stanovanja.

Svi okolišni čimbenici, kojima je čovjek izložen izravno ili neizravno, utječu na njegovo zdravlje i dobrobit, blagostanje i životni standard. Oni uključuju različite štetne tvari u našem okruženju, vremenske nepogode kao što su poplave i suše, a u konačnici mogu ugroziti i našu budućnost ograničavanjem pristupa osnovnim dobrima okoliša kao što su čist zrak, čista voda i plodno tlo. Okolišni čimbenici su u suštini povezani i sa korištenjem izvora hrane, vode, energije i materijala (građevinskog, metala, minerala, vlakana, kemikalija itd.) kao i tla, jer njihovo neracionalno korištenje može uzrokovati niz štetnih zdravstvenih učinaka na čovjeka te imati štetne posljedice za cijeli ekosustav.

S obzirom na relativno veliki broj različitih zdravstvenih učinaka, treba razlikovati dvije vrste<sup>6</sup> onih koji su štetni po zdravlje – negativni zdravstveni učinci, a to su:

**Učinci s graničnim vrijednostima** - učinci čija se jačina odnosno učestalost smanjuje sa smanjenjem razine izloženosti djelovanju štetne tvari iz okoliša odnosno njegove doze. Ovi učinci se obično smanje na nulu i prije no što je razina izloženosti postigla vrijednost nula odnosno spustila se u područje u kojem nema učinka - ispod tzv. *praga*, slika 2.

Na slici 2 je prikazan tijek djelovanja štetne tvari i pojave učinaka različitih intenziteta. Naime, nakon što se prekorači doza štetne tvari (X) ispod koje nema štetnog učinka, počinju se javljati štetni učinci koji su ispočetka slabi poput prolaznih učinaka (npr. mučnina, glavobolja, prolazne opekotine, itd.) pa do štetnih (X - X1) i vrlo štetnih učinaka, nakon prekoračenja doze X1, poput neprolaznih štetnih učinaka na dijelu organizma npr. oštećenja bubrega, jetara, mozga, itd.); pojave raka (nakon višekratne izloženosti - obično mnogo godina nakon višegodišnje izloženosti); pojave oštećenja na plodu ili čak smrt ploda u utrobi majke koja je bila jednokratno ili višekratno izložena otrovu; pojave tjelesnog oštećenja u potomka više ili manje godina nakon poroda (npr. pojava raka, propadanje nekog organa, neplodnost, itd.); posebnih prolaznih ili neprolaznih učinaka na organe za reprodukciju (npr. neplodnost, gubitak libida itd.) i konačno do smrti koja je najgori štetni učinak, a koja može nastupiti brzo ili postupno čak godinama nakon što je čovjek bio izloženim otrovima (npr. pojava raka kod ljudi koji su godinama rukovali pesticidima i sl.) i to sve dok se ne dosegne doza X2 kada je štetan učinak 100% tj. kada nastupi smrt<sup>7</sup>.



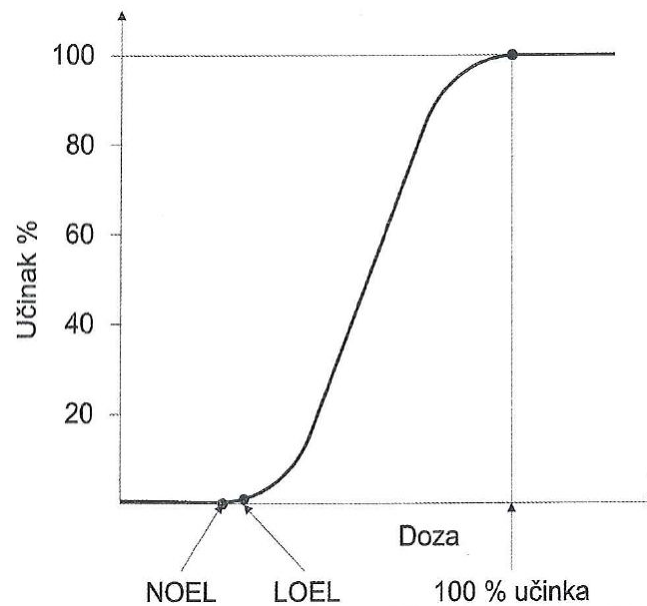
Slika 2. Promjena učinka s promjenom doze štetne tvari<sup>8</sup>

Svako daljnje povećanje doze neće imati nikakvog utjecaja na povećanje učinka, kao što promjena doze ispod razine X nije značajna jer nema učinka. Doza, na slici označena kao X, kod koje se počinje pojavljivati štetan učinak, vrlo je važna pri utvrđivanju tzv. *koncentracije sigurnosti*<sup>9</sup> i predstavlja osnovu za izračunavanje MDK koja se može nazvati i granična vrijednost izloženosti GVI, tj. koncentracije kod koje se s velikom sigurnošću neće pojaviti određeni štetni učinak tokom izloženosti opasnoj tvari.

Pojednostavljeni način izračuna MDK prikazan je na slici 3, na kojoj je najviša doza bez učinka označena kao NOEL (engl. *No Observed Effect Level*) a najniža izmjerena doza s učinkom LOEL (engl. *Lowest Observed Effect Level*)<sup>9</sup>.

Kako je već rečeno, temelj za izračunavanje MDK je krivulja doza/učinak, ali se pritom ne promatra najteži mogući učinak ili smrt, nego drugi prolazni ili neprolazni štetni učinci. Najvažniji podatak je najviša doza uz koju se ne pojavljuje štetan učinak – točka NOEL, a daljnjim povećanjem doze opazili bi se prvi učinci u točki LOEL, no nas ne zanimaju doze kod kojih se učinci pojavljuju već doza kod koje se učinci ne pojavljuju ili ADI (engl. *Acceptable daily intake*). Ta se veličina dobije dijeljenjem NOEL-a s faktorom sigurnosti koji može biti od 10 do 10 000. Međutim, NOEL nije sigurna veličina jer se zbog razlika među jedinkama kod nekih jedinki učinci ipak mogu pojaviti, a traži se doza kod koje se učinci neće pojaviti tj. traži se prihvatljivi dnevni unos ili ADI.

**Učinci bez graničnih vrijednosti** – to su učinci bez graničnih vrijednosti kod kojih nema tako niske razine izloženosti koja ne bi mogla izazvati štetan učinak. Ovdje se, prema mnogim autorima, svrstavaju karcinogene tvari, za koje se smatra da nema granične vrijednosti ispod koje ne bi bilo štetnog učinka te tvari. Naime, god izloženosti djelovanju ovakvih tvari, bez obzira na razinu izloženosti i dozu tvari, može doći do pojave karcinoma. Ovo je posebno značajno za tvari s genotoksičnim svojstvima.

Slika 3. Put izračuna MDK na krivulji doza/učinak<sup>9</sup>

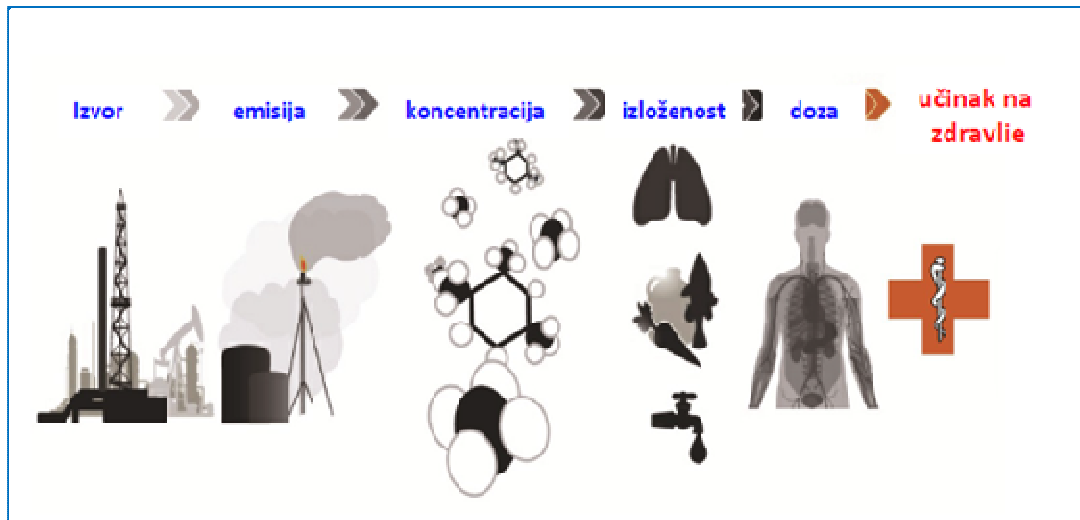
O navedenim okolišnim čimbenicima i njihovom mogućem izravnom utjecaju na zdravlje ljudi te mjerama za njihovu kontrolu, bit će detaljnije opisano u zasebnim poglavljima u ovom priručniku/skripti.

## 2.2 Zdravstveno-ekološki standardi okoliša

Da bi se u praksi postigla zadovoljavajuća zaštita zdravlja ljudi, najznačajniji problem se javlja pri određivanju razine izloženosti određenom okolišnom čimbeniku koja je prihvatljiva uz zanemarujući ili prihvatljivi zdravstveni rizik. Stoga, se na ovom mjestu može kazati da je *rizik* očekivana učestalost neželjenih štetnih učinaka nastalih uslijed izloženosti određenom čimbeniku okoliša.

Kod uobičajenih definicija rizika uvijek postoji s jedne strane vjerojatnost ili učestalost pojavljivanja neželjenog događaja, a s druge strane posljedica koja pri tome nastaje. Rizik je vjerojatnost i ozbiljnost štetnog djelovanja neke opasnosti na zdravlje ljudi i/ili okoliš, a kada je riječ o prirodi, onda se kaže da je rizik u stvari vjerojatnost da će neki zahvat posredno ili neposredno prouzročiti štetu u prirodi.

Sa stajališta zdravlja čovjeka, rizikom se može smatrati vjerojatnost da će neka štetna tvar unesena u organizam izazvati prolazne ili neprolazne štetne učinke na zdravlje, slika 4.



Slika 4. Put onečišćujuće tvari od izvora do štetnog učinka na zdravlje

Vrlo često se pojam rizik izjednačava s pojmom opasnosti, a opasnost, u sigurnosnom smislu, znači pogibelj za ljude, štetu na imovini ili onečišćenje okoliša. Odrediti apsolutnu vrijednost rizika značilo bi u potpunosti predvidjeti neki budući događaj, a to je nemoguće, pa se rizik može samo procijeniti. Procjena rizika nije jednostavan postupak, a rezultati se dobivaju s većom ili manjom pogreškom. Postupak procjene rizika je znanstveno utemeljen proces ocjenjivanja potencijalnih štetnih učinaka neke opasnosti i sastoji se od četiri faze: identifikacije opasnosti, karakterizacije opasnosti, procjene izloženosti i karakterizacije rizika.

Do procijenjene vrijednosti ekološkog rizika za neku populaciju može se doći uspoređivanjem izmjerene razine promatranog čimbenika okoliša s graničnom vrijednošću toga čimbenika odnosno s njegovom najvećom koncentracijom koja se smije dozvoliti bez opasnosti od negativnog zdravstvenog učinka, koja i predstavlja zdravstveno-ekološki standard. Ove vrijednosti su u pravilu sadržane i u zakonske i podzakonske propisa kojima se uređuju pitanja pojave i maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) pojedinih onečišćujućih tvari u okolišu.

Prema ovome, može se reći da zdravstveno-ekološki standardi određuju granične vrijednosti okolišnih čimbenika ispod kojih ne treba očekivati njihove štetne učinke na zdravlje ljudi<sup>10,11</sup>. Kako bi se ovo učinkovito primijenilo u praksi, to su granične vrijednosti emisija, standardi kakvoće okoliša, pravila postupanja i druge mjere zaštite okoliša, a

time i zdravlja ljudi, uređene određenim zakonima i provedbenim dokumentima (pravilnicima, uredbama, rješenjima i sl.) tz. podzakonskim aktima. Na taj način su propisane sve potrebne mjere za zaštitu pojedinih sastavnica okoliša, a time i okoliša u cjelini, poboljšanje kakvoće pojedinih sastavnica okoliša u svrhu izbjegavanja ili smanjivanja štetnih posljedica po ljudsko zdravlje, kakvoću življenja i okoliš u cjelini, očuvanje kakvoće pojedinih sastavnica okoliša te sprječavanje i smanjivanje svih oblika onečišćivanja koja mogu štetno utjecati na ljudsko zdravlje.

Tako se npr. *Zakonom o zaštiti zraka*<sup>12</sup> uređuje prije svega zaštita i poboljšanje kvalitete zraka, praćenje i procjenjivanje kvalitete zraka, mjere za sprječavanje i smanjivanje onečišćavanja zraka koje se poduzimaju u svrhu zaštite i poboljšanja kvalitete zraka i ozonskog sloja, ublažavanja klimatskih promjena, osiguravanja kvalitete življenja sadašnjih i budućih naraštaja, itd., a sve to mora biti sukladno propisima u područjima zaštite zdravlja ljudi.

Jedan od provedbenih dokumenata Zakona o zaštiti zraka je i *Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku*<sup>13</sup> – kojom se propisuju *granične vrijednosti (GV)* za pojedine onečišćujuće tvari u zraku. Ovdje važno napomenuti da *granična vrijednost* predstavlja graničnu razinu onečišćenosti ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji, ili je najmanji mogući, rizik štetnih učinaka na ljudsko zdravlje<sup>14</sup>.

Ista *Uredba* propisuje i dugoročni ciljevi i ciljne vrijednosti za prizemni ozon u zraku, te ovisno o svojstvima onečišćujuće tvari, gornji i donji pragovi procjene, granice tolerancije (GT), ciljne vrijednosti, osnovne sastavnice navedenih vrijednosti, pokazatelj prosječne izloženosti za PM<sub>2,5</sub>, ciljano smanjenje izloženosti na nacionalnoj razini, koncentracija izloženosti, kritične razine, prag upozorenja, prag obavješćivanja i posebne mjere zaštite zdravlja ljudi koje se pri njihovoj pojavi poduzimaju te rokovi za postupno smanjivanje granica tolerancije i za postizanje ciljnih vrijednosti za prizemni ozon, tablica 1.

Istom *Uredbom* se propisuju i granične vrijednosti (GV) za zaštitu zdravlja ljudi, kvalitetu življenja, zaštitu vegetacije i ekosustava, raspodjela i broj mjernih mjesta na kojima se temelji pokazatelj prosječne izloženosti za PM<sub>2,5</sub>, i koji na odgovarajući način odražava opću izloženost stanovništva.

Na sličan način su uređena i pitanja gospodarenja vodama pa uz *Zakon o vodama*<sup>14</sup> koji uređuje pravni status voda, upravljanje kakvoćom i količinom voda, zaštitu od štetnog djelovanja voda i druga pitanja vezana za vode i vodno dobro, postoje i drugi zakoni i odgovarajući podzakonski akti. Tako npr. *Zakon o vodi za ljudsku potrošnju*<sup>15</sup> uređuje pitanja vezana uz zdravstvenu i druga relevantna pitanja u cilju zaštite ljudskog zdravlja od nepovoljnih utjecaja bilo koje onečišćujuće tvari u vodi za ljudsku potrošnju i osiguravanja njene zdravstvene ispravnosti.

*Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*<sup>16</sup>, kao podzakonski akt ili provedbeni dokument, propisuje granične vrijednosti emisija u tehnološkim otpadnim vodama, prije njihova ispuštanja u građevine javne odvodnje itd., dok *Uredba o standardu kakvoće voda*<sup>17</sup> propisuje standard kakvoće voda za površinske, uključujući i priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode. Kakvoća vode za ljudsku pot-

rošnju odnosno granične vrijednosti mikrobioloških i kemijskih parametara u toj vodi propisane su posebnim *Pravilnikom*<sup>18</sup>, tablica 2 i 3.

Tablica 1. Propisane graničnih vrijednosti (GV) koncentracija onečišćujućih tvari u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi<sup>13</sup>

<b>Onečišćujuća tvar</b>	<b>Vrijeme usrednjavanja</b>	<b>Granična vrijednost (GV)</b>
Sumporov (IV) oksid (SO <sub>2</sub> )	1 sat	350 µg/m <sup>3</sup>
	24 sata	125 µg/m <sup>3</sup>
Dušikov (IV) oksid (NO <sub>2</sub> )	1 sat	200 µg/m <sup>3</sup>
	kalendarska godina	40 µg/m <sup>3</sup>
Ugljikov (II) oksid (CO)	maksimalna dnevna 8-satna srednja vrijednost	10 mg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	24 sata	50 µg/m <sup>3</sup>
	kalendarska godina	40 µg/m <sup>3</sup>
Benzen	kalendarska godina	5 µg/m <sup>3</sup>
Olovo (Pb) u PM <sub>10</sub>	kalendarska godina	0,5 µg/m <sup>3</sup>
Ukupna plinovita živa (Hg)	kalendarska godina	1 µg/m <sup>3</sup>

Parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju i indikatorski parametri, navedeni u tablicama 2 i 3, prate se u cilju zaštite ljudskog zdravlja od nepovoljnih utjecaja bilo koje od navedenih onečišćujućih tvari u vodi za ljudsku potrošnju i na taj način se osiguravanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju na području cijele Republike Hrvatske.

Tablica 2. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju<sup>18</sup>

Pokazatelj	Jedinica	MDK
Escherichia coli	broj/100 ml	0
Enterokoki		0
Clostridium perfringens (uključujući spore, određuje se samo ako je voda za piće po porijeklu površinska voda)		0
Pseudomonas aeruginosa (određuje se samo u uzorcima vode uzetim na mjestu potrošnje)		0
Enterovirusi (određuje se jedan puta godišnje tijekom monitoringa, a po potrebi i naputku nadležne epidemiološke službe i češće)	broj/5000 ml	0

Tablica 3. Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju<sup>18</sup>

Pokazatelj	Jedinica	MDK
Akrilamid	μg/l	0,10
Antimon		5,0
Arsen		10
Benzen		1,0
Benzo(a)pyrene		0,010
Bor	mg/l	1,0
Bromati	μg/l	10
Kadmij		5,0
Krom		50
Bakar	mg/l	2,0
Cijanidi	μg/l	50
1,2-dikloroetan		3,0
Epiklorhidrin		0,10
Fluoridi	mg/l	1,5
Olovo	μg/l	10
Živa		1,0
Nikal		20
Nitrati	mg/l	50
Nitriti		0,50



Pesticidi	$\mu\text{g/l}$	0,10
Pesticidi ukupni		0,50
PAU		0,10
Selen		10
Suma tetrakloreten i trikloreten		10
Trihalometan (THM) – ukupni		100
Vinil klorid		0,50
Klorit*		400
Klorat* Otopljeni Ozon		400

### 3. ONEČIŠĆENJE ZRAKA

Prema zakonu o zaštiti zraka<sup>12</sup>, *onečišćenim zrakom* se smatra zrak čija je kvaliteta narušena prisutnošću onečišćujućih tvari i to u koncentracijama zbog kojih takav zrak može uzrokovati narušavanje zdravlja, smanjenje kvalitete življenja i/ili može štetno utjecati na bilo koju sastavnicu okoliša. Pod onečišćujućim tvarima u zraku podrazumijeva se svaka tvar koja je prisutna u okolnom zraku, a koja može imati štetan učinak na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cijelosti. Kada se govori o onečišćenju zraka kao sastavnice okoliša, potrebno je razlikovati prirodne od antropogenih izvora onečišćujućih tvari.

*Prirodnim izvorima* onečišćenja u zrak se smatraju: erupcije vulkana, seizmičke aktivnosti, geotermalne aktivnosti, požari na nepristupačnim područjima, snažni vjetrovi ili ponovno atmosfersko podizanje ili prenošenje prirodnih čestica iz sušnih područja i slično. Ovo se može ilustrirati pojavom pustinjske prašine u zraku koja može, nošena vjerom, biti transportirana na velike udaljenosti; potom aeroalergeni, čestice morske soli, dim, vulkanski plinovi i pepeo, dim i plinovi šumskih požara, mikroorganizmi (bakterije i virusi), magla, prirodna radioaktivnost, meteorska prašina i različita prirodna isparavanja.

Antropogene izvore onečišćujućih tvari, čiji se negativni učinci na žive organizme i okoliš u cijelosti, a posebice na zdravlje ljudi i razmatra u ovom kolegiju, moguće je razvrstati nepokretne i pokretne emisijske izvore.

U skupini nepokretnih izvora razlikuju se: *točkasti* - kod kojih se onečišćujuće tvari ispuštaju u zrak kroz za to oblikovane ispuste (postrojenja, tehnološki procesi, industrijski pogoni, uređaji, građevine i slično), slika 5, i *difuzni* - kod kojih se onečišćujuće tvari unose u zrak bez određena ispusta/dimnjaka (uređaji, određene aktivnosti, površine i druga mjesta), slika 6.

Skupinu pokretnih izvora čine prijevozna sredstva koja ispuštaju onečišćujuće tvari u zrak kao što su: motorna vozila, šumski i poljoprivredni strojevi, necestovni pokretni strojevi (kompresori, buldožeri, gusjeničari, hidraulični rovokopači, cestovni valjci, pokretne dizalice, oprema za održavanje putova i drugo), lokomotive, plovni objekti, zrakoplovi.

Ovdje je bitno napomenuti da svi izvori, bez obzira u koju se skupinu razvrstavaju, moraju biti izgrađeni i/ili proizvedeni, opremljeni, rabljeni i održavani tako da ne ispuštaju u zrak onečišćujuće tvari iznad graničnih vrijednosti emisije, odnosno da ne ispuštaju/unose u zrak onečišćujuće tvari u količinama koje mogu ugroziti zdravlje ljudi, kvalitetu življenja i okoliš.

Prema vrsti, onečišćujućih tvari koje izvor emitira, bez obzira radi li se o nepokretnim (točkastim i difuznim) ili pokretnim (prijevozna sredstva), moguće je među onečišćujućim tvarima u zraku koji su posljedica ljudskih aktivnosti, razlikovati: plinove, lebdeće čestice, metale i metaloide, postojane organske tvari, radioaktivne tvari, ostale onečišćujuće tvari i otpadnu toplinu kao poseban oblik onečišćenja atmosferskog zraka, ali i djelovanja na mikroklimu.



Slika 5. Industrijski *točkasti* izvor onečišćujućih tvari u zrak<sup>19</sup>

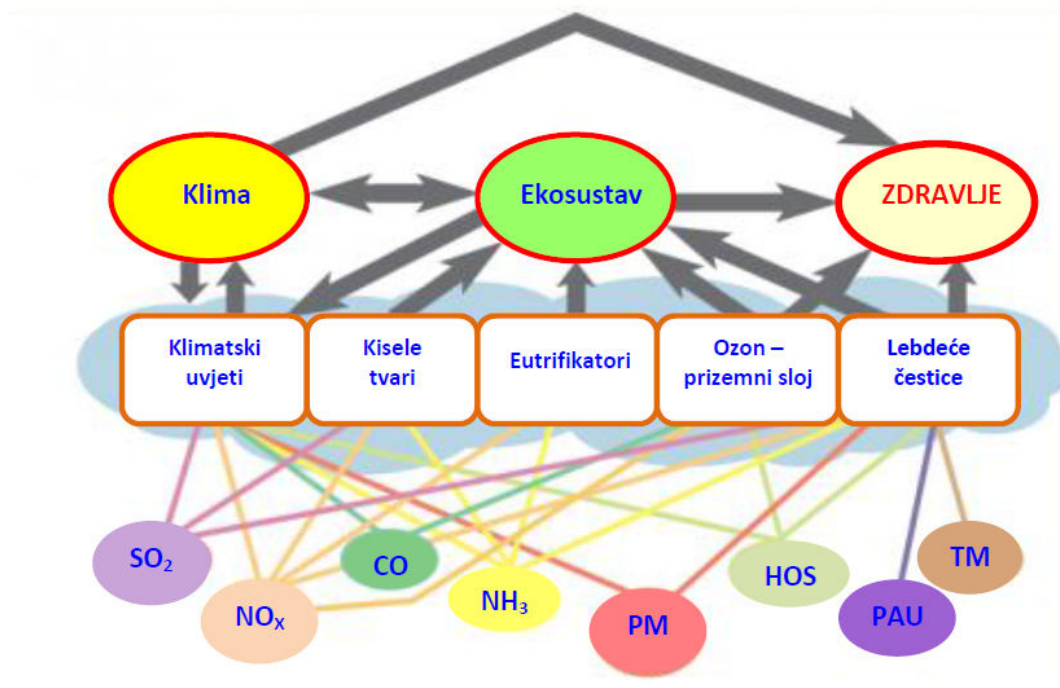


Slika 6. Industrijski *difuzni* izvor onečišćujućih tvari u zraku<sup>20</sup>

Među plinovima najčešći su oksidi ugljika (vrlo otrovni ugljikov (II) oksid i ugljikov (IV) oksid), oksidi sumpora (ponajprije sumporov (IV) oksid i sumporov (VI) oksid iz kojih nastaje sulfatna kiselina), ali i oksidi dušika ( $N_2O$ , NO i  $NO_2$ ). Zatim se kao onečišćujuće tvari u zraku mogu javljati halogeni elementi i njihovi spojevi poput fluora (F), klor (Cl), broma (Br), joda (J), klorovodika (HCl) i fluorovodika (HF) koji znaju biti vrlo opasni za ljude. Među plinovima valja istaknuti prizemni ozon ( $O_3$ ), hlapive organske spojeve (HOS), postojeće organske onečišćujuće tvari kao što su poliklorirani bifenili (PCB), poliklorirani-*p*-dibenzodioksini (PCDD) i dibenzofurani (PCDF), itd. Vrlo važne onečišćujuće tvari koje se javljaju u zraku su i metali, organometalni spojevi i radionuklidi.

Sve ove onečišćujuće tvari u zraku mogu se razvrstati i na sljedeći način: a) tvari koje se izravno emitiraju u atmosferu (npr. iz ispuha vozila ili dimnjaka), a nazivaju se primarne onečišćujuće tvari; i b) one tvari koje nastaju u atmosferi (npr. oksidacijom i transformacijom tvari iz primarne emisije), a koje se nazivaju sekundarnim onečišćujućim tvarima zraka. Primjeri sekundarnih onečišćujućih tvari u zraku su sekundarne lebdeće čestice kao što su različiti aerosoli ili pak ozon ( $O_3$ ) koji nastaju u atmosferi iz tzv. plinovitih prekursora.

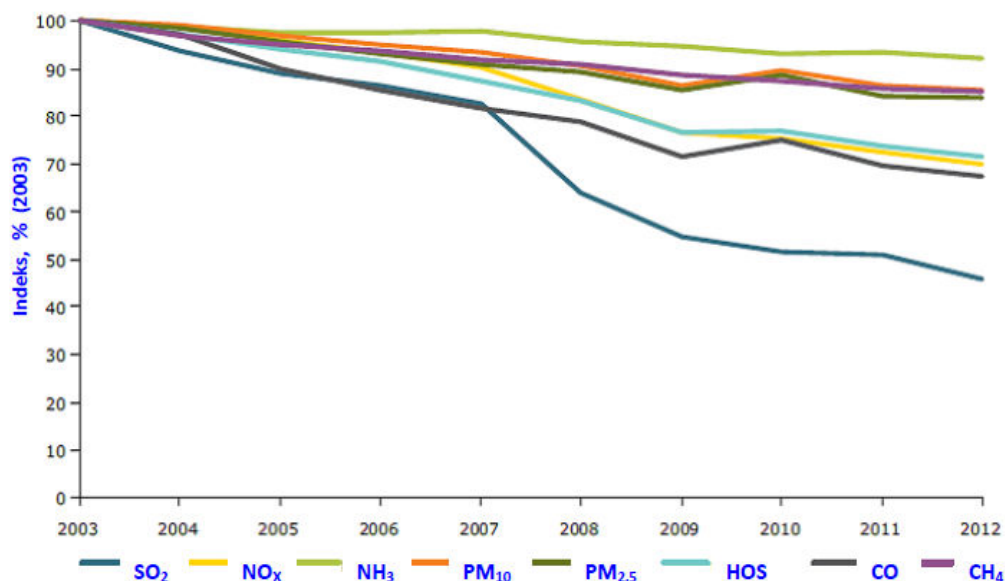
Općenito, onečišćujuće tvari u zraku mogu se razvrstati i prema mogućem štetnom učinku prema klimi, ekosustavu i zdravlju čovjeka, odnosno na krute čestice, prizemni ozon, eutrofikatore, kisele tvari i tvari koje utječu na promjenu klime<sup>21</sup>, kako je prikazano na slici 7.



Slika 7. Onečišćujuće tvari u zraku i njihov mogući učinak na klimu, ekosustav i zdravlje ljudi<sup>21</sup>

Iako prekomjerna koncentracija bilo koje od navedenih onečišćujućih tvari u zraku može imati negativne učinke na zdravlje ljudi, danas se za procjenjivanje kvalitete zraka<sup>12</sup> u naseljenim zonama, provodi mjerenje slijedećih onečišćujućih tvari: sumporov (IV) oksid ( $\text{SO}_2$ ), dušikov (IV) oksid ( $\text{NO}_2$ ) i dušikove okside ( $\text{NO}_x$ ), lebdeće čestice ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ), olovo (Pb), benzen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), ugljikov (II) oksid (CO), prizemni ozon ( $\text{O}_3$ ), arsen (As), kadmij (Cd), živu (Ni), nikal (Ni) i benzo(a)piren ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ).

Imajući na umu da značajan dio stanovništva na Zemlji, posebice u Europi, živi u urbanim sredinama, gdje se prekoračenja standarda kvalitete zraka i onečišćenja ozonom, dušikovim oksidima i lebdećim česticama neizbježna svakodnevna pojava, onečišćenje zraka predstavlja ozbiljnu prijetnju zdravlju. Iako se, posebice u zemljama članicama Europske unije, poduzima niz mjera za smanjenje emisija onečišćujućih tvari u zrak, o čemu govore brojni izvještaji<sup>22</sup> Europske agencije za okoliš, slika 8, još uvijek je prisutno prekoračenje prihvatljivih europskih standarda kvalitete zraka za pojedine onečišćujuće tvari.



Slika 8. Indeks promjene emisije nekih onečišćujućih tvari u zraku u zemljama EU 28 za razdoblje 2003-2012 u odnosu na emisiju 2003. godine<sup>22</sup>

Slika 8 prikazuje smanjenje emisije primarnih lebdećih čestica u zemljama Europske unije (EU-28) u razdoblju 2003. do 2012. godine i to za PM<sub>10</sub> oko 14%, a za PM<sub>2,5</sub> oko 16% u odnosu na emisije iz 2003. godine, dok je u istom razdoblju prosječno smanjenje ovih čestica u ukupno 33 europske zemlje iznosilo samo oko 6% za PM<sub>10</sub> i oko 16% za PM<sub>2,5</sub>.

Istovremeno, emisije sumporovih i dušikovih oksida smanjene su za 54% odnosno 30% u zemljama EU-28, dok je smanjenje emisije ovih onečišćujućih tvari u 33 europske zemlje iznosilo samo 36% odnosno 26% u odnosu na emisije iz 2003. godine. Smanjenje emisija NH<sub>3</sub> i drugih plinovitih prekursora bilo je svega oko 8% u zemljama EU-28 odnosno oko 5% u 33 zemlje članice Europskog gospodarskog prostora u razdoblju 2003. do 2012. godine<sup>22</sup>.

Danas postoji veliki broj dokaza o utjecaju onečišćenog zraka na zdravlje ljudi, a spoznaje o ovome, posebno su se povećale u posljednjih nekoliko desetljeća. U najnovijim pisanim izvješćima Svjetske zdravstvene organizacije o zdravstvenim učincima onečišćenog zraka na zdravlje ljudi, uz statističke pokazatelje navedeni su i rezultati niza provedenih znanstvenih istraživanja o učincima lebdećih čestica, ozona i dušikovih oksida na zdravlje ljudi.

Većina ovih studija su usmjerene na promjene u respiratornom i kardiovaskularnom sustavu izazvane štetnim učincima izloženosti onečišćenom zraku<sup>23-27</sup>, no istraživano je i niz učinaka i na drugim organima. S tim u svezi istraživani su učinci štetnog izlaganja one-

čišćenom zraku i u različitoj životnoj dobi, u rasponu od prenatalne dobi, djetinjstva pa do odrasle životne dobi. Ova istraživanja u različitim životnim dobima su se pokazala vrlo značajnim, s obzirom da su nedavna istraživanja vezana za onečišćenost zraka ukazala da utjecaj izloženosti u najranijoj dobi može značajno utjecati na pojave štetnih učinaka na zdravlje tijekom djetinjstva i odrasloj dobi<sup>28</sup>. Ovdje je važno napomenuti da su ova istraživanja pokazala da je, na sreću, veći broj stanovnika pogođen, manje ozbiljnim učincima na zdravlje, slika 9.



Slika 9. Piramida učinaka onečišćenosti zraka na zdravlje ljudi<sup>29</sup>

### 3.1 Lebdeće čestice i prizemni ozon

Lebdeće čestice i ozon u prizemnom sloju, danas se smatraju onečišćujućim tvarima koji najviše ugrožavaju ljudsko zdravlje. Izloženost tijekom najveće koncentracije i dugotrajna izloženost ovim onečišćivačima ovise o težini utjecaja, od narušavanja respiratornog sustava do preuranjene smrti.

#### 3.1.1 Lebdeće čestice i njihovi učinci na zdravlje ljudi

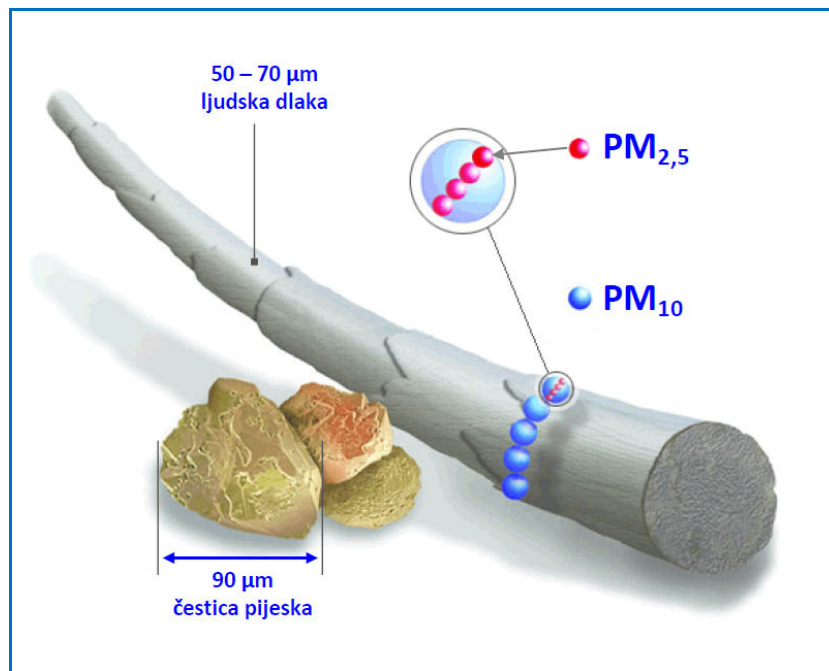
Lebdeće čestice u zraku mogu biti one čestice odnosno onečišćujuće tvari koje su izravno emitirane iz nekog izvora u atmosferu, tzv. *primarne*, ili čestice koje su iz prekursora formirane u atmosferi, pa ih se naziva *sekundarnim* lebdećim česticama odnosno onečišćujućim tvarima. Glavni plinoviti prekursori plinova za formiranje sekundarnih lebdećih čestica su  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  i hlapivi organski spojevi (HOS). Iz prekursora, najčešće fotokatali-



tičkim reakcijama u zraku, nastaju različiti spojevi poput amonijevih soli, nitrata ili fosfata, tj. dolazi do formiranja novih čestica u zraku ili pak dolazi do kondenzacije vode i drugih spojeva na postojećim (primarnim) česticama tvoreći tzv. sekundarne čestice u obliku anorganskih i organskih aerosola koji mogu biti kapljični i čvrsti.

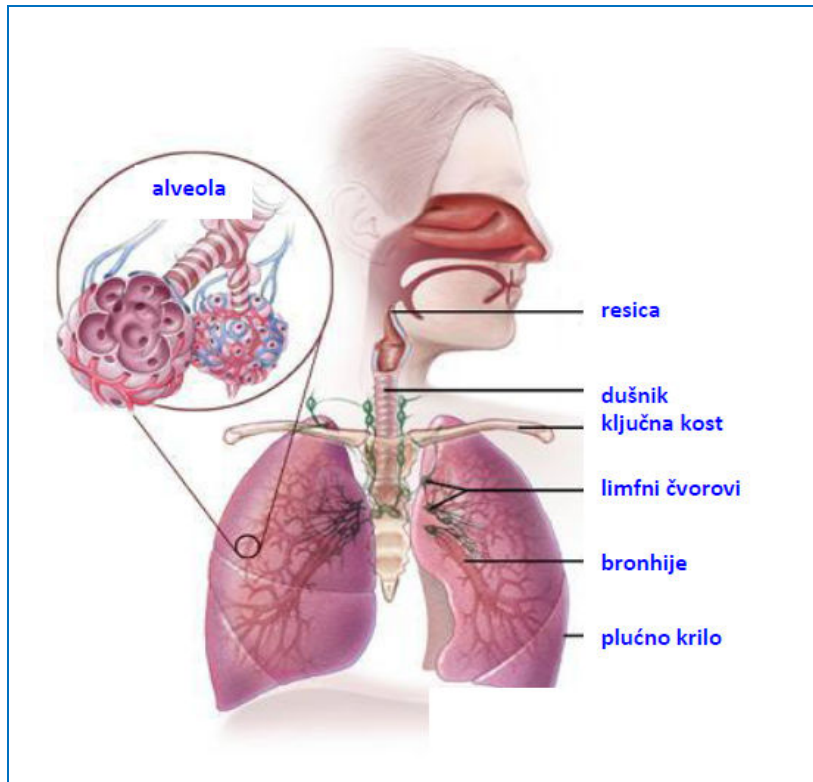
Stoga, se u lebdeće čestice, svrstavaju sve onečišćujuće tvari koje se u tekućem ili čvrstom stanju nalaze u atmosferi (osim vode), a koje tvore prašinu ili dim (iz procesa prženja, izgaranja, miniranja, mljevenja, bušenja, brušenja itd.).

To su obično smjese različitih onečišćujućih tvari i čestica vode. Veličina čestica je izravno povezana sa potencijalom čestica da naškodi zdravlju ljudi, a dijele se u dvije skupine koje se označavaju  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$ . Naime,  $PM_{10}$  je frakcija lebdećih čestica koja prolazi kroz ulaz sakupljača propisano normom HRN EN 12341 s 50%-tnom učinkovitošću odstranjivanja čestica aerodinamičkog promjera  $10\ \mu\text{m}$ , dok se  $PM_{2,5}$  odnose na čestice aerodinamičkog promjera  $2,5\ \mu\text{m}$ , slika 10.



Slika 10. Usporedba krupnoće čestica  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  sa česticom pijeska i ljudskom dlakom<sup>30</sup>

Dišni sustav čine dišni putovi koji dovode zrak do pluća gdje se zbiva izmjena plinova, počinju nosnom šupljinom, a nastavljaju se ždrijelom, grkljanom, dušnikom i plućima gdje završavaju malim vodovima u koje se otvaraju plućni mjehurići ili alveole, kako je prikazano na slici 11.



Slika 11. Shematski prikaz dišnog sustava u čovjeka<sup>31</sup>

S obzirom da se onečišćujuće tvari u zrak dolaze u obliku plina, čvrstog odnosno kapljičnog aerosola te u obliku prašine, to će ovisno o agregatnom stanju, koncentraciji, vremenu izloženosti i fizikalno-kemijskim svojstvima, njihov negativni učinak na zdravlje čovjeka, biti različitog intenziteta i trajanja (reverzibilan ili ireverzibilan). Naime, lebdeće čestice iz zraka, nakon ulaska u dišni sustav čovjeka, većinom se zaustavljaju pri prvoj promjeni smjera tj. u nosu. Naime, kod svake promjene smjera kretanja čestice iz zraka se, neke više neke manje, odlažu u sluznicama zbog inercije, a to odlaganje se naziva *impakcija*<sup>9</sup>. Veličina impakcije ovisi o masi i dimenzijama čestica prašine i/ili aerosola.

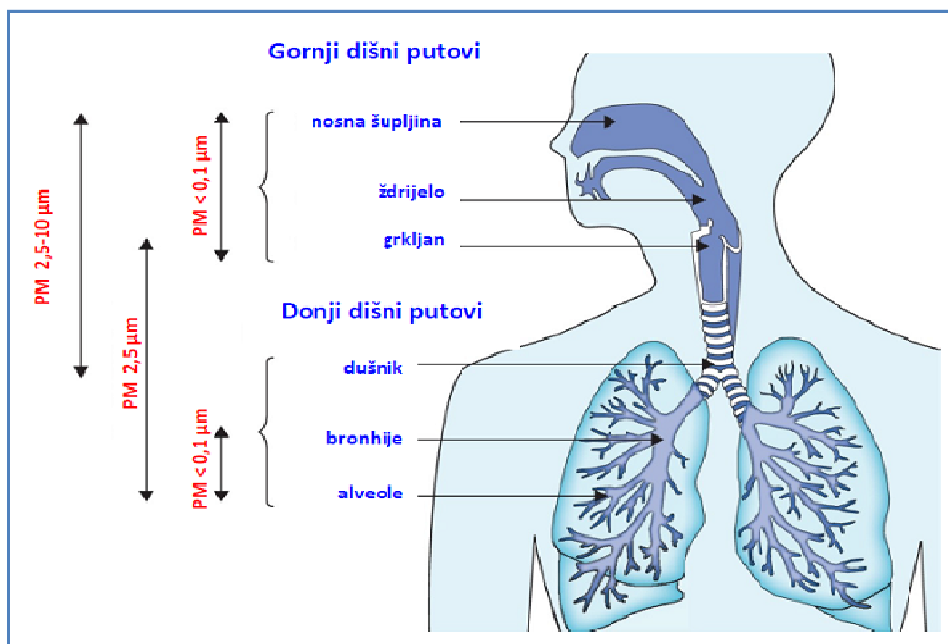
Naime, pri ulasku u dišni sustav, krupnije čestice prašine ili aerosola, zaustavljaju se na dlačicama i sluznicama gornjih dišnih putova, dok čestice od nekoliko mikrometara prolaze kroz gornji dio dišnih putova, dijelom se talože na stjenkama bronhija, dok su one



najsitnije sposobne da prođu u donje dišne putove, odnosno u pluća sve do alveola, slika 12. Dubina prodiranja plinovitih onečišćujućih tvari ovisi o njihovoj topljivosti. Naime, što su onečišćujuće tvari topivije, to lakše prolaze kroz sluznicu i brže se resorbiraju u dišnom sustavu.

Nedavno istraživanje koje je provela Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) pokazuje da onečišćenje sitnim česticama  $PM_{2,5}$  može biti veća opasnost za zdravlje nego što se to u prošlosti smatralo. Naime, prema *Izvešću o zdravstvenim aspektima onečišćenja zraka* ove organizacije, dugotrajna izloženost finim česticama može uzrokovati aterosklerozu, neželjene ishode trudnoće i bolesti dišnih putova kod djece. Istraživanje upućuje i na moguću vezu između neurološkog razvoja, kognitivne funkcije i dijabetesa te naglašava uzročno-posljedičnu vezu između  $PM_{2,5}$  i kardiovaskularnih, odnosno smrti uzrokovanih bolestima dišnih putova<sup>32</sup>.

Prema podacima<sup>33</sup> WHO iz 2014. godine, oko 40% europskog gradskog stanovništva je vjerojatno bilo izloženo vanjskim koncentracijama krupnih lebdećih čestica ( $PM_{10}$ ) koje premašuju ograničenja Europske unije postavljena radi zaštite ljudskog zdravlja, a također se procjenjuje da je do 50% gradskog stanovništva bilo izloženo razinama ozona koje premašuju ciljne vrijednosti Europske unije.

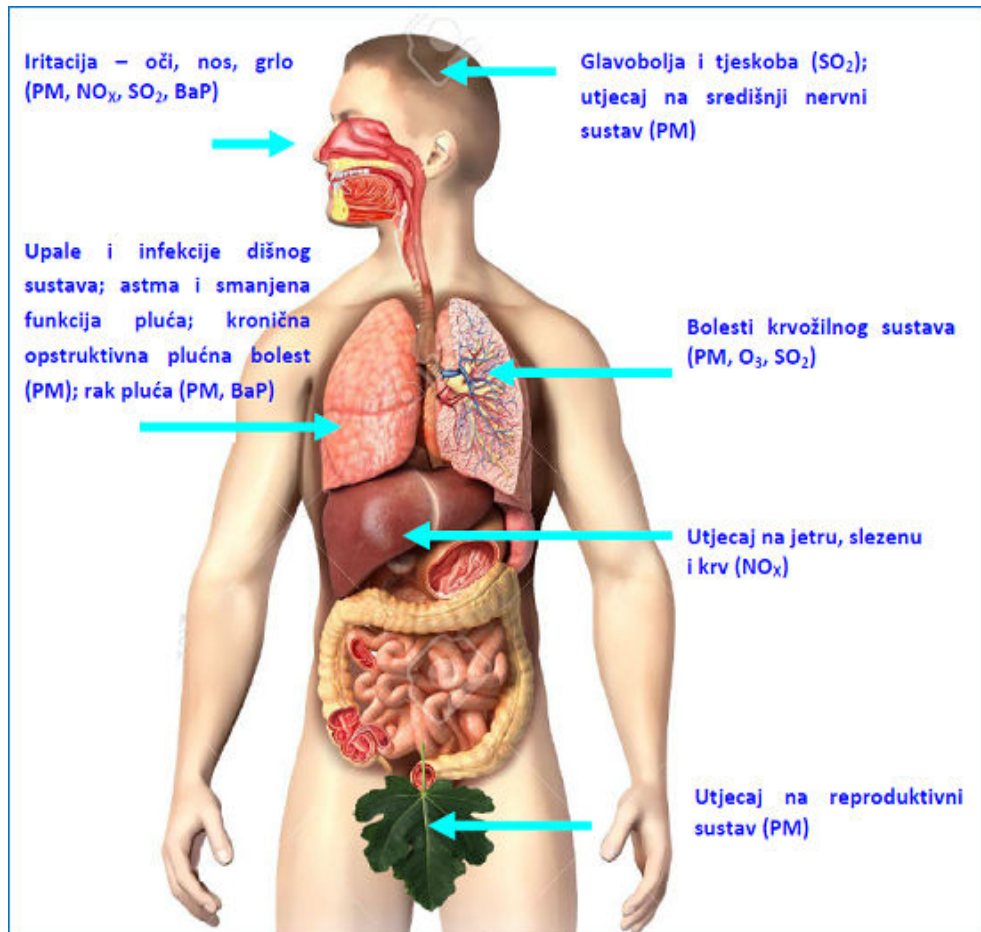


Slika 12. Raspoređivanje čestica prema krupnoći u dišnih putovima<sup>34</sup>

Vrlo značajan je i podatak o procjeni za sitne lebdeće čestice ( $PM_{2,5}$ ) u zraku koje skraćuju očekivano prosječno trajanje životne dobi u Europskoj uniji za čak više od osam mjeseci<sup>32</sup>.

Podaci iz istog izvora ukazuju na činjenicu da gotovo sedam milijuna ljudi svake godine umre od posljedica zagađenog zraka, što znači da je zagađenje zraka krivo za svaku osmu smrt, pri čemu se onečišćen zrak smatra odgovornim za bolesti dišnih putova, a povezuje se i s bolestima srca i rakom, slika 13.

Prema istom izvoru, zagađenje zraka veći je rizik za zdravlje nego se dosad mislilo, a osobito je značajno za pojavu bolesti srca i moždani udar. Zemlje s najvećim postotkom onečišćenja su u jugoistočnoj Aziji i zapadnoj tihooceanskoj regiji gdje se gotovo 3,3 milijuna smrti povezuje sa zagađenjem prostora, a 2,6 milijuna s onečišćenjem zraka na otvorenom. Skoro 4,3 milijuna smrtnih slučajeva diljem svijeta u 2012. godini se povezuje s onečišćenjem zraka zbog uporabe u domaćinstvima štednjaka na ugljen, drva i biomasu.



Slika 13. Utjecaj onečišćujućih tvari u zraku na zdravlje čovjeka<sup>35,36</sup>

Procjenjuje se da je onečišćenje zraka na otvorenom uzrokom oko 40 % ishemijskih bolesti srca, 40 % moždanih udara, 11 % kronične opstruktivne bolesti pluća, 6 % slučajeva raka pluća i 3 % slučajeva akutne respiratorne infekcije kod djece, dok se za onečišćenje zraka u zatvorenim prostorima danas smatra krivim za 34 % moždanih udara, 26 % ishemijske bolesti srca, 22 % kronične opstruktivne bolesti pluća, 12 % slučajeva akutne respiratorne infekcije djece i oko 6 % slučajeva raka pluća<sup>33</sup>.

Iako je već duže vrijeme poznato da zagađenje zraka, čak i kada se radi o niskim razinama, može povećati rizik od moždanog udara, rezultati najnovijih istraživanja da život u gradovima ima negativne učinke na mozak čovjeka, koji su do sada prolazili nezamijećeni.

Naime, dokazano je da i relativno malo prekoračenje koncentracije onečišćujućih tvari u zraku od samo 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a koje je često zraku velegradova, može imati za posljedicu smanjenje volumena mozga kod ljudi i izazvati tzv. *tih*i moždani udar tj. odumiranje manjih dijelova mozga zbog začepjenja kapilara<sup>37,38</sup>.

Onečišćenje zraka utječe na sve ljude, no važno je napomenuti da ne utječe na sve u jednakoj mjeri i na jednak način. Naime, zbog veće gustoće stanovnika, onečišćenom zraku izloženiji su ljudi koji žive u urbanim sredinama, a neke su skupine ranjivije od drugih, poput ljudi koji pate od bolesti krvožilnog i dišnog sustava, ljudi s osjetljivim dišnim putovima, alergijama dišnog trakta, starijih ljudi i djece.

Posebni učinci plinovitih onečišćujućih tvari iz zraka na zdravlje ljudi, uglavnom se manifestira u obliku iritacije sluznice dišnih putova (npr. amonijak, klor, formaldehid, metilcijanat i sl.). Pri nižim koncentracijama ili kraćem trajanju izloženosti, negativni učinci na zdravlje se očituje u obliku nadražajnog djelovanja na sluznicu očiju i dišnih putova pa se javlja upala očne spojnice i izrazito suženje očiju, nadražaj nosa i grla, kašalj, stezanje u prsištu, otežano disanje itd. Vrlo visoke koncentracije plinovitih onečišćujućih tvari mogu uzrokovati naglo stezanje grkljana pa i zastoj disanja.

Znajući za ove štetne učinke lebdećih čestica, kao i drugih onečišćujućih tvari u zraku, a u cilju zaštite ljudskog zdravlja, nacionalnom legislativom koja se temelji na pravnoj stečevini EU i preporukama Svjetske zdravstvene organizacije, u RH su propisane granične vrijednosti onečišćujućih tvari u zraku. Kako su iste već ranije navedene u tablici 1, propisane graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u zraku, pa tako i lebdećih čestica  $\text{PM}_{10}$ , istom *Uredbom*<sup>13</sup> su propisane i granične vrijednosti (GV) za čestice  $\text{PM}_{2,5}$  s obzirom na zdravlje ljudi, tablica 4.

Prema rezultatima<sup>32</sup> Europske agencije za okoliš (EAO), u Europi je došlo do značajnog napretka u pogledu smanjenja emisije lebdećih čestica, posebice između 2001. i 2010. U tome razdoblju su se izravne emisije lebdećih čestica  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$  u Europskoj uniji smanjile (EU-15) za 14%, a u zemljama ukupno 32 europske zemlje (EAO-32) za 15%. U EU je došlo i do smanjenja emisija lebdećih čestica prekursora: emisija sumporovih oksida smanjila se za 54% (44% u EAO-32); dušikovih oksida za 26% (23% u EAO-32); amonijaka za 10% (8% u EAO-32).

No, ta smanjenja emisije nisu u svim slučajevima rezultirala i manjom izloženošću stanovništva lebdećim česticama. Naime, udio stanovništva u europskim gradovima koji je izložen razinama lebdećih čestica PM<sub>10</sub> iznad vrijednosti utvrđenih zakonodavstvom EU ostala je visoka (18-41% u EU-15 i 23-41% za EAO-32) te je u posljednjem desetljeću tek neznatno smanjena.

Iako se u posljednjem desetljeću poduzimaju brojne mjere za smanjenje emisije onečišćujućih tvari u zrak, još uvijek su razine njihovih koncentracija, posebice u urbanim sredinama previsoke. Još jedan razlog stalnih visokih koncentracija lebdećih čestica su i naši oblici potrošnje. Naime, proteklih je godina izgaranje ugljena i drva u malim pećima za grijanje u domaćinstvima bilo glavnim izvorom onečišćenja lebdećim česticama PM<sub>10</sub> u nekim urbaniziranim područjima, posebno u Poljskoj, Slovačkoj i Bugarskoj. Ovo je djelomično izazvano visokom cijenom energenata, zbog čega su se domaćinstva s niskim primanjima opredijelila za jeftinije alternative<sup>32</sup>.

S obzirom na ovo, ohrabruje podatak da je trenutačno zakonodavstvo EU kao i međunarodno zakonodavstvo općenito, usmjereno ka rješavanju ovih problema lebdećih čestica u zraku, bez obzira radi li se o njihovim izravnim emisijama ili emisijama prekursor-skih plinova.

Tablica 4. Granična vrijednost (GV) za PM<sub>2,5</sub> s obzirom na zdravlje ljudi<sup>13</sup>

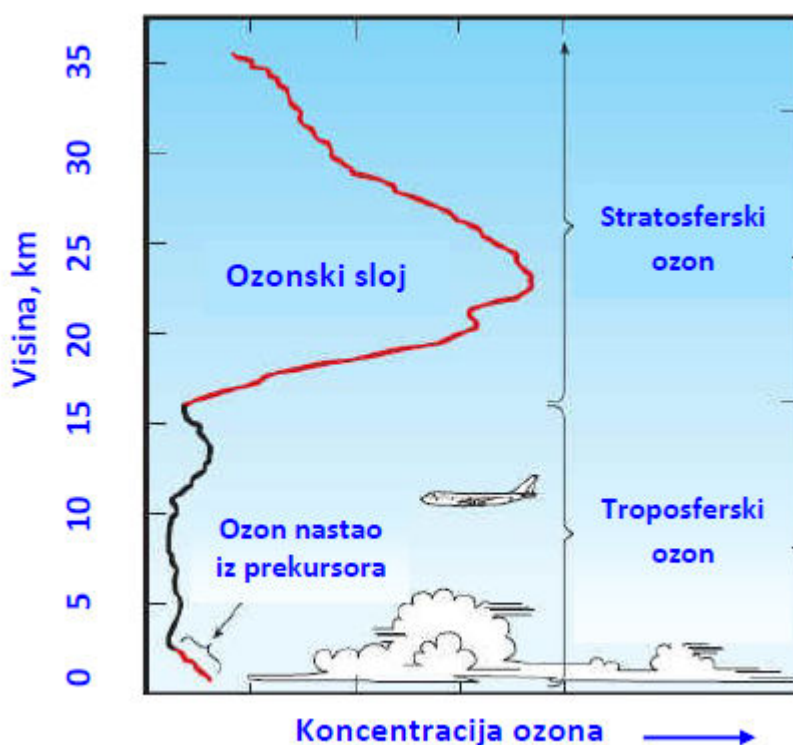
Vrijeme usrednjavanja	Granična vrijednost, GV	Granica tolerancije, GT	Rok za postizanje GV
<b>1. STUPANJ</b>			
Kalendarska godina	25 µg/m <sup>3</sup>	20% na dan 11. 6. 2008. godine, s tim da se sljedećeg 1. siječnja i svakih 12 mjeseci nakon toga, smanjuje za jednake godišnje postotke, kako bi se do 1. 1. 2015. godine dostiglo 0%.	1.1.2015.
<b>2. STUPANJ</b>			
Kalendarska godina	20 µg/m <sup>3</sup>		1.1.2020.

### 3.1.2 Prizemni ozon i njegovi učinci na zdravlje ljudi

Ozon je prirodni sastojak atmosfere i njegov maseni udio iznosi  $6 \cdot 10^{-6}$  %, a nalazi se u stratosferi i troposferi. U stratosferskom sloju se ozon nalazi u koncentracijama od nekoliko ppm u volumenu zraka, dok ga se u troposferi nalazi u tisuću puta manjim koncentracijama, s time da su one najviše pri tlu<sup>39</sup>, slika 14.

Sloj ozona u stratosferi nastaje fotolizom molekula kisika pod utjecajem ultra ljubičastog zračenja (UV spektra) i štiti zemljinu površinu od štetnih zračenja koja se emitiraju sa Sunca, a naziva se *ozonosfera* ili *ozonski omotač*. U stratosferi, ozon je *dobar* plin jer štiti zemlju od štetnog ultraljubičastog zračenja, dok je u troposferi, a osobito pri tlu, vrlo štetna onečišćujuća tvar sa širokim spektrom negativnih učinaka u okolišu.

*Troposferski* ili *prizemni ozon* je prisutan u cijeloj troposferi i u njenom donjem sloju (uz tlo), a pripada skupini sekundarnih onečišćujućih tvari jer je i nastao kemijskim reakcijama  $\text{NO}_x$  i HOS spojeva uz djelovanje sunčevog zračenja.

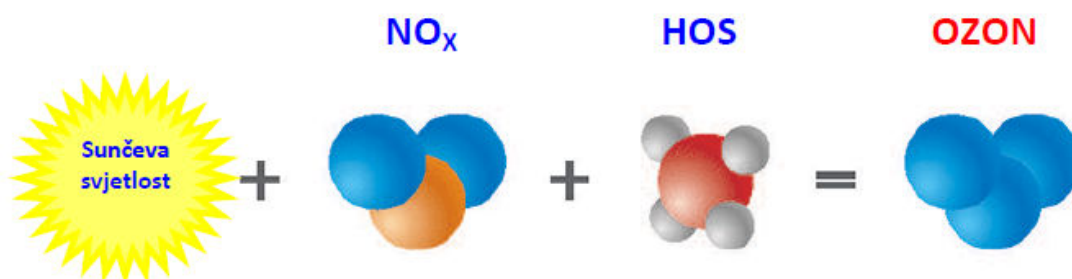


Slika 14. Ozon u atmosferi<sup>39</sup>

Koncentracije<sup>40</sup> prizemnog ozona kreću se u rasponu od svega nekoliko  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  do nekoliko stotina (200-400)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Prizemni ozon je, kako je ranije navedeno, *sekundarna* onečišćujuća tvar što znači da se ne emitira izravno iz nekog izvora već do njegovog nastajanja dolazi fotokemijskim reakcijama *primarnih* onečišćujućih tvari tzv. prekursora u atmosferi. Prekursori prizemnog troposferskog ozona su tvari koje uvjetuju stvaranje prizemnog ozona i to NO<sub>x</sub>, HOS (ne računajući metan), CO i CH<sub>4</sub>.

Većina troposferskog prizemnog ozona nastaje kada ovi spojevi reagiraju u atmosferi u prisutnosti sunčeve svjetlosti za vrućih dana, te su stoga izvori ovih tvari i glavni uzročnici stvaranja prizemnog ozona, slika 15.

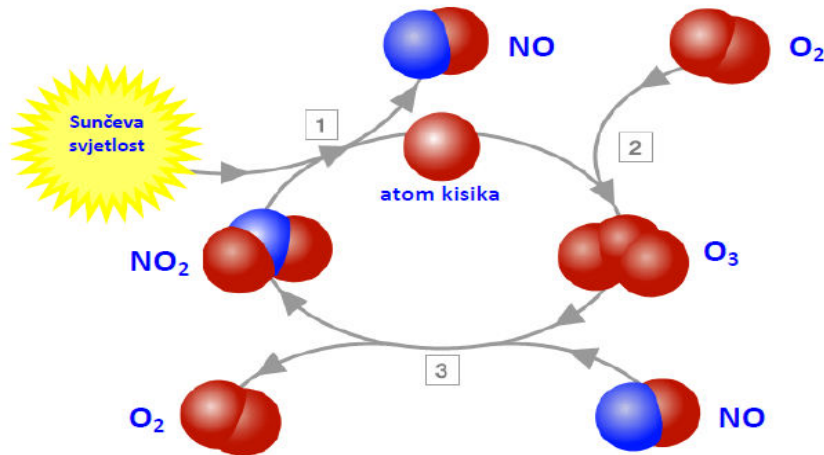


Slika 15. Pojednostavljen prikaz reakcije nastajanja ozona u atmosferi iz prekursora<sup>41</sup>

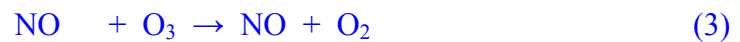
Prekursori ozona obično nastaju kao posljedica emisije plinova u procesima sagorijevanja fosilnih goriva (u termoenergetskim postrojenjima, strojevima s unutarnjim sagorijevanjem), biomase itd, no mogu biti i prirodnog podrijetla.

Naime, vegetacija je velik prirodni izvor lako hlapljivih ugljikovodika, jer je poznato da se ugljikovodici prisutni u biljnim uljnim stanicama (npr. izopren, terpeni, alkoholi, karbonili i esteri) luče kao para kroz mezofil i epidermu<sup>42</sup>. Prekursori, kao i sam ozon, bivaju podvrgnuti prirodnom ciklusu nastanka i razgradnje, koji u ovisnosti o klimatskim varijablama i intenzitetu sunčevog zračenja mogu biti jače ili slabije izraženi.

Unutar ovog ciklusa, pod utjecajem UV zračenja dolazi do razgradnje dušikovog (IV) oksida i oslobađanja kisika koji se veže s molekulom kisika iz zraka, tvoreći ozon. Nastali ozon se pak pod utjecajem dušikovog (II) oksida razgrađuje na molekulu kisika, a s atomom kisika, dušikov (II) oksid tvori dušikov (IV) oksid. Ovaj ciklus se ponavlja, slika 16.

Slika 16. Ciklus nastajanja i razgradnje ozona u zraku<sup>43</sup>

Ovaj relativno složen fotokemijski proces, može se opisati slijedećim jednažbama<sup>44,45</sup>:



*Napomena:* Simbol M predstavlja bilo koju česticu koja ima masu, a prije svega se to odnosi na molekule dušika ili kisika, lebdeće čestice ili površinu nekog većeg tijela koje može apsorbirati razvijenu energiju, jer u suprotnom nije moguće nastajanje ozona.

Zbog složenosti fotokemijskih procesa u kojima ozon nastaje, ne postoji linearni odnos između emisije prekursora prizemnog ozona i koncentracije nastalog prizemnog ozona, međutim da bi se postiglo trajno smanjenje koncentracije prizemnog ozona, potrebno je poduzimati mjere kojima bi se učinkovito smanjile emisije njegovih prekursora. S tim u svezi u tablici 5 je prikazan doprinos pojedinih izvora ukupnim emisijama nekih prekursora<sup>46</sup> ozona u Republici Hrvatskoj tijekom razdoblja 2008. do 2011.



Tablica 5. Učešće pojedine grupe izvora emisije NO<sub>x</sub>, CO i HOS ukupnim emisijama tijekom razdoblja 2008. do 2011. u RH<sup>46</sup>

Grupa izvora	Udio, %		
	NO <sub>x</sub>	CO	HOS
Energetika	29,1	12,4	2,4
Industrija	8,4	10,5	71,0
Prijevoz (pokretni izvori)	42,9	23,8	15,0
Mala ložišta	18,7	53,4	11,5
Ostalo	1,0	0,0	0,1

Kao što se vidi iz podataka prikazanih u tablici 5, tijekom razdoblja 2008. do 2011. u RH je cestovni promet bio dominantni izvor emisije NO<sub>x</sub>, dok su industrijski izvori dominantni u emisijama hlapljivih organskih spojeva, dok su mala ložišta i cestovni promet bili glavni izvori emisije ugljikovog (II) oksida. U tablici nisu prikazano podaci za metan s obzirom da je manje reaktivan, pa s tim u svezi i manje značajan za formiranje prizemnog ozona.

Prema dosadašnjim istraživanjima, prekomjerno onečišćenje prizemnim ozonom javlja se na području cijele Republike Hrvatske, a što je posljedica klimatskih, odnosno meteoroloških uvjeta, zadržavanja polja visokog tlaka zraka ljeti, koje s jedne strane rezultira stagnacijom zraka, odnosno slabim vjetrom, čime se onemogućava disperzija fotooksidanata, dok se s druge strane zbog vedra vremena i maksimalne insolacije intenziviraju fotokemijski procesi. Nadalje, prekomjernom onečišćenju prizemnim ozonom doprinosi i vegetacija koja je prirodni izvori emisije prekursora prizemnog ozona, a na našem području imaju emisiju čak i veću od antropogenih izvora, posebice uz obalno područje<sup>47</sup>.

Rezultati istraživanja Europske agencije za okoliš<sup>22</sup> i procjene zdravstvenih učinaka prizemnog ozona tijekom 2011. godine, pokazali su da je učinak ozona u 40 europskih zemalja uzrokovao 17 400 prerane smrti u odnosu na ukupni broj umrlih, te oko 16 200 prerane smrti u odnosu na ukupni broj umrlih u zemljama članicama EU-28.

Kako je već ranije spomenuto u Republici Hrvatskoj *Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku*<sup>13</sup>, između ostalih onečišćujućih tvari, propisane su ciljne vrijednosti i dugoročni ciljevi za prizemni ozon te mjerenje njegovih prekursora u zraku, tablica 6, a sve u svrhu zaštite zdravlja ljudi, osiguranje kvalitete življenja, zaštitu vegetacije i ekosustava.



Tablica 6. Ciljne vrijednosti za prizemni ozon u zraku<sup>13</sup>

Cilj	Vrijeme usrednjavanja	Ciljna vrijednost
Zaštita zdravlja ljudi	Najviša dnevna osmosatna srednja vrijednost.	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ne smije biti prekoračena više od 25 dana u kalendarskoj godini usrednjeno na tri godine.
Zaštita vegetacije	od svibnja do srpnja	AOT40 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ kao prosjek pet godina.

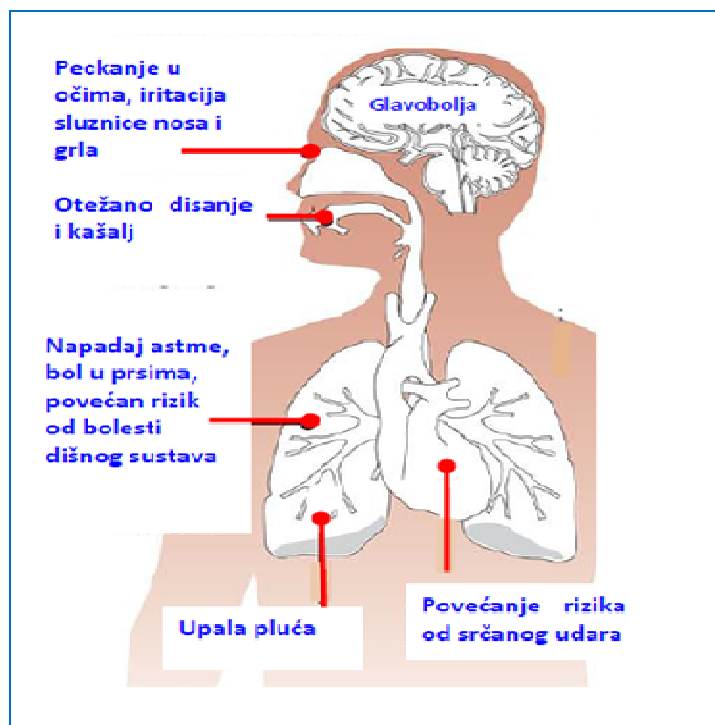
*Napomena:* AOT40 je parametar izražen u  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , koji označava zbroj razlike između jednosatnih koncentracija prizemnog ozona viših od 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (= 40 dijelova na milijardu) i 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tijekom određenog razdoblja, uzimajući u obzir samo jednosatne vrijednosti izmjerene svaki dan između 8:00 i 20:00 po srednjoeuropskom vremenu.

U zemljama članicama EU (EU-28) u razdoblju od 2003. do 2012. godine za nastanak prizemnog ozona među antropogenim izvorima emisija njegovih prekursora prednjačio je sektor energetike i prijevoza koji su bili i glavni izvor emisije NOx, a slijedio ga je sektor industrije<sup>22</sup>.

Čak i relativno niske razine ozona mogu uzrokovati negativne zdravstvene učinke. Ovo se posebno odnosi na djecu, osobe s bolestima pluća, starije osobe i ljudi koji obavljaju različite poslove na otvorenom, mogu biti posebno osjetljivi na ozon. Naime, djeca su najrizičnija populacijska skupina, jer su njihova pluća još uvijek u razvoju, a izloženost ozonu može ozbiljno narušiti taj razvoj. Djeca, također, češće od odraslih obolijevaju od astme, što povećava brojnost ove rizične populacijske skupine prema učincima ozona.

Izloženost ozonu može izazvati niz zdravstvenih problema, uključujući bol u prsima, kašalj, iritaciju grla i gušenja. Nadalje, može uzrokovati pogoršanje stanja kod kroničnih bolesnika s bronhitisom, emfizemom i astmom, smanjiti funkciju pluća, povećati osjetljivost na infekcijske upale ili čak i ostaviti trajne ožiljke na plućnom tkivu.

Udisanjem, ozon dolazi u kontakt sa svim dijelovima dišnog sustava i dobro se resorbira, pri čemu vrlo štetno djelovanjem na sluznicu uzrokuje oštećenje epitela, što dovodi do upalnih procesa i povećanja osjetljivost na alergene, slika 17. Isto tako, ozon utječe na pogoršanje kardiovaskularnih bolesti i arterioskleroze.

Slika 17. Utjecaj prizemnog ozona na zdravlje čovjeka<sup>48</sup>

## 3.2 Dušikovi i sumporovi oksidi

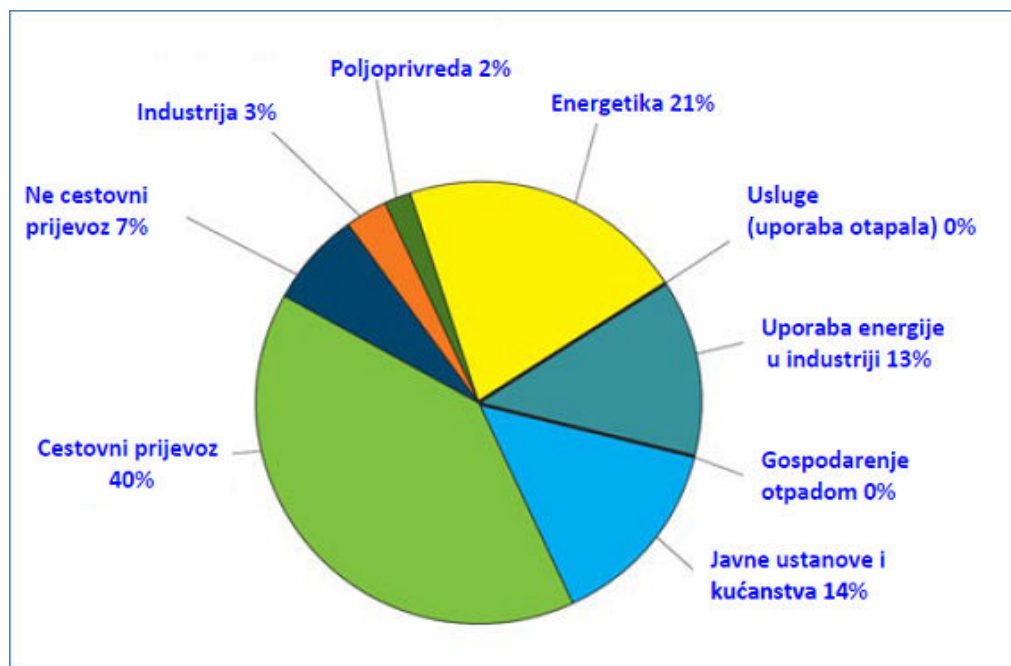
### 3.2.1 Dušikovi oksidi i njihovi učinci na zdravlje ljudi

Pod pojmom *dušikovi oksidi*, podrazumijeva se niz spojeva dušika i kisika opće formule  $\text{NO}_x$  ( $x = 0,5$  do  $2$ ) koji nastaju oksidacijom atmosferskoga dušika pri visokim temperaturama izgaranja (industrijski procesi, automobilski motori) ili pod utjecajem elektromagnetskog izboja (munje, kozmičke zrake). Osim dušikovog (I) oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), svi dušikovi oksidi ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}_5$ ), prisutni u atmosferi, u manjoj su ili većoj mjeri otrovni i nadražuju ljudske dišne organe. Sa toksikološkog stajališta i njihovog utjecaja na zdravlje, najveći značaj ima dušikov (IV) oksidi, dok se svi drugi koji nakon nastanka u nekim procesima i dolaskom u zrak, odmah oksidiraju i prelaze u  $\text{NO}_2$ .

Dušikovi oksidi su vrlo važna skupina onečišćujućih tvari u atmosferi, a uzrokuju stvaranje *kiselih kiša* i *fotokemijskoga smoga* te sudjeluju u stvaranju i razgradnji ozona. Općenito, količine dušikovih oksida nastalih u prirodi prilikom vulkanskih erupcija, aktiv-

nostima bakterija u tlu, te grmljavine tijekom nevremena, veće su od količina dušikovih oksida emitiranih iz antropogenih izvora.

Antropogeni izvori emisija dušikovih oksida su najčešće ložišta na fosilna goriva u domaćinstvima i različitim ustanovama, pogoni za proizvodnju energije, mobilni izvori (osobni automobili, kamioni, autobusi...) i drugo, slika 18.



Slika 18. Udio pojedinih antropogenih izvora  $\text{NO}_x$  u ukupnoj emisiji u EU tijekom 2011. godine<sup>49</sup>

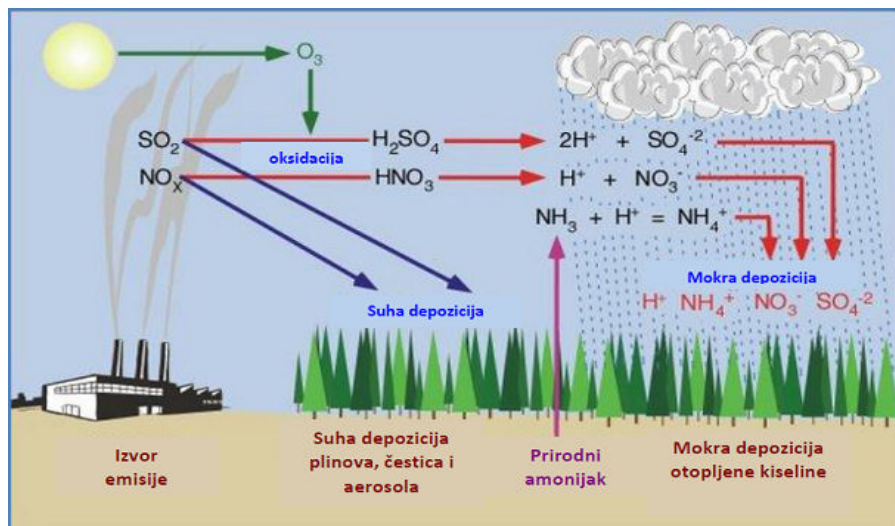
Kako je i razvidno iz slike 18, dominantan izvor emisija je cestovni promet koji i u Republici Hrvatskoj predstavlja i najveće opterećenje u zraku, posebice u zraku iznad glavnih prometnica, slika 19, u gradovima sjeverozapadne i istočne Hrvatske, Istre i središnje Dalmacije<sup>46</sup>.

Primarna onečišćujuća tvar, izravno emitirana je dušikov (II) oksid (NO) koji se pojavljuje zajedno s malim udjelom dušikovog (IV) oksida ( $\text{NO}_2$ ), nakon čega se NO vrlo brzo oksidira ozonom u atmosferi, tvoreći  $\text{NO}_2$ . U zraku ruralnih područja, daleko od antropogenih izvora NO, većina dušikovih oksida u atmosferi je u obliku  $\text{NO}_2$ . Poznato je da se NO i  $\text{NO}_2$  označavaju i kao  $\text{NO}_x$  i konverzija jednog u drugi se odvija relativno brzo. Naime, tijekom dana se  $\text{NO}_2$ , djelovanjem UV zračenja raspada na NO i jedan atom kisika, koji stupa u reakciju s molekularnim kisikom iz zraka tvoreći ozon ( $\text{O}_3$ ).



Slika 19. Posebno značajan antropogeni izvor  $\text{NO}_x$  je cestovni promet<sup>50</sup>

Otuda, tijekom dana,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  i ozon postoje u tzv. kvazi-ravnoteži koja ovisi o količini sunčeve svjetlosti. Na kraju,  $\text{NO}_2$  se oksidira u nitratna kiselina ( $\text{HNO}_3$ ), čije se kapljice talože na tlo, vrlo često tvoreći nitrata<sup>51</sup>. Na ovaj način dušikov (IV) oksid ( $\text{NO}_2$ ) izravno utječe na zakiseljavanje i eutrofikaciju atmosfere, slika 20, što predstavlja vrlo značajan problem u okolišu, posebice kada se promatraju štetni učinci istaloženih kiselih liša i eutrofikaciju tla i vode.



Slika 20. Proces pretvorbe  $\text{NO}_x$  u  $\text{HNO}_3$  u atmosferi<sup>53</sup>

Naknadni utjecaji ovog taloženje mogu biti vrlo značajni, uključujući i štetne učinke na vodene ekosustave u rijekama i jezerima, štete na šumama i drugoj vegetaciji, štete na kulturnim spomenicima i drugo. Posebice je važna moguća pojava eutrofikacije koja može dovesti do ozbiljnih smanjenja kvalitete vode s naknadnim utjecajima uključujući smanjenje biološke raznolikosti, promjene u sastavu vrsta i dominacije, te toksičnih učinaka<sup>52</sup>.

Prema podacima<sup>52</sup> Europske agencije za okoliš najveće smanjenje emisije NO<sub>x</sub> u razdoblju od 1990. do danas, postignuto je u sektoru cestovnog prometa, gdje je, uzimajući u obzir 33 europske države, emisija NO<sub>x</sub> pala za 48% u odnosu na emisiju 1990. Treba spomenuti da je ovo smanjenje emisije postignuto unatoč općem povećanju aktivnosti u istom razdoblju u sektoru prometa, no istovremena primjena katalizatora u automobilima s benzinskim motorima, osigurala je ovako učinkovito smanjenje emisije NO<sub>x</sub>.

Uz sve ove napore i provedbu mjera kojima se sprječava opterećenje atmosfere plinovitima onečišćujućim tvarima, pa tako i NO<sub>x</sub> spojevima, njihova emisija iz antropogenih izvora je i dalje prisutna, a u nekim zemljama je čak i u porastu.

Prema zadnjim dostupnim podacima<sup>22</sup> Europske agencije za okoliš, promet je i dalje sektor koji najviše emitira NO<sub>x</sub> i udio ovih oksida u ukupnoj emisiji u zrak iznosi oko 46% od ukupne emisije u EU-28 tijekom 2012. godine. Ostale djelatnosti među najvećim izvorima dušikovih oksida su energetika i industrija sa svojim udjelima od 22% i 15% od ukupne emisije NO<sub>x</sub> za istu godinu.

Do ukupnih procjene izloženosti urbanog europskog stanovništva utjecaju NO<sub>2</sub>, dolazi se pomoću podataka praćenja koncentracija ove onečišćujuće tvari po propisanoj metodologiji Svjetske zdravstvene organizacije<sup>22</sup> i usoredbe izmjerenih vrijednosti s граниčnom vrijednosti za NO<sub>2</sub> u zraku koja iznosi 40 µg/m<sup>3</sup>.

Uz već spomenute štetne učinke na pojedine sastavnice okoliša, posebice na floru i faunu vode i tla, dušikovi oksidi mogu uzrokovati i štetne učinke na ljudsko zdravlje. S time u svezi, vrlo je važno nadzirati kakvoću zraka s obzirom na prisutnost svih onečišćujućih tvari, pa tako i dušikovih oksida, te na temelju procjena izloženosti populacije, poduzimati mjere u cilju smanjenja onečišćenosti zraka i podizanja njegove kvalitete.

Sa stajališta mogućeg utjecaja dušikovih oksida na zdravlje, najznačajniji je NO<sub>2</sub> koji u udahnut u visokim koncentracijama može izazvati upalu dišnih putova i smanjene plućne funkcije, čime se povećava osjetljivost na respiratorne infekcije. Treba napomenuti da dušikovi oksidi, kao i oksidi sumpora, imaju vrlo slično nadražujuće djelovanje na sluznicu dišnih organa i oči. Dušikovi oksidi se vrlo brzo resorbiraju i već nakon 15 minuta od udisanja se počinju izlučivati mokraćom u obliku nitrata i nitrita.

Ovi oksidi se nakon resorpcije mogu vezati za hemoglobin stvarajući oksinitrohemooglobin koji ne može prenositi kisik. Treba naglasiti da se danas dušikovi oksidi kao i nitriti i nitrati ubrajaju u grupu vodećih kancerogena pluća, želuca i mokraćnog mjehura<sup>54</sup>.

Kada su u pitanju posljedice za zdravlje treba reći da kod krakoročne izloženosti dušikovom (IV) oksidu, a koja premašuje koncentraciju od 200 µg/m<sup>3</sup>, može nastupiti upa-

la dišnih putova. Kod dugoročnog izlaganja NO<sub>2</sub> javljaju se obično simptomi bronhitisa kod asmatične djece, smanjenje funkcije pluća i slabljenje imuniteta.

### 3.2.2 Sumporovi oksidi i njihovi učinci na zdravlje ljudi

Od sumporovih spojeva u atmosferi se obično nalaze spojevi nastali oksidacijom organskog ili elementarnog sumpora u njihove okside, koji se često označavaju i SO<sub>x</sub>, a koje čine sumporov (IV) oksid i sumporov (VI) oksid. Kao produkti različitih reakcija koje se događaju u atmosferi, pojavljuju se i sulfati koji mogu imati oblik M(II)SO<sub>4</sub> ili M(I)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a vrlo često u atmosferi nastaje i sulfatna kiselina (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

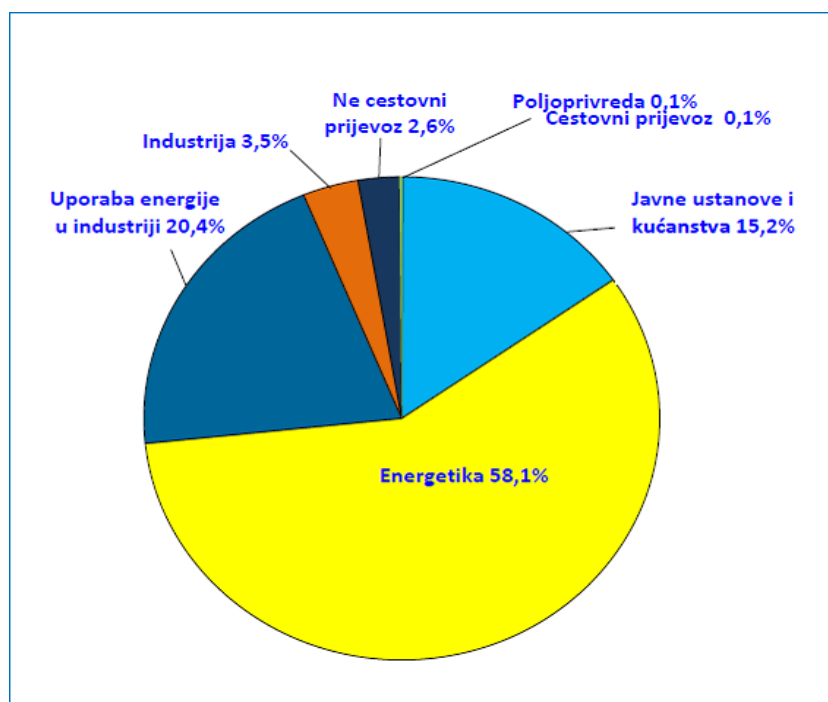
Najveći prirodni izvori sumporovih oksida su aktivni vulkani i šumski požari, iako se ne smiju zanemariti i drugi izvori koji, iako, u punoj manjoj mjeri, pridonose ukupnom tz. pozadinskom sadržaju SO<sub>2</sub> u atmosferi. Emisije ovih tzv. malih prirodnih izvora ovog plina, posljedica su aktivnosti u oceanima, različitih anaerobnih procesa razgradnje biljnih i životinjskih ostataka, gnojiva itd.

Glavni, veliki izvori emisija sumporovog (IV) oksida su antropogenog podrijetla i to u obliku mnogobrojnih industrijskih postrojenja različitih djelatnosti. Tu se prvenstveno misli na procese u kojima se spaljuju fosilna goriva u svrhu proizvodnje električne i toplinske energije, slika 21.

Prema podacima<sup>55</sup> Europske agencije za okoliš, u većini europskih zemalja, emisija sumporovih oksida (SO<sub>x</sub>) smanjena je za 74% u razdoblju između 1990. i 2011. godine. Tijekom 2011., a što se vidi i na slici 21, najznačajnija djelatnost u pogledu emisije ovih plinova je djelatnost proizvodnja i distribucije energije (58% ukupnih emisija), nakon čega slijedi industrija u kojoj se koristi značajna količina energije (20% ukupnih emisija), itd.

Smanjenje emisija sumporovih oksida od 1990. godine ostvareno je kao rezultat prije svega poduzimanja mjera sprječavanja emisija ovih onečišćujućih tvari supstitucijom sumporom bogatih fosilnih krutih i tekućih goriva (ugljen i nafta) s gorivom niskog sadržaja sumpora kao što je prirodni plin.

Nadalje, u istom razdoblju (1990.-2011.), u mnogim industrijskim postrojenjima, a sukladno zakonskim i drugim obvezama, uvedeni su ili poboljšani postupci odsumporavanja otpadnih plinova, te uvele strože granice za sadržaj sumpora u pogonskim tekućim gorivima.



Slika 21. Udio pojedinih antropogenih izvora SO<sub>2</sub> u ukupnoj emisiji u EU tijekom 2011. godine<sup>55</sup>

U svrhu sprječavanja štetnih posljedica na zdravlje ljudi te prirodna i materijalna dobra, u Republici Hrvatskoj se onečišćenost zraka sumporovim (IV) oksidom kao i drugim onečišćujućim tvarima (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, H<sub>2</sub>S, PAU, itd), provodi praćenjem kvalitete zraka sukladno važećim propisima<sup>12,13,56</sup> u državnoj mreži i lokalnim mrežama.

Statistički podaci mjerenja SO<sub>2</sub> u zraku na području RH obično se prikazuju kao 1-satne i 24-satne vrijednosti za koja vremena usrednjavanja su i određene granične vrijednosti<sup>13</sup>.

Tako npr. 1-satne koncentracije ne smiju prekoračiti GV od 350 µg/m<sup>3</sup> više od 24 puta tijekom kalendarske godine, a 24-satne koncentracije ne smiju prekoračiti GV od 125 µg/m<sup>3</sup> više od 3 puta tijekom kalendarske godine, dok GV za razinu SO<sub>2</sub> tijekom godine u zraku iznosi 50 µg/m<sup>3</sup>. Prema posljednjem dostupnom *Godišnjem izvješću o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2013. godinu*<sup>57</sup> nije bio zabilježen nedozvoljen broj prekoračenja 1-satnih i 24-satnih graničnih vrijednosti za SO<sub>2</sub> na niti jednoj mjernoj postaji u RH.

Ispušni plinovi motornih vozila sadrže brojne spojeve među kojima se, uz ugljikov (II) oksid (CO), ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>), dušikove okside NO<sub>x</sub>, hlapljive organske spojeve (HOS) itd., nalazi i sumporov (IV) oksid (SO<sub>2</sub>). Stoga je on sadržan i u gradskom smogu, što tijekom zimskih mjeseci, kod ljudi može uzrokovati probleme dišnog sustava.



Sumporov (IV) oksid koji u obliku dimnih plinova, zajedno sa čađom, dopijeva u atmosferu, u prisutnosti vodene pare sudjeluje u formiranju otrovnog smoga, slika 22, ili otrovne magle koja može uzrokovati različita oboljenja na plućima.



Slika 22. Smog u Zenici, BiH<sup>58</sup>

Iako su sadržaji sumpora u gorivima za motorna vozila ograničeni propisima<sup>59,60</sup>, ti tzv. mobilni izvori još uvijek predstavljaju značajan izvor sumporovog (IV) oksida u atmosferi. Sumporovi oksidi, kao i dušikovi oksidi, bilo da su dospjeli u atmosferi iz cestovnog prijevoza ili iz nekih industrijskih procesa, sudjeluju u nizu reakcija u kojima se prevode u kiselinu i talože na tlo, slika 23, pa ih se i naziva kiselinskim prekursorima.

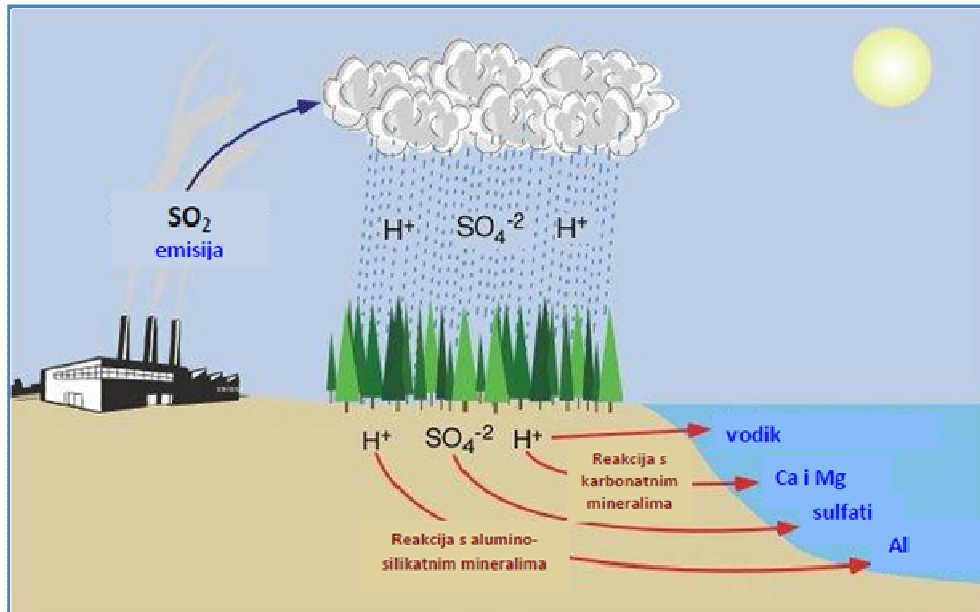
Reakcija nastajanja sulfatne kiseline u atmosferi, može se prikazati slijedećom jednačinom:



Naravno, da atmosferski  $\text{SO}_2$  koji se veže s vodom i vraća na zemlju u obliku kiselih kiša, osim što može izravno štetno djelovati na ljudsko zdravlje, može uzrokovati štetne učinke i na biljni i životinjski svijet, kao i uzrokovati zakiseljavanje tla.



Ovo štetno djelovanje  $\text{SO}_2$  u obliku kiselih kiša na zdravlje ljudi, biljaka i životinja, kao i zakiseljavanje tla, može biti vrlo ozbiljan problem i zbog mogućeg onečišćenja voda, kojima se drastično smanjuje pH vrijednost, a što može dovesti do narušavanja kvalitete čitavog zbog izumiranja mikroorganizama ili problema vezanih uz pitke vode.



Slika 23. Proces pretvorbe  $\text{SO}_2$  u  $\text{H}_2\text{SO}_4$  u atmosferi<sup>53</sup>

Onečišćeni zrak općenito, pa tako i u slučaju onečišćenosti sumporovim oksidima, predstavlja velik rizik za ljudsko zdravlje, a posebno za najosjetljivije dijelove populacije, kao što su djeca, stariji ljudi i osobe s kroničnim oboljenjima i alergijama.

Sumporov (IV) oksid kod akutne izloženosti može dovesti do pojave boli u očima, ustima i grudima, suženje očiju, povećanju sekrecije iz nosa, grča bronhijalnih mišića (*bronhokonstrikcija*), kašlja, šištanja u grudima i suhoće grla i nosa.

Kronična izloženost sumporovom (IV) oksidu najčešće dovodi do pojave respiratornih simptoma, porasta broja hospitalizacija, a posebice pogoršanja stanja kod astmatičara. Tako npr., značajan postotak ljudi sa astmom osjeti promjene u plućnoj funkciji i otežano disanje već nakon 10 – minutne izloženosti sumporovom (IV) oksidu.

Uz utjecaj na dišne organe i funkciju pluća,  $\text{SO}_2$  djeluju toksično na koru mozga, utječe na kardiovaskularni, koštani i reproduktivni sustav. Nakon resorpcije  $\text{SO}_2$  može uzrokovati i promjene na krvi odnosno može se vezati za hemoglobin modificirajući ga tako u *sulfhemoglobin* koji ne može prenositi kisik, te tima uzrokuje poteškoće u disanju i narušava zdravstveno stanje cijeloga organizma.

### 3.3 Hlapivi organski spojevi u zraku i njihovi učinci

Hlapivi organski spojevi (HOS) ili kako ih se često u literaturi označava sa VOC (engl. *Volatile organic compounds*) su jednostavni organski spojevi koji zbog svoje male molekularne mase vrlo lako hlape na sobnoj temperaturi otkuda im i naziv *hlapivi*. Ovi spojevi pripadaju skupini organskih spojeva koji se jednim imenom nazivaju ugljikovodici, a podijeljeni su u tzv. *metanske* i *ne-metanske* hlapive organske spojeve, odnosno plinove koji ishlapljuju iz različitih krutih ili tekućih tvari.

*Ne-metanski* hlapivi organski spojevi (NMHOS) u literaturi poznati i kao NMVOC (engl. *Non-methane volatile organic compounds*) reagiraju s dušikovim oksidima uz djelovanje sunčeve svjetlosti te stvaraju prizemni ozon, kako je to i ranije prikazano u poglavlju 3.1.2.

U okolišu se pojavljuje vrlo veliki broj hlapivih organskih spojeva koji mogu biti prirodnog ili biogenog podrijetla kao i umjetnog ili antropogenog podrijetla.

*Biogeni hlapivi organski spojevi* (BHOS) ili BVOC (engl. *Biogenic volatile organic compounds*) su mirisne i aromatske tvari<sup>61</sup> koje nije sve moguće čak niti raspoznati njuhom, a potječu od živih organizama, posebice drveća. Poznato je da biljke u svojim uljima sadrže ove supstance i emitiraju i njih više od 30 000 u obliku različitih organskih spojeva (npr. izopren, terpeni, alkoholi, karbonili i esteri) emitiraju u okoliš<sup>42</sup>.

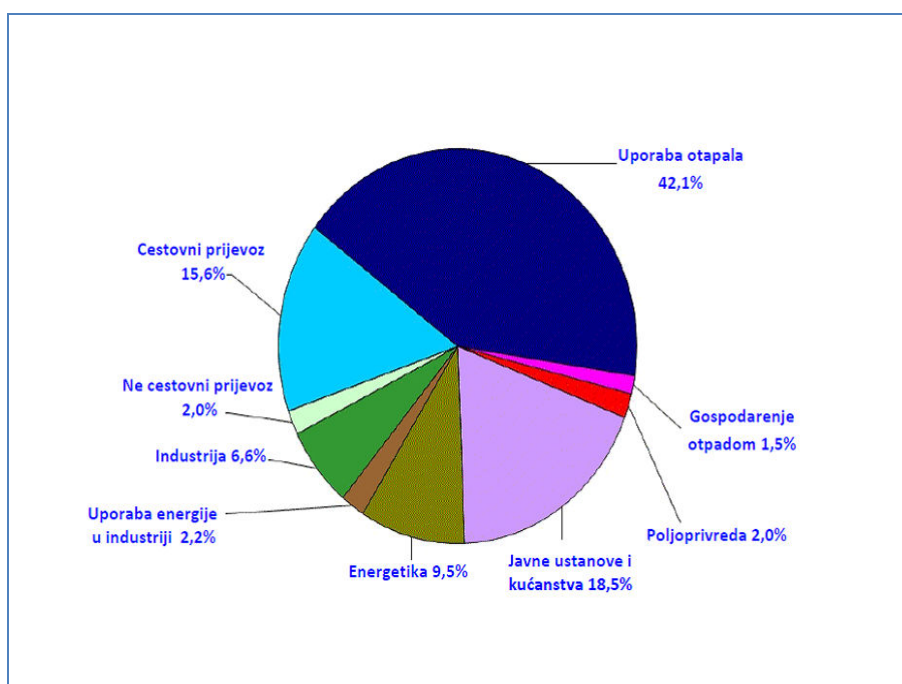
Procjenjuje se da su, na globalnoj razini, količine emisija BHOS veće od količina *antropogenih hlapivih organskih spojeva* (AHOS) ili AVOC (engl. *Antropogenic volatile organic compounds*). Zbog njihove velike emisije i velike reaktivnosti sa glavnim oksidansima, BHOS kao prekursori značajno pridonose kemiji atmosfere u smislu izgradnje štetnih onečišćujućih tvari (ozon) i kao takvi imaju veliki utjecaj na kvalitetu zraka. Ovome se treba posvetiti puno veća pozornost, s obzirom da su ove reakcije i njihovo praćenje, posebno važne u urbanim sredinama, gdje je onečišćenje zraka često prelazi dopuštenu granicu.

Među hlapive organske spojeve prisutne u okolišu, a koji najviše opterećuju zrak, pripadaju i aromatski ugljikovodici benzen, toluen, etilbenzen i orto-, para- i meta ksilen) koji imaju zajedničku oznaku BTX (eng. *Benzene, Toluene, Xylene*).

U najčešće antropogene izvore hlapivih organskih spojeva ubrajaju se obično industrijska proizvodna postrojenja koja se bave djelatnostima poput: proizvodnje drvenih i plastičnih laminata; obuće; premaza, lakova, tinte i ljepila; farmaceutskih proizvoda; gumenih smjesa i proizvoda od gume; biljnog ulja i životinjske masti i rafinacija biljnog ulja; tiskarskih proizvoda itd. U antropogene izvore HOS ubrajaju se i različite servisne usluge kao npr. kemijske čistionice, lakirnice i sl.

Prema podacima<sup>62</sup> Europske agencije za okoliš zemljama članicama Europske unije (EU-27) je između 1990. i 2011. godine, emisija NMHOS smanjena za 59%. Tijekom 2011. godine, najveći udio u ukupnoj emisiji NMHOS odnosio se na emisije Njemačke, Italije, Velike Britanije i Francuske, čije su pojedinačne emisije prelazile 10% ukupne emisije za tu godinu.

Podaci iz istog izvora ukazuju na činjenicu da je u promatranom razdoblju najveći udio u ukupnoj emisiji NMHOS imala djelatnost koja koristi različite vrste organskih otapala. Tako je npr. tijekom 2010. godine taj udio iznosio oko 42%, dok je udio emisije iz javnih ustanova i kućanstava bio 18,5%, cestovnog prijevoza 15,6%, energetike oko 10% itd, slika 24.



Slika 24. Udio pojedinih antropogenih izvora HOS u ukupnoj emisiji u EU tijekom 2010. godine<sup>63</sup>

O podacima o emisijama hlapivih organskih spojeva u RH brine Agencija za zaštitu okoliša sukladno Zakonu o zaštiti zraka<sup>12</sup> u okviru svoga informacijskog sustava o zaštiti zraka - čiji sastavni dio čini i baza podataka o emisijama HOS. Navedena baza podataka sadrži sve relevantne podatke o operateru, vrsti postrojenja odnosno aktivnosti, vrijednostima iz izračuna bilance organskih otapala, rezultatima mjerenja/računanja, načinu praćenja emisija te o tehnikama smanjivanja emisija.

Godišnje izvještaje o emisijama NMHOS na području cijele Republike Hrvatske izrađuje Agencija za zaštitu okoliša. Tako je npr. na temelju prikupljenih podataka izrađen i *Godišnji izvještaj o praćenju emisija hlapivih organskih spojeva u zraku u 2013. godini*<sup>61</sup> u kojem

je navedeno da je tijekom te godine na području RH ukupno emitirano u zrak 3.675 t NMHOS, od čega je najveći udio u tim emisijama imala tiskarska djelatnost sa 1.530 t i procesi premazivanja u različitim industrijskim djelatnostima sa 1.466 t. Najmanja količina hlapivih organskih spojeva emitirana je iz djelatnosti površinskog čišćenja sa samo oko 2 t hlapivih organskih spojeva.

U razdoblju od 1990. do danas emisije NMHOS su se znatno smanjile, o čemu govore i najnoviji podaci<sup>64</sup> u izvješćima Agencije za zaštitu okoliša. Naime, tijekom 2013. godine, emisije NMHOS su se smanjile za 64,3 % u odnosu na emisije iz 1990. Ovo smanjenje je posljedica nižih emisija iz izvora u sektoru *Industrijski procesi i uporaba proizvoda* (za 72 %), te u sektoru prometa (za 78,9 %).

Ono što je istovremeno zabrinjavajuće je podatak da je sektor sa stalnim trendom porasta u emisijama NMHOS od 1990. godine na ovamo, sektor gospodarenja otpadom, što je u svezi zbog povećanja aktivnosti vezanih za odlaganje krutog otpada na tlo.

Trend smanjenja emisija NMHOS posljedica je prije svega smanjenih emisija iz proizvoda koji sadrže otapala, i to dijelom kao rezultat unapređenja proizvodnih procesa uvođenjem najboljih raspoloživih tehnika (NRT) prema zahtjevima Emisijske direktive<sup>65</sup>, pada proizvodnje otapala i drugih proizvoda, porasta broja energetski učinkovitijih vozila u prometu, itd., što sve ima za posljedicu smanjenje emisije ovih onečišćujućih tvari.

S obzirom da se u skupinu hlapivih organskih spojeva ubraja veliki broj različitih kemijskih spojeva, njihova kemijsko-fizikalna svojstva mogu biti vrlo različita, pa stoga i njihovi učinci na ljudsko zdravlje kao posljedica kratkoročne ili dugoročne izloženosti, mogu biti vrlo različiti. Naime, kratkotrajna izloženost čovjeka zraku onečišćenom hlapivim organskim spojevima može imati za posljedicu<sup>66,67</sup> iritaciju očiju i dišnih putova, glavobolje, vrtoglavice, vizualnih poremećaja, umor, gubitak koordinacije, depresiju, alergijske reakcije na koži, mučninu i poremećaj pamćenja, dok dugotrajna izloženost ovim spojevima može dovesti do poremećaja u razvoju kod djece, probavnom sustavu, oštećenja jetre, bubrega, središnjeg živčanog sustava, itd., tablica 7.

Da bi se učinkovito zaštitio okoliš od štetnih učinaka hlapivih organskih spojeva i smanjila njihova emisija, a posebice zaštitilo ljudsko zdravlje, svi operateri koji u svojim postrojenjima koriste ove spojeve, dužni su sukladno važećim propisima<sup>68</sup> prijaviti svoje postrojenje Ministarstvu zaštite okoliša i prirode, kako bi bilo upisano u Registar postrojenja u kojima se koriste organska otapala ili se pak koriste proizvodi koji sadrže hlapive organske spojeve.

Također, svi operateri koji u svojim proizvodnim i uslužnim procesima koriste otapala moraju voditi očevidnik u koji se unose mjesečni podaci o utrošenim količinama otapala ili proizvoda koji sadrže hlapive organske spojeve, te na kraju kalendarske godine načiniti godišnju bilancu i dostaviti je Agenciji za zaštitu okoliša do 31. ožujka tekuće godine za proteklu godinu.

Tablica 7. Nekih spojevi iz skupine HOS i njihovi štetni učinci na zdravlje<sup>66</sup>

Štetan učinak	Eten (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Benzen (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	Propen (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	Toluen (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	Ksilen (C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Karcinogen	✓	✓				
Kardiovaskularni sustav	✓	✓			✓	✓
Razvoj		✓	✓		✓	
Endokrini sustav		✓				
Probavni sustav i jetra		✓	✓		✓	✓
Imunološki sustav	✓	✓			✓	✓
Bubrezi					✓	
Živčani sustav		✓	✓		✓	✓
Reproduktivni sustav		✓				
Dišni sustav		✓	✓	✓	✓	✓
Koža		✓	✓		✓	✓

### 3.4 Teški metali u zraku i njihovi učinci

Od velikog broja onečišćujućih tvari koje ljudskom djelatnošću dopijevaju u okoliš, svakako jednu od najvažnijih uloga imaju metali i to prije svega, teški metali. Njihov značaj se ogleda u mogućnosti akumuliranja u biološkim sustavima, visoke toksičnosti, nemogućnosti detoksikacije prirodnim procesima, te ulaskom u biogeokemijske cikluse u okolišu.

S obzirom da proizvodnja metala, prerada i primjena svakodnevno raste, raste i njihova koncentracija u zraku, vodi i tlu, što povećava rizik od njihovog štetnog djelovanja na žive organizme.

Okoliš je vrlo često onečišćen olovom (Pb), cinkom (Zn), kadmijem (Cd), kromom (Cr), bakrom (Cu), vanadijem (V), niklom (Ni), manganom (Mn), željezom (Fe), molibdenom (Mo), arsenom (As) i živom (Hg), a njihov osnovni izvor uz industriju proizvodnje i prerade metala su prometnice, vozila i drugi nespecifični urbani izvori<sup>69</sup>, tablica 8. S aspekta njihovog praćenja u okolišu koji obuhvaća antropogene izvore, uobičajene razine emisija i njihov značaj za ljudsko zdravlje i okoliš u cijelosti, često se teške metale razvrstava u prioritetne i neprioritetne metale.

Izvori emisija tzv. prioritetnih metala kadmija (Cd), žive (Hg) i olova (Pb) uglavnom su postrojenja i drugi uređaji u kojima se odvijaju procesi izgaranja goriva. Kako veličina emisije ovisi o vrsti i količini goriva koje izgara to će i emisija ovih metala npr. kadmija (Cd) biti veća ukoliko je promatrane godine korišteno više loživog ulja, dok će emisija žive (Hg) rasti s većom potrošnjom prirodnog plina. Za razliku od kadmija i žive u zraku, olovo (Pb) je uglavnom posljedica aktivnosti u sektoru cestovnog prometa, što je bilo posebice izraženo devedesetih godina prošlog stoljeća i danas je gotovo zanemariva. Ostali izvori olova su industrijska postrojenja (talionice, ljevaonice i sl.).

U grupu ostalih ili tzv. neprioritetnih teških metala ubrajaju se arsen (As), krom (Cr), bakar (Cu), nikal (Ni), selen (Se) i cink (Zn). Izvori njihovih emisija su različiti pa tako do emisije arsena kroma i nikla dolazi zbog njihove prisutnosti (u tragovima) u krutom gorivu i loživom ulju, te dijelom i u sastavu pojedinih ulaznih sirovina u proizvodnim procesima kao što su staklo, željezo i čelik.

Bakar u zraku je uglavnom posljedica trošenja automobilskih kočnica i guma, cink dolazi u emisijama od izgaranja biomase u sektoru kućanstva, dok se selen emitira pri proizvodnji stakla i mineralne vune budući ga u tragovima ima u rudi koja je sirovina za njihovu proizvodnju.

Na temelju rezultata istraživanja<sup>71</sup> krajem 80-ih godina prošlog stoljeća, utvrđeno je da je u ukupnim atmosferskim depozicijama na globalnoj razini od ukupnih količina metala antropogeni izvori čine čak 96% za Pb, 85% za Cd, 75% za V, 66% za Zn, 65% za Ni, 61% za As, 59% za Hg, 56% za Cu, 52% za Mo i 41% za Cr.

U odnosu na devedesete u Republici Hrvatskoj su postignuta značajna smanjenja emisija<sup>64</sup> teških metala, pa je tako njihova emisija u 2013. godini smanjena u odnosu na 1990. za olovo 99%, kadmij 51%, živu 58%, arsen 92%, krom 72%, bakar 15%, nikal 64%, selen 32% i cink 30%.

Problem teških metala u zraku kao i njihova emisija iz antropogenih izvora postala je vrlo značajan na globalnoj razini s obzirom da su rezultati brojnih istraživanja pokazali da se teški metali u atmosferi mogu prenositi na velike udaljenosti, te da je njihovo suho ili mokro taloženje iz zraka, na nekim područjima, vrlo značajan, ako ne i dominantan uzrok onečišćavanja tla i voda.

Teški metali su vrlo postojani, tako da cjelokupan iznos emisije prije ili kasnije dospjeva u tlo ili vode. Zbog svoje postojanosti, visoke otrovnosti i sklonosti da se akumuliraju u ekosustavu, teški metali su opasni i za sve žive organizme, a posebno za zdravlje čovjeka.

Tablica 8. Neki od najčešćih izvora teških metala u okolišu (prema H. Mesić i suradnicima<sup>70</sup>)

Potencijalni izvori	Teški metali						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
<b>Prometna infrastruktura</b>							
ceste i vozila	x	x					x
aerodromi	x	x		x			x
objekti na željeznici				x			
sustavi ventilacije u tunelima	x	x					x
<b>Energetika</b>							
temoelektrane	x	x	x				x
prostori plinare i deponija	x	x					x
<b>Odlagališta otpada</b>							
odlagališta inertnog i opasnog otpada	x	x	x	x	x	x	x
spaljivanje otpada (stara tehnologija)	x	x	x	x	x	x	x
zbrinjavanje i recikl. život. lešina i otpada	x	x	x	x	x	x	x
obrada komunalnih otpadnih voda	x	x	x	x	x	x	x
<b>Industrijska postrojenja</b>							
proizvodnja mineralnih gnojiva	x	x		x			x
talionice ruda	x	x		x			x
naftne i plinske bušotine	x	x	x	x		x	x
naftovodi i plinovodi	x	x	x	x			x
raf. nafte i plina, ljevaonice	x	x	x	x			x
talionice cinka		x					
metalna industrija	x	x	x	x	x		x
ind. stakla i staklenih vlakana	x	x				x	x
ind. keramike, crjepova, opeke	x	x				x	x
Ind. azbesta i azbestnih proizvoda							
tvornice cementa	x					x	
tekstilna industrija			x	x			
prerada plastike		x					
tiskare	x	x	x	x			x
prostori s primjenom organskih			x	x			
bojanje u brodogradnji			x	x			
pilane			x	x			
mjesta prerade kože			x			x	
tvornice boje i lakova	x	x	x	x		x	x
<b>Rudarske djelatnosti</b>							
podzemno rudarstvo i srodne djelatnosti	x	x	x	x	x	x	x
površinski kopovi i kamenolomi	x	x	x	x	x	x	x

Iako ljudski organizam sadrži tzv. esencijalne metale koji sudjeluju u njegovoj građi i reakcijama potrebnim za prirodan rast i zdrav život, izloženost čovjeka povišenim koncentracijama tih istih metala može dovesti do poremećaja i toksičnih učinaka s lakšim ili težim posljedicama. Esencijalni metali u ljudskom organizmu su željezo (Fe), kobalt (Co),



bakar (Cu), cink (Zn) i mangan (Mn) dok neki drugi nisu, npr. olovo (Pb), kadmij (Cd) i živa (Hg), te njihova prisutnost u organizmu može uzrokovati oštećenje zdravlja.

Prema M.Šariću<sup>72</sup>, izloženost ljudi i drugih organizama, onečišćenjima iz okoliša, pa tako i teškim metalima, utječe na morbiditet i mortalitet iako je njihov učinak vrlo teško kvantificirati s potrebnim stupnjem sigurnosti. Svjetska zdravstvena organizacija je izradila široko prihvaćene norme i preporuke biološki prihvatljivog sadržaja štetnih onečišćujućih tvari kako za vodu i hranu, tako i za zrak.

**Olovo** – Otrovanje olovom je tipično kronično otrovanje, jer za promjene u organizmu koje nastaju zbog metabolizma i nakupljanja olova treba određeno vrijeme koje ovisi o intenzitetu izloženosti. Tako npr. pri izloženosti ljudskog organizma niskim koncentracijama olova, ponekad do pojave može proći i poslije nekoliko mjeseci ili čak godina.

Otrovanja olovom opisana su već u starome vijeku, a u novijoj povijesti je moguće naći veliki broj slučajeva trovanja ovim metalom i njegovim spojevima. Posljednjih 50 godina, zbog naglog povećanja njegovih koncentracija u okolišu, olovo postaje problem, što potkrepljuju i mjerenja sadržaja olova u ledu Grenlanda. Naime, ti rezultati<sup>73</sup> su pokazali da je koncentracija olova početkom industrijske revolucije iznosila oko 10 pg/g leda, da bi do danas porasla na oko 200 pg/g leda.

U urbanim sredinama, okoliš još uvijek onečišćuju produkti sagorijevanja etiliranih benzina, otpadne boje koje kao pigment sadrže olovni oksid (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), dim iz cigareta itd. U ovim sredinama dnevni unos olova u ljudski organizam udisanjem zraka, hranom i vodom, obično ne prelazi 100 µg, od čega se apsorbira oko 25 µg. Inhalacijom se, ovisno o veličini čestica, apsorbira oko 30 do 50 % olova, a probavnim sustavom samo oko 20%.

Apsorbirano se olovo prenosi krvlju i raspoređuje se u krv, bubrege, jetru, kosti i druga tvrda tkiva. Najviše olova nalazi se u kostima (>90%), dok su najniže koncentracije utvrđene u mišićima, masnom tkivu i mozgu<sup>74,75</sup>. Olovo se iz organizma pretežno eliminira putem bubrega i tim se putem u zdrave odrasle osobe dnevno može izlučiti oko 500 µg, dok je kod djece taj put ograničen pa ona izlučuju oko 30 µg olova.

**Kadmij** – Kadmij i njegovi spojevi su vrlo otrovni, a njihova otrovnost se utvrdila tek u prvoj polovici prošlog stoljeća. Opasnost od onečišćenja okoliša kadmijem leži prije svega u procesima taljenja i rafinacije cinka i olova, gdje se kadmij nalazi kao pratilac, a u atmosferu dolazi sa prašinom i dimnim plinovima. Tehnologije proizvodnje akumulatora, boja i polimernih materijala, također su izvori onečišćenja okoliša kadmijem.

Ovaj toksični teški metal u ljudski organizam se obično unosi hranom<sup>74,75</sup> te se iz probavnog sustava apsorbira manje od 10% od unesene količine, dok je apsorpcija inhaliranog kadmija<sup>74</sup> znatno veća i iznosi do 40%. Apsorbirani kadmij prenosi se putem krvi i raspoređuje u organizmu i akumulira u bubrezima, mišićju i jetri. Kod predoziranja kadmijem ingestijom, njegova apsorpcija je ograničena zbog brzog povraćanja nakon ingestije, dok je s druge strane, apsorpcija preko pluća izražena i to posebice onog kadmija koji se javlja u emisijama spalionica fosilnih goriva i komunalnog otpada, kao i iz dima cigareta.



Apsorpcija kadmijevih soli preko kože nije zabilježena. Kationi kadmija odlažu se u uglavnom u gušterači, jetri, bubrezima i u plućima i akumulirani kadmij se vrlo sporo uklanja iz organizma.

**Živa** – Živa i njezini spojevi su od davnina poznati i korišteni u farmaciji, premda je vrlo često dolazilo i do trovanja pacijenata liječenih živom. Danas su elementarna živa i njezine soli u okolišu, uglavnom posljedica izravne emisije iz industrije, dok je organometalna živa, koja se također može pojaviti u okolišu, najčešće posljedica primjene fungicida na bazi žive.

Elementarna živa se može se u okolišu pojaviti i u emisijama spalionica komunalnog otpada, ložišta na fosilna goriva, pogona elektrolize gdje se živa koristi kao elektroda, itd. Temeljni problem onečišćenja okoliša živom je u tome što se njezini organometalni spojevi mogu nakupljati i metabolizirati u biosferi, a što vrlo dobro ilustrira najpoznatiji slučaj masovnog otrovanja organometalnim spojevima žive koji se dogodio u zaljevu Minamata, u Japanu<sup>76,77</sup>. Ovaj slučaj trovanja živom do danas je ostao glavni primjer štetnog miješanja čovjeka u okoliš.

Elementarna živa je izrazito lipofilna, pa nakon što dospije u pluća udisanjem onečišćenog zraka, više od 80% udahnute žive se i apsorbira u organizmu. Apsorpcija elementarne žive preko probavnog sustava vrlo je slaba i nisu opisana otrovanja tim putem, ali elementarna živa, zbog topljivosti u mastima, dobro prolazi kroz tjelesne barijere te se elementarna živa može skladištiti u mozgu, bubrezima, jetri i srcu.

Živa se dobro odlaže u kosi jer se veže na pojedine skupine bjelančevina kose, ali nije dobro mjerilo izloženosti kod otrovanja elementarnom živom.

Svi teški metali su toksični i uzrokuju različite štetne učinke na zdravlje čovjeka, a njihov oblik i intenzitet ovisi o vrsti teškog metala odnosno o njegovoj koncentraciji u zraku, vremenu izloženosti ljudskog organizma djelovanju onečišćenog zraka tim metalom, fizikalno-kemijskim i toksikološkim karakteristikama, itd. Obično se akumuliraju u ljudskom organizmu, a mogućnost detoksikacije im je ograničena i sporo se izlučuju iz organizma, a svima je zajedničko obilježje njihovo višestruko toksično djelovanje na organe kao što su pluća, bubrezi, jetra, žuč, probavni trakt, itd., tablica 9.

Nakon navedenog, a uzimajući u obzir niz različitih mogućih štetnih učinaka na zdravlje ljudi, ne smiju se zanemariti niti najniže razine onečišćenja, jer i one predstavljaju određeni rizik za zdravlje. Ovome u prilog idu podaci o velikom broju ljudi izloženih onečišćenom zraku i relativno velikom morbiditetu ili broju oboljelih i mortalitetu ili broju umrlih od posljedica onečišćenog zraka na globalnoj razini. S tim u svezi, rađene su i mnoge epidemiološke studije utjecaja onečišćenosti zraka na odraslu populaciju i djecu u Europi, pa tako npr. prema podacima<sup>79</sup> *Europskog Centra za okoliš i zdravlje SZO* iz 2007., su pokazali da učinci onečišćenosti zraka na zdravlje mogu varirati od lakših zdravstvenih smetnji pa do smrtnog ishoda, tablica 10.

Tablica 9. Štetni učinci nekih teških metala na zdravlje čovjeka<sup>78</sup>

Štetan učinak	Teški metali							
	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
Organ ili sustav								
Živčani sustav	X	X	X		X		X	
Kardiovaskularni sustav		X	X	X				
Probavni sustav	X	X	X	X	X		X	X
Endokrini sustav	X	X						
Imunološki sustav		X		X		X		
Bubrezi		X	X	X			X	
Jetra	X							
Pluća	X		X	X		X	X	X
Krv	X	X			X			X
Koža	X	X				X		

Prema posljednjim podacima objavljenim u proljeće 2015. godine, onečišćenost zraka se smatra uzrokom oko 3,7 milijuna smrtnih slučajeva svake godine<sup>80</sup>.

Iako se kakvoća zraka u Europi znatno popravila u posljednjih nekoliko desetljeća, onečišćenje zraka i dalje ostaje glavni okolišni čimbenik povezan štetnim učincima na zdravlje, pojavom bolesti koje se mogu spriječiti kao i preranom smrtnošću.

Naime, onečišćen zrak u EU još uvijek ima značajne negativne utjecaje na veći dio prirodnog okoliša Europe, a prema izjavama stručnjaka međunarodne Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (engl. *Organization for Economic Cooperation and Development*, OECD), onečišćenje zraka u gradovima postat će do 2050. glavni okolišni uzrok smrtnosti u svijetu, ispred zagađene vode i nedostatka higijenskih mjera<sup>81</sup>.

Prema podacima<sup>82</sup> Europske komisije, procjenjuje se da se iznos sveukupnih zdravstvenih troškova nastalih od posljedica onečišćenja zraka, kreće između 330 i 940 milijardi eura godišnje, dok bi ciljevi smanjenja onečišćenosti, predloženi do 2030. godine, proizveli dobit od 44 do 140 milijardi eura.

Unatoč ostvarenim postignućima u zaštiti zraka, EU je još uvijek daleko od svojeg dugoročnog cilja, a taj je poboljšanja kvalitete zraka toliko da se ukloni rizik nanošenja štete ljudskom zdravlju, jer lebdeće čestice i prizemni ozon još uvijek uzrokuju velike poteškoće, koje godišnje odnose oko 406 000 života. Isti izvor<sup>82</sup> govori i o procjenama troš-

kova hospitalizacije europskih građana koji iznose više od 4 milijarde eura, a gubitak radnih dana iznosi oko 100 milijuna/godišnje.

Tablica 10. Utjecaj onečišćenosti zraka na odraslu populaciju i djecu Europe<sup>79</sup>

<b>Simptom bolesti vezan uz zagađenje zraka</b>	<b>Udio bolesnika vezan uz zagađenje zraka, %</b>	<b>Godišnji broj slučajeva</b>
Kašalj i iritacija očne sluznice (djeca)	0,4 – 0,6	2,6 – 4,0 milijuna
Bolest donjih respiratornih putova (djeca)	7 – 10	4-6 milijuna
Bolest donjih respiratornih putova (djeca) – potrebno liječenje	0,2 – 0,4	90 - 200 tisuća
Smanjenje plućne funkcije za > od 5%	19	14 milijuna
Incidencija kronične obstruktivne plućne bolesti (KOPB)	3 - 7	18 – 42 tisuće
Hospitalizacija zbog plućne bolesti	0,2 – 0,4	4 – 8 tisuća

I na kraju, nadležni odbori Europske komisije smatraju da onečišćenje zraka još uvijek predstavlja jednu od najvećih opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš, sa snažnim negativnim posljedicama u vidu respiratornih problema, preuranjene smrti, eutrofikacije i propadanja ekosustava, te potrebu za uspostavljanjem novih programa mjera za čišći zrak čime bi se skraćivanje očekivanog životnog vijeka u EU moglo smanjiti s 8,5 mjeseci u 2005. godini na 4,1 u 2030. godini.

#### 4. ONEČIŠĆENJE VODE

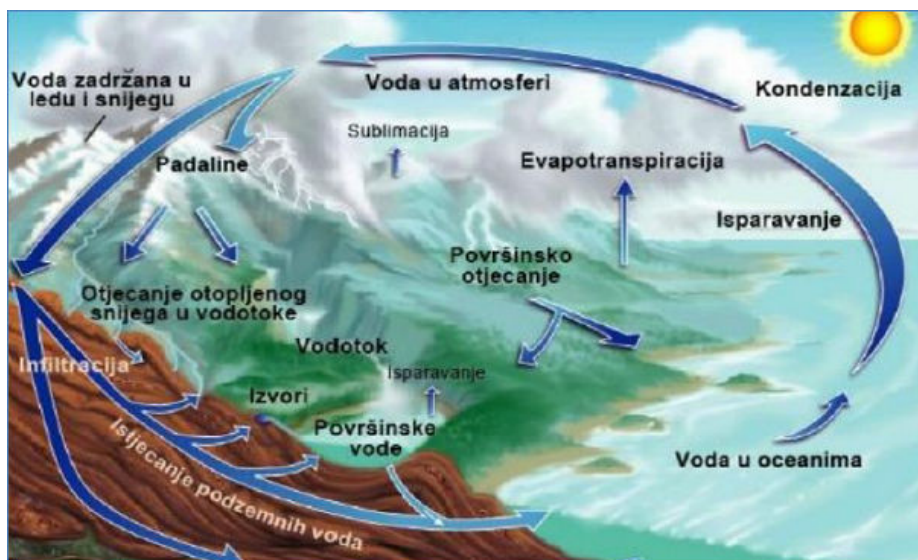
Poznato je da je voda jedinstven i nezamjenjiv prirodni izvor ograničenih količina i neravnomjerne prostorne i vremenske raspodjele, kao i činjenica da su svi oblici života i sve ljudske aktivnosti više ili manje vezane uz vodu. Iz ovih razloga i proizlazi važnost odnosa prema vodi glede gospodarskog razvoja i urbanizacije, s jedne strane, te porasta potrebe za vodom, ugrožavanja njenih izvora i vodnoga okoliša, s druge strane. Stoga voda može postati ograničavajući čimbenik razvoja, te prijetnja ljudskom zdravlju i održivosti prirodnih ekosustava, čemu se treba posvetiti dužna pozornost.

## 4.1 Vrste i značajke vode u prirodi

Oko 70 % površine Zemlje pokriveno je s vodom, a njena količina se procjenjuje na oko  $1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$ , od čega samo 2,5% otpada na slatke vode čiji je veći dio (oko 69%) nedostupno čovjeku za njegovu uporabu, jer je zarobljena u obliku snijega i leda na polovima<sup>11</sup>. Samo je 0,8% od ukupne vode dostupno za ljudsku upotrebu što je  $11,2 \times 10^6 \text{ km}^3$ . Gotovo 500 velikih svjetskih rijeka je onečišćeno, te se smatra kako će tijekom ovog stoljeća u 17 zemalja Afrike i Azije potpuno nestati vode. Utješna je činjenica kako je Hrvatska po bogatstvu i dostupnosti vode na 5. mjestu u Europi<sup>83</sup>.

Voda se javlja kao stajaća voda (u oceanima i jezerima), kao tekuća voda (u rijekama) te u obliku kiše i vodene pare u atmosferi, koji čine vrlo dinamičan sustav u obliku tzv. *globalnog kružnog toka vode* ili *globalnog hidrološkog ciklusa*. Stoga se, vrlo često, voda prema podrijetlu razvrstava u oborinsku, površinsku i podzemnu.

Svojim kretanjem se u hidrološkom ciklusu, voda sudjeluje i u kemijskim reakcijama s atmosferskim plinovima, stijenama, biljkama i različitim tvarima, bilo da su prirodnog ili antropogenog podrijetla. Ovdje se pod tvarima antropogenog podrijetla prije svega misli na onečišćujuće tvari koje u atmosferu dolaze iz niza različitih izvora. Rezultat međudjelovanja vode i ovih tvari u atmosferi, su promjene kemijskog sastava vode, ali i promjene tvari s kojima voda reagira. Te promjene, zajedno s ostalim promjenama u atmosferi, pridonose uspostavljanju ukupnih kemijskih uvjeta na površini Zemlje, što se odražava na konačni oblik globalnih geokemijskih ciklusa glavnih kemijskih elemenata (Na, K, Ca, Mg, Si, C, N, S, P, Cl, O i H) u okolišu, a koji su usko povezani s hidrološkim ciklusom, slika 25.



Slika 25. Ciklus vode u prirodi<sup>84</sup>

Voda je kao sastavnica okoliša u središtu pozornosti održivog razvoja, jer njeni izvori i raspon usluga koje pružaju, doprinose smanjenju siromaštva u svijetu, omogućavaju ekonomski rast i održivost okoliša. Ona čovječanstvu osigurava proizvodnju hrane, energije, zdravlja ljudi i okoliša te doprinosi poboljšanju društvenog blagostanja.

Značenje vode za ljudsko zdravlje može se ilustrirati podatkom da ljudsko tijelo može izdržati tjednima bez hrane, ali bez vode samo nekoliko dana pa je voda neophodna za naš opstanak. Unatoč podacima o postignućima tijekom zadnjih 10-tak godina, još uvijek oko 750 milijuna ljudi nema pristup poboljšanim izvorima pitke vode, a 2,5 milijarde nema poboljšane sanitarne uvjete<sup>84</sup>.

Značenje vode u ekosustavima – uključujući, šume, močvare i travnjake – ogleda se u njenom globalnom ciklusu. Naime, sve slatke vode u konačnici ovise o kontinuiranom zdravom funkcioniranju ekosustava, stoga je poznavanje ciklusa voda bitno za postizanje održivog upravljanja vodama. Ipak, većina ekonomskih modela upravljanja vodama, još uvijek ne cijeni dovoljno blagodati koje pruža slatkovodni ekosustav, što nerijetko dovodi do neodrživog korištenja vodnih resursa i degradacije ekosustava.

Samo razvijeno gospodarstvo čovjeku osigurava društveno blagostanje, no unapređenje gospodarstva se mora temeljiti na načelima održivog razvoja, jer nekontrolirani porast proizvodnje roba za zadovoljavanje ljudskih potreba, može ugroziti vodne resurse na Zemlji. Poznato je, da je za izradu svakog industrijskog proizvoda potrebna i voda. Tako npr. za proizvodnju jednog lista papira potrebno je 10 litara vode, dok je za 500 grama plastike potrebno 91 litra itd<sup>84</sup>. S obzirom na porast industrijske proizvodnje u svijetu, očekuje se da će se 2050. godine globalna potražnja za vodom koja se koristi u proizvodnji povećati za 400%, što je mnogo više od ostalih djelatnosti, a glavna povećanja se očekuju u velikim gospodarski razvijenim zemljama kao i u zemljama u razvoju<sup>84</sup>.

Ovdje je vrlo važno napomenuti da je i proizvodnja hrane, kao i specifična potrošnja vode po jedinici prehrambene namirnice, tablica 11, vrlo značajna za gospodarenje vodama općenito, jer kako neki izvori<sup>84</sup> tvrde za *navodnjavanje* jedne kalorije potrebna je 1 litra vode, dok se ponegdje, a zbog neučinkovitog korištenja vode troši čak 100 litara. U nekim zemljama u razvoju na navodnjavanje otpada do 90% ukupne raspoložive vode, pa gledajući globalno, najviše se vode koristi se u poljoprivredi, čak 70% od ukupne količine vode.

Trenutni vrlo izražen porast poljoprivrednih potreba za svjetskim slatkovodnim resursima je neodrživ, jer neučinkovito korištenje voda u proizvodnji usjeva iscrpljuje vodotoke, oštećuje poljoprivredno zemljište (salinizacija), smanjuje riječne tokove i ugrožava opstojnost staništa divljih životinja. Stoga, poljoprivreda mora smanjiti gubitke voda i, što je najvažnije, povećati produktivnost usjeva u odnosu na vodu, povećanjem učinkovitosti u korištenju voda.

Tablica 11. Neke živežne namirnice za čiju se proizvodnju troši mnogo vode<sup>84,85</sup>

Namirnica	Potrošnja vode, L	Namirnica	Potrošnja vode, L
1 rajčica	13	1 šalica kave	140
1 krumpir	25	1 čaša mlijeka	200
1 šalica čaja	35	1 pileća prsa	1170
1 kriška kruha	40	1 svinjski odrezak	1440
1 naranča	50	1 hamburger	2400
1 jabuka	70	1 kriška sira	2500
1 jaje	135	1 goveđi odrezak	4650

**4.1.1 Oborinske vode** – su vode u obliku kiše, snijega, rose i leda (tuča), koje dopijevaju na tlo, prirodno su čiste, a zbog vrlo malog sadržaja otopljenih tvari, nemaju okus i često se opisuju kao bljutave. Voda u atmosferi, na svom putu od oblaka do tla, djeluje kao čistač atmosfere i vrlo često apsorbira čestice prašine, plinove, mikroorganizme i druge tvari na koje naiđe, pa ih čisteći tako atmosferu, odnosi sa sobom prema tlu. Tako nastala kišnica, koja sadrži i apsorbirane tvari iz atmosfere (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, prašina, pelud, itd), ponekad postaje kisela s pH vrijednošću 4-5, te može biti agresivna za neke anorganske materijale (metale, soli i sl) i štetno djelovati na živi svijet u okolišu koji se poznat kao učinak *kiselih kiša*<sup>86</sup>.

Onečišćujuće tvari iz oborinskih voda mogu biti i izdvojene za vrijeme prolaska vode kroz tlo, koje ima sposobnost pročištača ili filtera za oborinsku vodu, čime štiti pitku podzemnu vodu od onečišćenja. O značaju tla kao pročištača oborinskih voda govori i podatak da 65% pučanstva Europe koristi podzemne vode<sup>87</sup> za piće, pa je vrlo važno da voda koja se nakuplja u podzemlju bude dobre kvalitete i da ne sadrži štetne tvari koje *ispiranjem* atmosfere padalinama mogu dospjeti u podzemnu vodu.

**4.1.2 Površinske vode** – prema *Zakonu o vodama*<sup>14</sup>, obuhvaćaju sve kopnene vode, osim podzemnih voda, te prijelazne vode, s tim da se u *površinske vode* ubrajaju i priobalne vode, u pogledu njihove zaštite, te vode teritorijalnog mora kada je riječ o njihovom kemijskom stanju. Znači, površinske vode su vode rijeka, močvara, jezera, mora i oceana koje obično sadrže neotopljene onečišćujuće tvari organskog i anorganskog podrijetla i nešto otopljenih soli (što se ne odnosi na vodu mora i oceana).

Značajke površinskih voda prije svega ovise o tome jesu li stajaće, tekuće ili morske. Posebno, stajaće (jezerske i močvarne) vode mogu imati kiseli karakter zbog otoplje-

nih plinova i kiselina nastalih razgradnjom biljaka i ostataka živih organizama. Značajke površinskih voda određene su i vrstom tla kao i količinom i svojstvima podzemnih i atmosferskih voda, kao i otpadnih (industrijskih i komunalnih) voda s kojima su često u kontaktu. Naime, kako se količina površinskih voda (rijeka i jezera) mijenja tijekom godine u značajnim granicama (razdoblje otapanja snijega, razdoblje učestalih padalina i dr.) mijenjaju se i njena svojstva.

**4.1.3 Podzemne vode** – su sve vode ispod površine tla u zoni zasićenja i u izravnom dodiru s površinom tla ili podzemnim slojem<sup>14</sup>, a nastaju poniranjem atmosferskih i površinskih voda kroz tlo, pri čemu se, prolazeći kroz različite slojeve zemljine kore, pročišćavaju od mehaničkih primjesa, pri čemu otapaju niz soli. Lako topive soli, kao što su natrijev klorid (NaCl), natrijev sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), magnezijev sulfat (MgSO<sub>4</sub>) i dr. se tom prilikom izravno otapaju.

Teško topive soli, kao što su karbonati magnezija, kalcija i željeza (MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, FeCO<sub>3</sub>) otapaju se zahvaljujući prisutnosti ugljikovog (IV) oksida (CO<sub>2</sub>) u vodi, a kao rezultat ovih reakcija nastaju bikarbonati Ca, Mg, Fe.

Podzemne vode mogu biti blago kisele ili blago alkalične što ovisi o stupnju mineralizacije okolnog stijenja, a one čija je ukupna mineralizacija manja od 1000 mg/L smatraju se pitkima<sup>88</sup>. Podzemne vode čija je mineralizacija iznad vrijednosti od 1000 mg/L, nazivaju se mineraliziranim vodama.

## 4.2 Onečišćenje vode i izvori onečišćenja

Kako je već spomenuto, voda trajno kruži planetom u hidrološkom ciklusu te putem oborina (kiša, snijeg, tuča, rosa) pada na tlo, procjeđuje se u tlo, a s njega se dijelom isparava, djelom ulazi u sastav živih organizama, a dio protječe tлом u podzemne vode koje završavaju u riječnim vodotocima, jezerima i morima. S obzirom da je voda vrlo pogodno otapalo za niz tvari koje susreće na svome putu kruženjem u prirodi, u vodi se mogu naći i različite onečišćujuće tvari koje u okoliš dospijevaju otpadnim voda iz kućanstava, industrije, iz procesa proizvodnje energije, procjednim vodama s odlagališta otpada, poljoprivrednoga zemljišta, prometnica i sl.

S obzirom na vrlo veliku razliku među izvorima iz kojih onečišćujuće tvari mogu dospjeti u vode, te tvari se uvelike razlikuju po svojim fizikalno-kemijskim značajkama, prirodi onečišćenja koje uzrokuju u vodi, kao i učincima koje mogu izazvati u okolišu, posebice kada se radi o učincima na zdravlje ljudi. Na temelju ovoga, moguće je razlikovati: *Fizičko onečišćenje vode* – koje se očituje se u promjeni boje, mirisa, okusa, mutnoće i temperature vode; *Mikrobiološko onečišćenje vode* – koje je uzrokovano prisutnošću patogenih mikroorganizama koje nisu autohtoni u vodi, a dospjeli su kao onečišćujuće tvari i *Kemijsko i radiološko onečišćenje vode* – koje može biti uzrokovano onečišćujućim tvari-



ma prirodnog podrijetla (sastojci stijena) ili onečišćujućim tvarima antropogenog podrijetla (tvari nastale ljudskom aktivnošću).

Prema definiciji<sup>14,89</sup> otpadne vode su sve potencijalno onečišćene tehnološke, sanitarne, oborinske i druge vode, koje sadrže tekući otpad otopljen ili emulgiran u vodi, odnosno kruti otpad dispergiran u vodi, a potječu iz kućanstava naselja i gradova (uključuju i organski, fekalni otpad), tvornica i industrijskih pogona ili poljoprivrednih djelatnosti. Njihovim ispuštanjem u površinske kopnene vode (potoke, rijeke, jezera) ili more, može se onečistiti ili zagađati, odnosno smanjiti uporabna vrijednost voda u koje dospijevaju. Otpadne vode se razvrstavaju<sup>90</sup> u tri skupine:

- **kućanske otpadne vode** – nastale uporabom sanitarnih trošila vode u kućanstvu, hotelima, uredima, kinima, sportskim dvoranama i objektima, sanitarnim čvorovima za radnike industrijskih pogona;
- **industrijske ili tehnološke otpadne vode** – nastale upotrebom vode u procesu rada i proizvodnje, u industrijskim i drugim proizvodnim pogonima, te rashladne vode, i
- **oborinske otpadne vode** – nastale od oborina koje se više ili manje onečišćuju u dodiru s nižim slojevima atmosfere, površinama tla, krovovima i slično.

Ove tri skupine otpadnih voda uobičajeni su sastav komunalnih otpadnih voda, a njima se mogu priključiti i otpadne vode od pranja javnih prometnih površina i eventualno procjedne vode s odlagališta neopasnog otpada. Na žalost, još uvijek se otpadne vode nerijetko ispuštaju u okoliš bez ikakvog pročišćavanja, kako je prikazano na slici 26.



Slika 26. Nekontrolirano ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda u okoliš<sup>91</sup>



Između velikog broja različitih onečišćujućih tvari koje vodom dospjevaju u okoliš, te se vodnim putovima i šire u okolišu, svakako vrlo važnu ulogu imaju industrijske ili, kako ih još nazivaju tehnološke, otpadne vode.

Svaka djelatnost (industrija, poljoprivreda, obrada otpada, promet, itd.) predstavlja specifičan izvor onečišćujućih tvari koje u okoliš, osim emisijom u zrak, može ispustiti i emisijama u vode i to putem svojih otpadnih voda. Pri tome, pojedine otpadne vode, ovisno iz koje djelatnosti dolaze, mogu sadržavati i vrlo otrovne ili teško razgradive onečišćujuće tvari koje ugrožavaju živi svijet okoliša, a prema svojim izvorima i fizikalno-kemijskim značajkama se mogu razvrstati u više skupina kao što su npr. teški metali, kiselinae, lužine, nafta i naftni derivati, masti i mineralna ulja, radioaktivni izotopi, itd.

S obzirom da su ugljikovodici čest uzrok onečišćenja voda i okoliša uopće, to na naftnoj i petrokemijskoj industriji leži velika odgovornost za rješavanje problema onečišćenja okoliša ovom vrstom onečišćujućih tvari. Onečišćenje voda ugljikovodicima, osim iz proizvodnih postrojenja za preradu nafte, moguć je i samim njenim transportom kao i transportom njenih derivata riječnim ili morskim putovima, što predstavlja svakodnevni rizik za moguća onečišćenja voda<sup>92</sup>.

Dosadašnji slučajevi izlivanja nafte, posebice na moru, izazivali su veliku medijsku pozornost, no ova onečišćenja ne smatraju se i najznačajnijima. Naime, vrlo značajno narušavanje morskog ekosustava događa se i pri svakodnevnim operacijskim i slučajnim onečišćenjima od brodova, posebice tankera. S obzirom na način skladištenja tereta na brodu, njegovom manipuliranju pri prekrcanju, kao i u slučajevima pomorskih havarija, dio tereta može se izliti i dospjeti u more. Pritom dolazi do onečišćivanja uljima i elementima u tragovima, posebno metalima.

Unos onečišćujućih tvari, posebice teških metala, u vode i njihovo širenje u okoliš, moguć je i procjednim vodama iz odlagališta otpada<sup>93</sup>. S obzirom da je još uvijek odvoženje otpada na velika odlagališta najpopularnija metoda gospodarenja otpadom u nas i u svijetu, a mnoga od njih nisu opremljena prikladnim sustavima za suzbijanje emisija štetnih tvari u okoliš, odlagališta otpada predstavljaju značajan izvor onečišćenja okoliša.

Nažalost, otpad i neopasni, a i opasni, još uvijek se ponegdje nekontrolirano odlaže na obale, rukavce rijeka, pa i u same vodotoke, kanale ili napuštene iskope šljunka, pa većinu lokalnih onečišćenja, odnosno onečišćenja na manjim vodotocima izaziva upravo ovakvo odlaganje otpada. Budući da većina postojećih odlagališta otpada uglavnom nisu građena sukladno važećim propisima, dio procjednih voda iz tih odlagališta nekontrolirano završava u okolišu i ugrožava kakvoću voda, što je posebno rizično u krškim područjima.

Osim navedenih djelatnosti i njihovog mogućeg utjecaja na onečišćenje voda, svakako jedno od značajnijih mjesta onečišćenje okoliša otpadnim i procjednim vodama iz poljoprivrede u kojoj se koristi niz različitih sredstava u obliku mineralnih gnojiva, zaštitnih sredstava, poboljšivača tla itd., čiji ostaci nakon razgradnje ili oni sami ako se koriste u prekomjernim količinama, mogu dospjeti u vode i onečistiti ih<sup>94</sup>.

Naime, s poljoprivrednih tala u vode dospijevaju velike količine ostataka pesticida, ostataka mineralnih gnojiva - fosfata i nitrata, različite toksične tekućine iz silosa, gnojovka iz svinjogojskih i peradarskih farmi, mnoštvo farmaceutskih proizvoda – antibiotika, hormonskih preparata, inhibitora rasta i sredstava za dezinfekciju završavaju u vodi, gdje mogu prouzročiti štetu po zdravlje živih niza organizama pa i čovjeka.

### 4.3. Onečišćujuće tvari u vodi i njihovi učinci na zdravlje ljudi

Voda je najvažniji sastojak ljudskog organizma koji od svoga začeca sadrži vrlo veliki udio vode, pa se tako zamacak sastoji od 90% vode, novorođenče od 75%, adolescent 60%, odrasla osoba 57%, te starije osobe 50% vode, što ukazuje na činjenicu da bez vode nema života<sup>83</sup>. Voda je sredstvo u kojem se odvijaju svi metabolički procesi, održava tjelesnu temperaturu, čuva kosu, kožu, ublažava udarce, čini nas radno sposobnima i igra važnu ulogu u detoksikaciji organizma. Bez vode se ne može preživjeti dulje od tjedan dana, a pri ekstremnim temperaturama i kraće, pa stoga je, kako bi naš sustav funkcionirao neizmjenno važno, u organizam unijeti potrebne dnevne količine vode. Prema svim preporukama za dnevni unos, zbog važnosti koju voda ima u našem organizmu, potrebno je popiti 8 čaša vode. Pri ovome se treba imati na umu, da se, prema piramidi unosa tekućine u organizam, voda unosi i u drugim oblicima (hrana, čaj, kava, sokovi, alkohol, itd).

Smanjenje količine vode u tijelu čovjeka od samo 2% može uzrokovati znakove dehidracije, kratkotrajni gubitak pamćenja i poteškoće u koncentraciji.

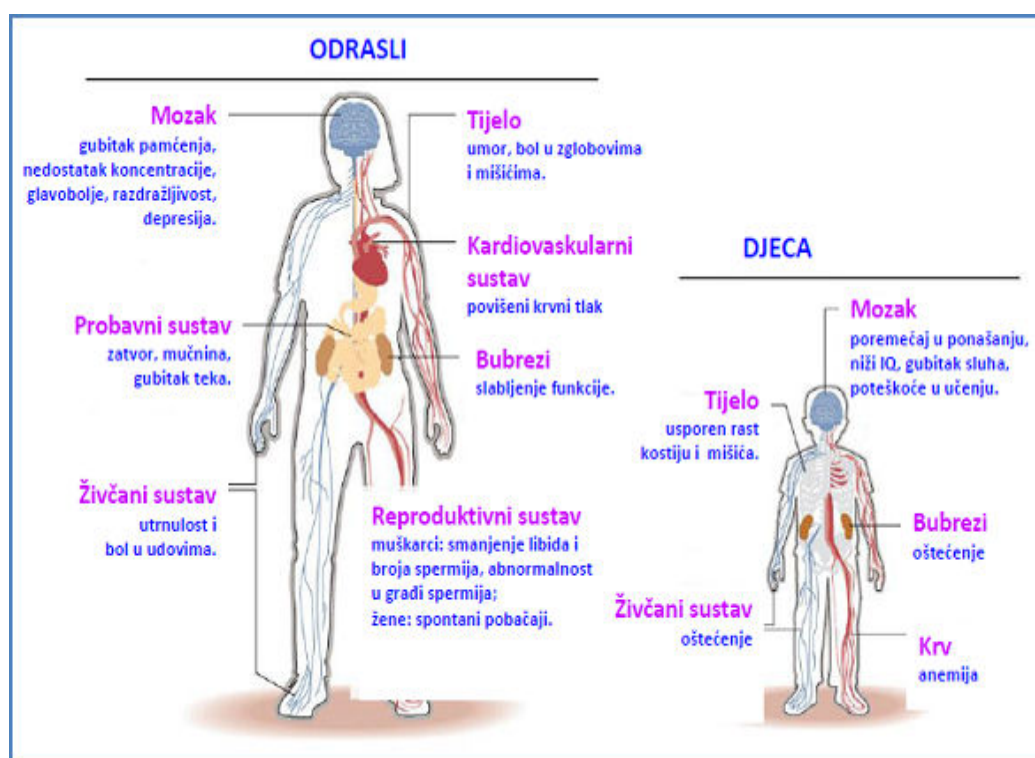
No, nije rijetka pojava da ta ista, prijeko potrebna tekućina, uz sve svoje blagotvorne učinke u sebi krije i brojne opasnosti ako sadrži neželjene tvari štetne po naše zdravlje. Naime, a kako je već i spomenuto, u vodotocima i podzemnoj vodi završava velika količina otpadnih voda iz industrije i poljoprivrede kojima se u okoliš unose metali, ostaci pesticida, lijekovi, kozmetički proizvodi, boje, deterdženti, ulja itd., od kojih je vrlo mali broj razgradljiv dok većinu čine biološki nerazgradive onečišćujuće tvari.

Iako su neke od navedenih onečišćujućih tvari, poput metala, značajan čimbenik u vodenom okolišu, jer u mnogim slučajevima o njima ovisi i bioraznost vodenog ekosustava, njihova prisutnost u povećanim koncentracijama može imati različite toksične učinke na žive organizme u vodi, a posredno i na čovjeka. Gotovo da nema područja, pa tako niti voda, koje ne sadrže teške metale, poput olova, žive i kadmija, koji se najčešće akumuliraju i vrlo toksično djeluju na organizam.

Iako su onečišćujućih tvari, poput metala, značajan čimbenik u vodenom okolišu, jer u mnogim slučajevima o njima ovisi i bioraznost vodenog ekosustava, njihova prisutnost u povećanim koncentracijama može imati različite toksične učinke na žive organizme u vodi, a posredno i na čovjeka. Gotovo da nema područja, pa tako niti voda, koje ne sadr-

že teške metale, poput olova, žive i kadmija, koji se najčešće akumuliraju i vrlo toksično djeluju na organizam.

**Olovo** – je u obliku iona dvovalentnog metala vrlo rasprostranjeno u prirodnim vodama, a najviše koncentracije su zabilježene u podzemnim vodama koje su imale pH vrijednost  $< 5,5$ , dok se u površinskim vodama njegove koncentracije niže i kreću se do oko  $0,05$  mg/L. Olovo je otrov koji se akumulira u kosturu, a toksikološki učinci su mjereni na temelju koncentracije olova u krvi. Olovo je toksično i za centralni i za periferni nervni sustav, izazivajući štetne neurološke učinke i učinke u ponašanju. Štetne učinke izaziva i na reproduktivnom, kardiovaskularnom, imunološkom i gastrointestinalnom sustavu, slika 27.



Slika 27. Učinci na zdravlje pri otrovanju olovom<sup>97</sup>

Rezultati preglednih dugotrajnih epidemioloških studija sugeriraju da prenatalna izlaganja olovu mogu imati rane učinke na mentalni razvoj djece u dobi do 4 godine. Postoje podaci i o utjecaju malih koncentracija olova na pojavu bolesti bubrega, sljepoću, pojavu raka i neurotoksičnog djelovanja na zdravlje ljudi koje mogu imati i smrtne posljedice. Olovo je kumulativni otrov za ljude, a akutno trovanje je vrlo rijetko. Tipični simptomi kod otrovanja olovom su anemija, gastrointestinalne smetnje, osjetljivost i postupna paraliza mišića, mrzovoljnost<sup>95</sup>.

Prema novijim rezultatima istraživanja<sup>96</sup>, utvrđeno je da olovo može biti još opasnije po ljudsko zdravlje nego što se ranije mislilo. Naime, već pri niskim koncentracijama u ljudskom organizmu, osim što oštećuje bubrege, olovo može uzrokovati i povišeni krvni tlak (hipertenziju). Dokazano je da je njegova povezanost s hipertenzijom puno veća od npr. povezanosti hipertenzije s nekim drugim uzročnicima kao što su pušenje, alkohol, ili sol u prehrani.

**Živa** – je kao i olovo, teški metal koji može izazvati vrlo ozbiljne štetne zdravstvene učinke. Ubraja se u anorganske onečišćujuće tvari koja se u okolišu može pojaviti iz prirodnih izvora kao što su erupcije vulkana, erozija tla te bakterijske razgradnje organskih živinih spojeva. Najznačajniji antropogeni izvori žive su spalionice komunalnog otpada, ložišta na fosilna goriva, pogoni elektrolize gdje se živa koristi kao elektroda, itd., iz kojih može dospjeti u sustave za snabdijevanje vodom.

Temeljni problem onečišćenja vode živom je u tome što se njezini organometalni spojevi mogu nakupljati i metabolizirati u biosferi, a što vrlo dobro ilustrira najpoznatiji slučaj masovnog otrovanja živom putem vodenog ekosustava koji se dogodio u zaljevu Minamata, u Japanu<sup>98,99</sup>.

U nižim koncentracijama, živa u ljudskom organizmu može uzrokovati poremećaje rada bubrega i živčanog sustava. Dugotrajna izloženost živi može imati za posljedicu trajno oštećenje mozga, bubrega ili izazvati štetne učinke na razvoj fetusa.

**Arsen** – se u podzemnim i površinskim vodama najčešće pojavljuje u obliku svojih anorganskih spojeva koji su kancerogeni pa su više opasni za organizam od njegovih organskih spojeva. U vodu dopijeva kao posljedica prirodnih erozijskih procesa, ali i sa jalovišta rudnika, odlagališta otpada farmaceutske industrije, industrije boja i pesticida<sup>100</sup>. Arsen je kancerogen, šteti srcu, plućima, želucu, jetri i bubrežima, a negativne učinke ima na živčani sustav.

Naime, akutno trovanje arsenom dovodi do promjena u središnjem živčanom sustavu, gastrointestinalnom i respiratornom sustavu kao i na koži, može izazvati komu, a u koncentraciji od 70-180 mg/L dovodi do smrti. Kronično trovanje arsenom, manifestira se općom mišićnom slabošću, gubitkom apetita, mučninom i promjenama na koži. Pri trovanju kože pojavljuju se znakovi hiperpigmentacije kože, zadebljanja gornjeg sloja kože (hiperkeratoza), upalom perifernih živaca (polineuritis). Kronična trovanja arsenom se uglavnom javljaju kod visoke profesionalne izloženosti arsenu ili kod stanovništva koje dugo koristi vodu za piće sa visokim koncentracijama arsena.

Arsen u organizmu čovjeka može poprimiti i druge oblike štetnih učinaka na zdravlje kao što je jedna vrsta diabetesa s karakterističnom trajnom hiperglikemijom i nizom drugih poremećaja (komplikacije s očima, bubrežima, žilama i krvnim žilama). Pri koncentraciji arsena u vodi za piće višoj od 100 g/L, arsen uzrokuje ishemiju srca, povišeni krvni tlak ili karcinom kože, pluća i unutrašnjih organa (mokraćnog mjehura, bubrega, jetre)<sup>101</sup>.

**Ugljikovodici** – se također nalaze među onečišćujućim tvarima koje vodama dospijevaju u okoliš. Oni se iz različitih antropogenih izvora ispuštaju u otpadne vode, pa njima u vodotoke, ili pak izlivanjem u incidentnim situacijama dospijevaju na tlo pa otuda u površinske i podzemne vode. Ovi spojevi kada uđu u okoliš, u njemu ostavljaju tragove svoga štetnog djelovanja na različite načine, od samog nagomilavanja na površini vode, npr. izlivanje nafte u more, pri čemu svojim fizikalnim svojstvima ugrožava floru i faunu jer sprječava fotosintezu, disanje i hranjenje, pa do ulaska u hranidbeni lanac i pojave štetnih učinaka na čovjeka.

Negativni učinci ugljikovodika na čovjekov organizam su raznorodni i ovisni o mnogo različitih čimbenika, no ono što je najznačajnije jesu njihova mutagena i kancerogena svojstva, pa se mora posvetiti dužna pozornost njihovoj ulozi, pogotovo kad se njihova prisutnost utvrdi u blizini vodocrpilišta. Dokazivanje veze između raka u ljudi i stupnja zagađenja voda je vrlo složeno i izaziva mnoge troškove, stoga su bez obzira na već postignute rezultate, ova istraživanja kontinuirano provode, kako bi se mogao procijeniti pravi rizik od ovih onečišćujućih tvari kako za slatkovodne zajednice, tako i za ljude.

Gutanje ugljikovodika kod čovjeka može uzrokovati mučninu, povraćanje, te grčeve u trbuhu i jake proljeve, a dugotrajni kontakt s onečišćenom vodom na koži može izazvati iritaciju ili pojavu dermatitisa zbog preosjetljivosti<sup>102</sup>. Tako npr. *toluen* može izazvati crvenilo na koži, povraćanje ili oštećenje pluća, dok *benzen* nadražuje kožu i oči uz izazivanje crvenila i žarenja. Veliki problem predstavljaju učinci *benzena* prilikom dugotrajnog izlaganja ljudi ovom ugljikovodiku, jer on može izazvati pojavu leukemije i raka na plućima ili koži. Za okoliš i namirnice, uključujući i vodu, postoje vrlo stroge granice za koncentraciju benzena, pa tako npr. u pitkoj vodi, a prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju*<sup>103</sup>, koncentracije benzena ne smiju prijeći 1,0 µg/ L, dok je za benzo(a)piren granica u pitkoj vodi i puno niža tj. 0,010 µg/ L.

**Nitrati** – kao vrlo značajne onečišćujuće tvari u vodi, pobuđuju veliki interes svih stručnjaka koji se bave kako zaštitom okoliša, tako i zaštitom ljudskog zdravlja, jer mogu izazvati vrlo štetne zdravstvene učinke. Najvećim izvorom nitrata u vodi smatraju se mineralna gnojiva sa ratarskih površina i manjim dijelom stajsko gnojivo koje se još uvijek koristi pri obradi naših polja, ili pak neadekvatno izgrađene septičke jame. No, s obzirom na ukupne udjele i vrlo laku distribuciju u vodi, najvažniji i daleko najopasniji izvor nitrata upravo je gnojidba mineralnim gnojivima. Naime, kako su nitrati jako topljivi u oborinskoj vodi, a nemaju sposobnost vezanja na adsorpcijski kompleks tla, jako su pokretljivi i ispiru se u dublje slojeve tla dospijevajući tako u pitke podzemne vode<sup>104,105</sup>.

Unos nitratnih iona (NO<sup>3-</sup>) probavnim sustavom povezan je s ubrzanjem rasta bakterijske flore, koja nitrate prevodi u nitrite, a ovi s aminima formiraju nitrozo-spojeve čija je kancerogenost nedvojbeno dokazana. Premda je unos nitrata i nitrita u organizam normalna pojava, jer ih sadržava hrana, njihova prekomjerna količina u organizmu može izazvati neželjene posljedice po zdravlje. Zbog toga Svjetska zdravstvena organizacija preporuča granicu dopuštenog unosa nitrata u organizam čovjeka, a koja iznosi 5 mg/kg tjelesne težine,

dok je za nitrite ekvivalentna doza 0,4 mg/kg. Prema trenutno važećim propisima<sup>102</sup> u RH, najveća dozvoljena koncentracija (MDK) nitrata u pitkoj vodi iznosi 50 mg/L, dok preporučena vrijednost<sup>106</sup> za nitrata u pitkoj vodi EU iznosi 25 mg/L NO<sup>3-</sup>.

Nitrati i nitriti u organizmu prevode željezo hemoglobina u oksidirani oblik uzrokujući pojavu methemoglobinemije pri čemu methemoglobin ne može prenositi kisik ili ugljikov dioksid, pa se smanjuje prijenos kisika u stanice. Osim formiranja methemoglobina, nitrati i nitriti mogu izazvati i druge učinke koji, uz methemoglobinemiju mogu dovesti do težih stanja bolesnika.

**Pesticidi** – su zajedno s mineralnim gnojivima tijekom prošlog stoljeća, postali najtraženiji proizvodi za primjenu u poljoprivredi, a njihova *popularnost* se ogledala u sposobnosti rješavanja različitih štetnika pri uzgoju bilja i životinja. No, štetnici su postupno razvijali otpornost na pesticide te prisiljavali poljoprivrednike na posezanje za novim kemijskim formulacijama, što je vrlo brzo dovelo do onečišćenja, pa čak i ugrožavanja okoliša.

Prisutnost pesticida u okolišu, utvrđena je najprije u površinskim i podzemnim vodama, što je i dovelo do prvih zabilježenih štetnih učinaka na zdravlje ljudi. S obzirom na relativno veliku rasprostranjenost ovih onečišćujućih tvari u okolišu, njihovog štetnog učinka nije mogao biti pošteđen niti biljni niti životinjski svijet. Podaci o sadržaju organoklorovih pesticida u površinskim i podzemnim vodama u Republici hrvatskoj počeli su se prikupljati još u kasnim sedamdesetim godinama prošlog stoljeća. Tada je u podzemnim vodama, kao potencijalnim izvorima pitke vode, na nekoliko lokacija u istočnoj Slavoniji i Istri, utvrđena prisutnost spojeva poput  $\gamma$ -heksaklorocikloheksana ( $\gamma$ -HCH), DDT-a i njegovih metabolita, heksaklorobenzena (HCB), itd<sup>107</sup>. Kasnijim istraživanjima<sup>108,109</sup> utvrđena je pojava pesticida i u dalmatinskim rijekama, a najviše koncentracije ovih spojeva izmjerene su u rijekama kontinentalne Hrvatske (Sava, Drava, Korana, Dobra i Kupa).

Ovim istraživanjima je ponekad utvrđena i povezanost prisutnosti ovih spojeva u pitkoj vodi s njihovim sadržajima u rijekama iz kojih se vode za piće i dobivaju. Tako je npr. učestalost pojavljivanja pesticida npr. u vodovodnoj vodi grada Siska bila tijekom 1988./89. slična onoj u vodi rijeke Kupe iz koje je obradom pitka voda za stanovništvo Siska i pripremljena<sup>110</sup>.

S obzirom na svoju toksičnost, pesticidi imaju štetne učinke na zdravlje ljudi, a zavisno od vrste pesticida i količine unijete u organizam, simptomi trovanja mogu biti vrlo različiti. Bez obzira na način unosa pesticida u ljudski organizam (vodom, hranom, udisanjem), klinička slika je slična. U početku se javljaju poremećaji disanja, probave i neurološki poremećaji što je posljedica izravnog djelovanja aktivne tvari. Prilikom trovanja preko kože ponekad se javlja žuta boja zbog oštećenja jetre, koja ponekad može završiti i smrću. Smrtni ishodi zapažaju se najčešće pri akcidentalnoj ingestiji, a rjeđe kao posljedica inhalacije. U obadva slučaja neposredan uzrok smrti su prestanak funkcije vitalnih centara u vidu paralize centara za disanje, asistolije i edema pluća. Vrlo česte popratne pojave trovanja s ovim spojevima, a posebno kod trovanja organofosforovim spojevima su: suženje

vida, pojačano lučenje slina, otežano i nepravilno disanje, mučnina, proljevi, kratkotrajni porast krvnog tlaka, opća fizička slabost, brzo zamaranje, vrtoglavica, nervoza, koma, prestanak disanja<sup>111</sup>.

#### 4.4. Razvrstavanje i monitoring voda u Republici Hrvatskoj

Obnovljivi izvori vode u Republici Hrvatskoj iznose oko 45 milijardi m<sup>3</sup> godišnje ili 9.500 m<sup>3</sup> po stanovniku, što nas svrstava među vodom bogatije zemlje Europe. Raspoložive obnovljive količine površinskih voda iznose 39 milijardi m<sup>3</sup> na godinu<sup>112</sup>. Veći broj naših rijeka, uključujući i podzemne vode, imaju u velikoj mjeri prekogranični karakter zbog čega su svi postupci s tim vodama, koje se odnose na regulaciju njihovog vodnog režima, zaštitu kakvoće i režim korištenja, povezane i imaju dijelom posljedice i uzroke u susjednim zemljama. Kako bi se u slučaju pojave onečišćenja voda, zaustavilo daljnje širenje utvrđenih onečišćujućih tvari u okoliš, nužno je stalno nadzirati - motriti kvalitetu svih voda u RH.

S obzirom da Okvirna direktiva o vodama<sup>113</sup> kao krovna vodna direktiva Europske unije značajan naglasak stavlja na uvođenje ekoloških mjerila i okvira, odnosno klasifikaciju voda s obzirom na ekološko stanje, to se i u RH klasifikacija površinskih voda određuje na temelju ekološkog stanja i kemijskog stanja voda. Ovo je posebno značajno za izradu mjera za popravak kakvoća voda naših vodotoka ili održavanjem postojeće kakvoće, što je uređeno nizom propisa. Tako uz temeljni *Zakon o vodama*<sup>14</sup> na snazi je *Državni plan za zaštitu voda*<sup>14</sup> kojim se u površinske recipijente - vodotoke i more dozvoljava ispuštanje isključivo pročišćenih otpadnih voda, a potrebni stupanj pročišćavanja ovisi o tzv. kategoriji recipijenta odnosno vrsti u koju pripada, a što je uređeno *Uredbom o standardu kakvoće voda*<sup>17</sup>.

##### 4.4.1 Standard kakvoće voda u Republici Hrvatskoj

Standard kakvoće voda u Republici Hrvatskoj propisan je *Uredbom o standardu kakvoće voda*<sup>17</sup> i to za površinske vode, uključivo i priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode. Ovom uredbom su propisani i posebni ciljevi zaštite voda, kao i kriteriji za njihovo utvrđivanje, elementi za ocjenjivanje stanja voda, monitoring stanja voda i način izvještavanje o stanju voda.

Ova Uredba se ne primjenjuje na vode namijenjene ljudskoj potrošnji, osim voda u tijelima površinskih i podzemnih voda za ljudsku potrošnju koje osiguravaju u prosjeku više od 10 m<sup>3</sup> vode na dan ili opskrbljuje više od 50 ljudi, te na prirodne mineralne, prirodne izvorske i stolne vode koje se stavljaju na tržište u bocama i drugoj ambalaži.



Donošenjem ove Uredbe, u pravni poredak Republike Hrvatske prenesen je dio europske pravne stečevine i svih direktiva relevantnih za pitanja o standardima kvalitete okoliša u području vodne politike.

**Površinske vode** – Stanje površinskih voda određuje se na temelju ekološkog i kemijskog stanja tijela ili skupine tijela površinskih voda. Pod pojmom *tijelo površinske vode* podrazumijeva se jasno određen i značajan element površinske vode, kao što je jezero, akumulacija, potok, rijeka ili kanal, dio potoka, rijeke ili kanala, prijelazne vode ili pojasa priobalne vode. Površinske vode se razvrstavaju na temelju ekološkog stanja (relevantnih bioloških, fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće) i kemijskog stanja (na temelju prioriternih i drugih onečišćujućih tvari).

Ekološko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na biološke (sastav i brojnost vodene flore, sastav, brojnost i starosna struktura riba, itd.), hidromorfološke (količina i dinamika vodnoga toka, širine i dubine rijeke itd.) i osnovne fizikalno-kemijske i kemijske elemente (temperatura, režim kisika, pH, specifične onečišćujuće tvari npr. As, Cu, Zn, Cr i njihove spojeve itd.).

Površinske vode razvrstavaju se na temelju rezultata ocjene elemenata kakvoće u kategorije ekološkog stanja i to kao:

- vrlo dobro ekološko stanje,
- dobro ekološko stanje,
- umjereno ekološko stanje,
- loše ekološko stanje,
- vrlo loše ekološko stanje.

Kemijsko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na pokazatelje kemijskog stanja navedene u popis prioriternih onečišćujućih tvari poput kadmija i njegovih spojeva, žive i njezinih spojeva, atrazina, benzena, itd.

Površinske vode razvrstavaju se na temelju rezultata ocjene elemenata kakvoće u kategorije kemijskog stanja i to:

- dobro kemijsko stanje,
- nije postignuto dobro kemijsko stanje.

Stanje površinskih voda određuje se na temelju njihovog ekološkog ili kemijskog stanja, ovisno o tome koje je lošije, pri čemu se stanje površinske vode smatra dobrim ako ima vrlo dobro ili dobro ekološko stanje odnosno ima dobro kemijsko stanje.

Površinska voda nije u dobrom stanju ako ima umjereno, loše ili vrlo loše ekološko stanje i/ili nije postignuto dobro kemijsko stanje. Stanje površinskih voda prikazuje se na kartama odgovarajućom bojom i to: vrlo dobro stanje - plavom, dobro stanje - zelenom, umjereno stanje - žutom, loše stanje – narančastom i vrlo loše stanje - crvenom.

Ekološko stanje površinskih voda određuje se na temelju rezultata monitoringa bioloških elemenata kakvoće te hidromorfoloških, osnovnih fizikalno-kemijskih i kemijskih elemenata, koji prate biološke elemente.



Ocjena ekološkog stanja određuje se na temelju lošije vrijednosti, uzimajući u obzir vrijednosti rezultata ocjene prema biološkim elementima te osnovnim fizikalno-kemijskim i kemijskim elementima, koji prate biološke elemente. Kada se za određeno tijelo površinske vode kaže da je u vrlo dobrom ekološkom stanju, to stanje se dodatno provjerava u odnosu na hidromorfološke elemente koji prate biološke elemente.

Ekološko stanje prikazuje se na kartama odgovarajućom bojom i to: vrlo dobro ekološko stanje - plavom, dobro ekološko stanje - zelenom, umjereno ekološko stanje - žutom, loše ekološko stanje – narančastom i vrlo loše ekološko stanje – crvenom bojom

Ocjena stanja površinskih voda na temelju bioloških elemenata određuje se prema najlošijem ocijenjenom biološkom elementu i prikazuje se na kartama odgovarajućom bojom i to: vrlo dobro stanje - plavom, dobro stanje - zelenom, umjereno stanje - žutom, loše stanje - narančastom i vrlo loše stanje – crvenom bojom.

Ocjena stanja površinskih voda na temelju hidromorfoloških elemenata koji prate biološke elemente određuje se prema prosječnoj vrijednosti ocjena tih elemenata, a stanje se prikazuje na kartama odgovarajućom bojom i to: vrlo dobro stanje - plavom, dobro stanje - zelenom, umjereno stanje - žutom, loše stanje - narančastom i vrlo loše stanje – crvenom bojom.

Ocjena stanja površinskih voda na temelju osnovnih fizikalno-kemijskih i kemijskih elemenata koji prate biološke elemente, određuje se najlošijom od vrijednosti rezultata ocjene pokazatelja, a stanje se prikazuje na kartama odgovarajućom bojom i to: vrlo dobro stanje - plavom, dobro stanje – zelenom i umjereno stanje – žutom bojom.

Kemijsko stanje površinskih voda određuje se na temelju rezultata monitoringa pokazatelja kemijskog stanja, a ocjena kemijskog stanja određuje se najlošijom od vrijednosti rezultata, uzimajući u obzir rezultate ocjene pokazatelja kemijskog stanja.

Kemijsko stanje površinskih voda se također prikazuje na kartama odgovarajućom bojom i to: dobro kemijsko stanje - plavom, a površinska voda kod koje nije postignuto dobro kemijsko stanje – označava se crvenom bojom.

**Podzemne vode** – Stanje podzemnih voda određuje se na temelju količinskog i kemijskog stanja tijela podzemnih voda, a elementi za ocjenu količinskog i kemijskog stanja tijela podzemnih voda su:

- za količinsko stanje: razina podzemne vode i izdašnost;
- za kemijsko stanje: električna vodljivost, otopljeni kisik, pH vrijednost, te onečišćujuće tvari – nitrati, amonij, specifične onečišćujuće tvari.

Podzemne vode razvrstavaju se na temelju rezultata ocjene elemenata kakvoće u kategorije stanja i to: dobro stanje i loše stanje.

Ovdje je važno napomenuti da *dobro količinsko stanje* ima svako tijelo podzemne vode kada se njegov raspoloživi resurs ne smanjuje uz dugoročnu godišnju količinu crpljenja, a razina podzemne vode nije pod utjecajem antropogenih aktivnosti koje bi mogle

dovesti do značajnog pogoršanja stanja tih voda; bilo kakve značajnije štete po kopnene ekosustave ovisne o podzemnoj vodi, itd.

*Dobro kemijsko stanje* ima svaka podzemna voda kojoj je kemijski sastav takav da koncentracije onečišćujućih tvari: – ne pokazuju utjecaje prodora slane vode, ili drugih prodora, – ne prelaze granice standarda kakvoće koje se odnose na zaštićena područja, – nisu takve da bi mogle dovesti do značajnog smanjenja ekološke ili kemijske kakvoće tih voda, kao ni značajnije štete u obalnom ekosustavu.

Stanje tijela podzemne vode određuje se na temelju rezultata monitoringa stanja podzemnih voda, a ocjenjuje se u odnosu na kemijsko i količinsko stanje ovisno o tome koje je lošije i prikazuje na karti odgovarajućom bojom i to: dobro stanje - zelenom, a loše stanje – crvenom bojom.

Količinsko stanje podzemnih voda klasificira se u kategorije količinskog stanja i prikazuje se na karti, također koristeći se odgovarajućom bojom i to: dobro količinsko stanje - zelenom, loše količinsko stanje – crvenom bojom.

Kemijsko stanje podzemnih voda klasificira se u kategorije kemijskog stanja i prikazuje se na karti odgovarajućom bojom i to: dobro kemijsko stanje - zelenom, a kad nije postignuto dobro kemijsko stanje – tada se tijelo takve podzemne vode označava crvenom bojom.

#### 4.4.2 Monitoring voda u Republici Hrvatskoj

Sukladno *Zakonu o vodama*, nadzor nad stanjem površinskih, uključivo i priobalnih voda te podzemnih voda provodi se i sustavnim praćenjem stanja voda (monitoring) u svrhu utvrđivanja dugoročnih promjena (nadzorni monitoring), utvrđivanja promjena uslijed provođenja mjera na područjima za koja je utvrđeno da ne ispunjavaju uvjete za dobro stanje (operativni monitoring) i utvrđivanje nepoznatih odnosa (istraživački monitoring).

Monitoring obuhvaća pokazatelje potrebne da se utvrdi zapremnina, razina, protok, brzina, hidromorfološke značajke, ekološko i kemijsko stanje i ekološki potencijal za površinske vode, ekološko i kemijsko stanje i ekološki potencijal za priobalne vode, kemijsko stanje za vode teritorijalnoga mora i količinsko i kemijsko stanje za podzemne vode.

*Uredbom o standardu kakvoće voda*<sup>17</sup> je propisano da monitoring stanja površinskih voda provode Hrvatske vode prema planu monitoringa, a koji obuhvaća:

- uzorkovanje i ispitivanje voda na pokazatelje potrebne za utvrđivanje ekološkog i kemijskog stanja ili ekološkog potencijala površinskih voda;
- hidrološka mjerenja u mjeri odgovarajućoj za određivanje ekološkog i kemijskog stanja ili ekološkog potencijala.

Plan monitoringa temelji se na rezultatima ocjene stanja površinskih voda i analizama značajki vodnoga područja. Monitoring stanja površinskih voda provodi se kao nadzorni i operativni monitoringa, a prema potrebi i kao istraživački monitoring.

Za obavljanje monitoringa stanja površinskih voda uspostavlja se mreža mjernih postaja i to na način da osigurava cjelovit pregled ekološkog i kemijskog stanja površin-

skih voda vodnoga područja, omogućiti određivanje kemijskog stanja kao i razvrstavanje tijela površinskih voda.

U Republici Hrvatskoj se sustavno motri stanje voda na oko 320 mjernih postaja za površinske i na oko 200 mjernih postaja za podzemne vode. Standardi za određivanje kakvoće površinskih, uključujući prijelazne i priobalne vode, te podzemnih voda propisani su *Uredbom o standardu kakvoće voda*<sup>17</sup> donesenom na temelju *Zakona o vodama*<sup>14</sup> i primjenjuje se na rezultate motrenja (monitoringa) od 2011. godine.

Rezultati motrenja kakvoće površinskih i podzemnih voda prikupljaju se u svrhu ocjene stanja vodnih dobara i razvrstavanja u odgovarajuću kategoriju te, uz analizu utjecaja, u svrhu procjene rizika da određeno vodno dobro neće postići ili zadržati dobro stanje u skladu sa ciljevima zaštite vodnoga blaga. Postupci ocjene stanja vodnih dobara i procjene rizika koriste se pri planiranju mjera zaštite radi postizanja ciljeva zaštite vodnoga blaga. Osim navedenoga, prikupljeni podaci, u različitim oblicima izvješća, distribuiraju se dionicima na različitim razinama, od građana u lokalnoj samoupravi do nadležnih institucija Europske unije.

Kako je prikupljanje i nadzor rezultata godišnjih motrenja kakvoće površinskih i podzemnih voda vrlo važan segment u provedbi monitoringa, poduzeće *Hrvatske vode* izrađuju i održavaju bazu podataka, a prikupljene podatke koriste za izvješćivanje.

#### **4.5. Opskrba vodom za piće u Republici Hrvatskoj**

Nažalost, danas u svijetu je još uvijek nedostatak vode i nehigijenski uvjeti života, uzrok oboljenja i/ili smrti oko 2,5 milijarde ljudi, posebno djece. Ovo se odnosi prije svega na nerazvijene zemlje, dok se istovremeno i u razvijenim zemljama, pridaje dovoljna pozornost problemima onečišćavanja površinskih i podzemnih voda i njihove zaštite.

U Republici hrvatskoj smo suočeni s činjenicom da standardima vode za piće uglavnom odgovaraju samo vode velikih regionalnih i gradskih vodovoda. Sve ostale vode su stalno ili povremeno zdravstveno neispravne sa znatnim odstupanjima od propisanih standarda, naročito što se tiče osnovnih pokazatelja zdravstvene ispravnosti, a to je mikrobiološka čistoća.

Poseban problem u Hrvatskoj predstavlja nastojanje da se vodoopskrba u manjim i/ili ruralnim sredinama rješava izgradnjom lokalnih vodovoda koja nije planska, obično ne zadovoljava tehničke uvjete, a u izgradnji takvih vodovoda prevladavaju ekonomski, a ne zdravstveni interesi. Dodatni je problem izgradnja vodoopskrbnih objekata bez odgovarajuće tehničke dokumentacije i dozvola, a obično nema niti titulara vlasništva takvih objekata. Ako se tome doda dugogodišnje slabo ili potpuno neodržavanje, neodgovarajuća zaštita izvorišta ili nepravilna dezinfekcija vode, koja često potpuno izostaje, onda jedino bolji nadzor i inzistiranje na poštivanju postojećih propisa može dovesti do poboljšanja stanja takvih vodoopskrbnih objekata i sigurnosti po zdravlje potrošača<sup>115</sup>.

Općenito se može reći da je upravljanje vodama u RH više orijentirano prema potrošnji, a manje prema zaštiti vode u prirodi, te bi voda trebala biti tretirana jednako kao i druga ekonomska dobra (energenti). Stoga se upravljanje vodama mora temeljiti na principima održivog razvoja, kako bi se voda i njeni izvori mogli pravilno iskoristiti i zaštititi.

Trenutno osnovni problem u upravljanju vodnim resursima iz kojih se crpi voda za piće je nedostatna zaštita od štetnih utjecaja koji putem otpadnih voda ili drugih onečišćujućih tvari dopijevaju u tlo, a potom i u podzemne vode.

Na cjelokupnom području, a u cilju dugoročnog osiguranja vode za potrebe javne vodoopskrbe, su *Strategijom upravljanja vodama*<sup>116</sup> definirana posebno zaštićena područja na kojima se nalaze određene strateške zalihe podzemnih voda, a za koje bi trebalo posebne mjere zaštite regulirati kroz provedbene propise. Pri tome je potrebno provesti dodatne analize, odrediti iskorištavanje obnovljivih zaliha podzemnih voda te ograničiti korištenje na vodnim tijelima na kojima opterećenje na vodni resurs može ugroziti dobro količinsko stanje.

Prema posljednjim dostupnim podacima<sup>117</sup> u razdoblju 2009-2012, udio priključenosti stanovništva na sustave javne vodoopskrbe povećan je s 80% na 82% u odnosu na prethodno razdoblje, dok je priključenost stanovništva na sustave javne odvodnje bila oko 46%. Tijekom 2012. godine bilo je 117 funkcionalnih uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. Potpuna provedba obaveza preuzetih iz europskih direktiva zahtjeva značajna financijska sredstva i ulaganja, osobito vezano uz ispunjenje zahtjeva vodno-komunalnih direktiva. U izvještajnom razdoblju zabilježen je povećan broj značajnih poplavnih događaja.

#### 4.5.1 Javna vodoopskrba i javna odvodnja

Djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje obavljaju se kao javna služba. Djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje od interesa su za jedinice lokalne samouprave na uslužnom području. Jedinice lokalne samouprave su dužne osigurati obavljanje djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje. Jedinice područne (regionalne) samouprave imaju u djelatnostima javne vodoopskrbe i javne odvodnje ovlasti i obveze propisane Zakonom o vodama.

Ove djelatnosti u Republici Hrvatskoj obavljaju javni isporučitelji vodne usluge. Iznimno, jedinice lokalne samouprave mogu drugim pravnim, odnosno fizičkim osobama dati koncesiju sukladno odredbama *Zakona o vodama* u dijelu koji se odnosi na pročišćavanje otpadnih voda.

Upravljanje vodama u Republici Hrvatskoj radi zaštite života, zdravlja i imovine od štetnog djelovanja voda, te radi osiguranja trajne dostupnosti voda putem optimiziranja ekonomskih i ekoloških koristi na načelima održivoga razvitka, u nadležnosti je poduzeća *Hrvatske vode*. Ovo poduzeće je ima zadaću gospodariti vodama poštujući najviše standarde kvalitete, koristeći suvremene znanstvene i empirijske tehnologije i metode koje su

utemeljene na načelima održivog razvoja, a kojima se ostvaruju postavljeni ciljevi očuvanja vode i zaštite od voda te razvijanje svijesti o vodi kao strateškom resursu.

Prema podacima Hrvatskih voda<sup>118</sup> tijekom 2013. godine u Hrvatskoj je ukupno 156 isporučitelja vodnih usluga bilo nadležno za organiziranje usluga javne vodoopskrbe i odvodnje, od čega 140 za usluge javne vodoopskrbe ili vodoopskrbe i odvodnje, te 16 za usluge javne odvodnje. Prostorna pokrivenost te godine iznosila je 95% kopnenog teritorija države na kojem živi 99% stanovništva, a tumači se kao područje na kom isporučitelj vodnih usluga pružao usluge ili skrbio o području.

Opskrbom vode bavio se i veći broj lokalnih vodovoda, pojedinačno opskrbljujući od približno 50 do 3.500 stanovnika, a informacije o njihovom broju i obimu isporuke prikupljene su u okviru plana monitoringa zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju, kojeg provodi Hrvatski zavod za javno zdravstvo (HZJZ). Broj lokalnih vodovoda se s godinama bitno nije mijenjao, međutim smanjivala se je veličina područja kojeg pokrivaju na račun priključenja stanovništva na javne vodoopskrbe sustave.

**Vodoopskrba** – Sustavi javne vodoopskrbe tijekom 2013. crpili su vodu s 589 vodočpilišta, a stupanj pokrivenosti uslugom javne vodoopskrbe (udio stanovništva koje ima mogućnost priključka na sustav javne vodoopskrbe) na razini Republike Hrvatske iznosio je u prosjeku 93%. Prema dostupnim podacima<sup>119</sup>, na sustave javne vodoopskrbe priključeno je 3,28 milijuna stanovnika, a učinkovitost korištenja vode, u posljednjih nekoliko godina iznosi oko 56%. To upućuje na velike gubitke vode u vodoopskrbnom sustavu, koji iznose u prosjeku 40%. Strateški je cilj postupno smanjivanje gubitaka na prihvatljivu razinu od 15%. Podzemne vode čine oko 90% voda zahvaćenih za javnu vodoopskrbu, što posebno naglašava važnost zaštite podzemnih voda. Smanjene gubitaka važno je zbog očuvanja prirodnih resursa.

Isporučitelji vodnih usluga su tijekom 2013., prema podacima Državnog zavoda za statistiku<sup>120</sup>, isporučili 352 mil. m<sup>3</sup> vode, što je porast od 13% u odnosu na 2005. kada je značajnije počela rasti količina isporučene vode.

Stupanj priključenosti tj. udio stanovništva priključenog na sustav javne vodoopskrbe, bio je nešto niži i bio je procijenjen na oko 84%. Pri ovome je važno napomenuti da postoje određene razlike u razini pokrivenosti među županijama, a osobito među gradovima i općinama. Manji udjeli stanovništva pokrivenih uslugama javne vodoopskrbe karakteriziraju naselja s manjim brojem stanovnika.

Tijekom 2013., kao i ranijih godina, dio stanovništva je spojen na lokalne sustave vodoopskrbe te se njihov udio kontinuirano smanjuje iz godine u godinu, s obzirom da raste njihovo priključenje na sustave javne vodoopskrbe.

Još uvijek, oko 12% stanovništva RH opskrbu vodom rješava individualnim rješenjima. Ispravnost vode za piće na javnim i lokalnim vodoopskrbnim sustavima prati HZJZ, temeljem monitoringa izvorišta vode za piće i monitoringa zdravstvene ispravnosti vode za piće iz razvodne mreže, čija je provedba definirana važećim propisima.

Rezultati monitoringa<sup>121</sup> izvorišta vode za piće ukazuju na podatak da od ukupno uzetih 1027 uzoraka tijekom 2013. godine nešto iznad 65 % je bilo neispravnih tj. nisu odgovarali zbog jednog ili više pokazatelja prema tada važećim propisima.

Najčešći razlog neodgovaranju bilo je mikrobiološko onečišćenje sirove vode. Onečišćenje sirove vode u fizikalno - kemijskom pogledu razlikovalo se od regije do regije. Povišena mutnoća u dvanaest županija, amonijak u sedam županija, željezo u deset županija, mangan sedam županija, a nitrati u tri županija bili su razlogom neispravnosti.

Najčešći uzrok kemijske neispravnosti odnosio se je na fizikalna svojstva vode, prisutnost olova, organske tvari, nitrita, mineralnih ulja, sulfata, klorida, natrija, kalija, fluorida, aluminijska. Razlog sporadičnom pojavljivanju ovih onečišćujućih tvari bila je uglavnom pod utjecajem morske vode i pomanjkanju zona sanitarne zaštite.

**Javna odvodnja** – Svakom upotrebom vode koju koristi stanovništvo putem vodoopskrbnih sustava, dolazi do promjene njezinih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava, te nastaju otpadne vode koje je potrebno prikupiti, pročititi do određene razine i ispustiti u vodno tijelo koje je prijemnik.

Isporučitelji vodnih usluga su prema podacima Državnog zavoda za statistiku<sup>120</sup> izvijestili o 393 mil. m<sup>3</sup> prikupljene otpadne vode, što je porast od 22% u odnosu na 2008. kada je značajnije počela rasti količina otpadnih voda koja se prikuplja javnim sustavima odvodnje. Udio otpadnih voda iz kućanstva u ukupnoj otpadnoj vodi iznosio je oko 40%. Rast ukupnih količina prikupljenih otpadnih voda prati i rast udjela vode koja se pročišćava i iznosi oko 77% od prikupljenih voda.

Stupanj pokrivenosti uslugom javne odvodnje na razini RH prema podacima<sup>118</sup> iz 2012. iznosio je u prosjeku 47%, što i dalje upozorava na zaostatak razvijenosti usluga javne odvodnje u odnosu na usluge javne vodoopskrbe. Međutim, kao i kod vodoopskrbe znatne su razlike u razini pokrivenosti sustavima odvodnje među županijama, a osobito među gradovima i općinama. Veći udjeli stanovništva pokrivenih uslugama javne vodoopskrbe karakteriziraju naselja s većim brojem stanovnika.

## 5. ONEČIŠĆENJE TLA

Za razliku od drugih sastavnica tzv. *ekološke trijade* (vode i zraka) u okviru dosadašnjih istraživanja procesa narušavanja ravnoteže u okolišu, njegovog onečišćenja i utjecaja na zdravlje ljudi, tlu se nije pridavala jednaka pozornost kao vodi i zraku, iako su podjednako važni za opstanak života na Zemlji. Tlu se naime, oduvijek prilazilo s predrasudom da je samo po sebi *prljavo*, te kao takvo otporno na mnogobrojne onečišćujuće tvari, te da je raspoloživi fond tala neiscrpno velik. Tek u posljednje vrijeme, kada su se u žarištu

našli problemi vezani uz oštećenja i onečišćenost poljoprivrednih tala i mogućeg utjecaja na zdravlje čovjeka, počinje zanimanje stručnjaka, a i javnosti za ovo pitanje.

Dati odgovor na pitanje *što je tlo* nije baš toliko jednostavno koliko se čini na prvi pogled, iako ne bi pogriješili kada bi kazali da je to *površinski sloj zemljine kore kojeg čine mineralne čestice, organske tvari, voda zrak i živi organizmi u njemu*. Naime, u posljednjih 220 godina različiti znanstvenici su pokušavali, svaki na svoj način, definirati tlo, pa se razvojem znanosti o tlu (pedologija) došlo i do opće prihvaćene definicije koja glasi: *Tlo je rastresiti sloj na površini Zemlje, smješten između litosfere i atmosfere, nastao od matične stijene pod utjecajem čimbenika pedogeneze djelovanjem procesa pedogeneze*<sup>87</sup>.

Tlo je prirodni, uvjetno obnovljivi resurs u kojem je moguća vrlo brza degradacija, međutim čije je nastajanje i regeneracija vrlo spora, o čemu korisnik tla treba voditi brigu bez obzira na način korištenja tla. Prema svojim značajkama tlo je višenamjensko dobro, koje osim proizvodne, ima i druge ne manje važne uloge, poput ekološko-regulacijske, biološko-regulacijske, uloge prirodne pohrane (skladištenja) tvari, prostorne uloge tla, uloge oblikovanja krajobraza te konzervacijsko-arhivske uloge<sup>122,123</sup>.

Naravno, najvažnija, nezamjenjiva i primarna uloga tla je njegova proizvodna uloga, odnosno opskrba biljke vodom, zrakom i hranjivima, što omogućuje proizvodnju biomase. U toj ulozi, tlo je nezamjenjiv čimbenik održavanja prirodne i kulturne vegetacije, dakle poljoprivrede i šumarstva - gospodarskih grana koje su oslonac održivog razvitka. Proizvodnjom organske tvari u ovim gospodarskim granama čovjek podmiruje svoje prehrambene i neprehrambene potrebe, tj. opskrbljuje se hranom (kruh, meso, voće, povrće), sirovinama za izradu odjeće i obuće (vuna, koža, lan, konoplja), lijekovima i začинима (ljekovito i začinsko bilje), energijom (uljarice, ogrijevno drvo, alkohol, biodizel), itd.

Imajući ovo na umu, postaje više nego jasno koliko je onečišćeno tlo značajno za zdravlje čovjeka, na koje može štetno utjecati na bezbroj načina, a prije svega hranidbenim lancom.

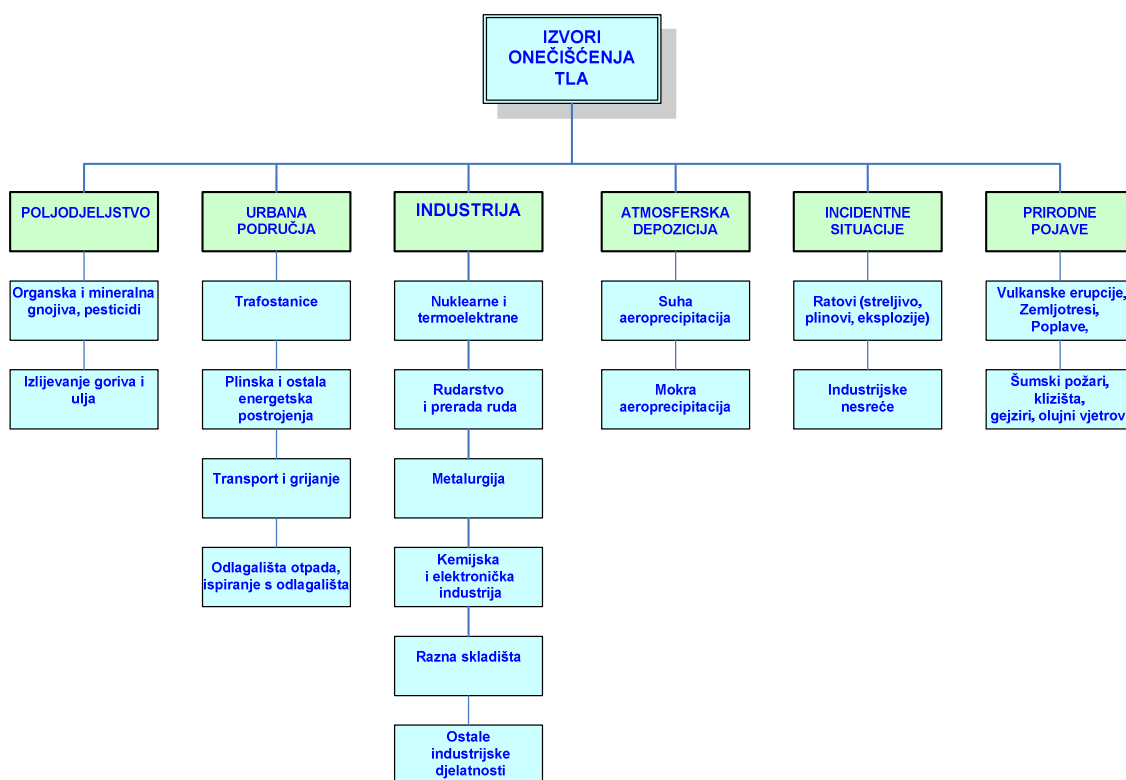
## 5.1. Izvori oštećenja i onečišćenja tla

Čovjek je svojom djelatnošću, kako zrak i vodu, tako i tlo doveo u stanje relativno velike onečišćenosti, čime je znatno oštetio, a ponegdje i ugrozio život na tlu i u tlu, a time i ekosustav u cijelosti. Uz različite oblike oštećenja tla (krčenje šuma, prekomjerna ispaša, erozija, smanjenje sadržaja humusa, zakiseljavanje itd.) postoji čitav niz različitih onečišćujućih tvari koje dospijevaju u tlo i ne podliježu razgradnji prirodnim procesima, što je imalo za posljedicu porast njihove koncentracije.

Općenito se može kazati da je pojava onečišćenih tala posljedica razvoja modernog društva u svim sferama čovjekove djelatnosti pa se izvori onečišćenja tla obično nalaze u industriji, poljoprivredi, prometu, urbanim područjima, obradi i odlaganju otpada, vojnoj djelatnosti, itd., slika 28.

Za oštećenje tla odgovorni su brojni čimbenici, no najčešća oštećenja se odnose na onečišćenost tla koje je uzrokovao čovjek svojim djelatnostima poput poljoprivrede, industrije i rudarstva, izgradnje i razvoja urbanih središta, itd. Svaka djelatnost je na svoj način uzrokovala pojavu neželjenih učinaka na živi svijet, pri čemu ni zdravlje čovjeka nije bilo pošteđeno.

Pojam onečišćenja tla, kao i drugih pojmova vezanih za onečišćenje tla, poput *štetne tvari*, te *granične vrijednosti* za pojedine tipove tla prema mehaničkom sastavu, po prvi put su u RH definirani u *Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima*<sup>124</sup>, a ostale su nepromijenjene i u novom važećem *Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja*<sup>125</sup>, jedino je riječ *zagađenje* zamijenjena riječju *onečišćenje*, s obzirom da su one i po svome značenju različite. Imajući na umu da se osim u poljoprivredi, tlo koristi i u drugim sferama čovjekove djelatnosti, bilo je potrebno definirati onečišćenje tla jednom općom definicijom koja bi obuhvatila sva tla i sve čovjekove djelatnosti u kojima se ono koristi.



Slika 28. Podrijetlo onečišćenja tla<sup>87</sup>



S obzirom na brojnost mogućih izvora onečišćenja tla, kako je i prikazano na slici 28, lako je zaključiti da se onečišćenja mogu prije svega podijeliti na *prirodna* (poplave, klizišta tla, jake kiše, jaki vjetrovi, prirodno radioaktivno zračenje, sedimentaciju vulkanskog pepela i drugo) i *antropogena* (otpadne vode, gradski mulj, tekuća organska gnojiva, mineralna gnojiva, pesticidi, industrijske emisije, antropogeno radioaktivno zračenje i drugo).

## 5.2. Najčešće onečišćujuće tvari u tlu

Prema dosadašnjim istraživanjima onečišćenosti tala i zastupljenost pojedinih djelatnosti u ukupnom onečišćenju tla, prvo mjesto zauzima industrija, a zatim procesi obrade i odlaganja otpada, energetska postrojenja itd. Ovisno o djelatnosti kojom se pojedina industrija bavi tj. o korištenim sirovinama, energentu i proizvodu koji nastaje, danas postoji niz različitih tehnoloških procesa iz kojih se najčešće kao onečišćujuće tvari javljaju: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HF, HCN, H<sub>2</sub>S, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, teški metali (Hg, Pb, Cr, Ni, Zn, Cd, Cu, Tl, As, V) i njihovi spojevi, fluoridi, radioaktivne tvari itd. Od organskih spojeva obično se javljaju: benzen, fenol, policiklički aromatski ugljikovodici (PAU), poliklorirani bifenili (PCB), postojeće organske onečišćujuće tvari (POPs) poput PCDD i PCDF, cijanidi, ulja i masti, itd.

Od ovog velikog niza mogućih onečišćujućih tvari iz industrijskih procesa koji dopijevaju u tlo i onečišćuju ga, one koje su najzastupljenije i najraširenije, te koje uzrokuju i najveća oštećenja tla su:

**Teški metali u tlu** – koji su prisutni kao posljedica nakupljanja iz matičnog materijala<sup>126</sup> iz kojeg je dano tlo i nastalo, kao i procesa kojima je čovjek utjecao na njihovu pojavu/unos u tlo (antropogeni izvori)<sup>127-130</sup>. Onečišćenost tla teškim metalima se smatra stanjem tla kada njihov sadržaj može uzrokovati vidljiv ili mjerljiv poremećaj neke od ranije spomenutih uloga tla, a prije svega na njegovu plodnost ili utječe na zdravlje konzumenta biljke (životinja i čovjek) ili dijelova biljke uzgajane na onečišćenom tlu.

Postoji mnogo različitih antropogenih izvora teških metala koji se javljaju kao onečišćujuće tvari u tlu, a koje utječu na kvalitetu i podobnost njihove uporabe bez obzira radi li se o poljoprivrednim ili urbanim tlima.

Lokalna onečišćenja tla teškim metalima iz nepokretnih (točkastih) izvora, kao što su dimnjaci talionica ruda, ljevaonica teških metala i njihovih slitina, termoenergetskih postrojenja, rafinerija nafte, kemijske industrije itd., mogu imati značajan utjecaj na tla, vegetaciju, a i na zdravlje lokalnog stanovništva, što je česta pojava u zemljama u kojima ne postoji adekvatna kontrola industrijskih emisija i kvalitete tala. Općenito, vrsta onečišćujućih tvari u tlu iz grupe teških metala i njihovih spojeva, ovisi o pojedinom industrijskom procesu korištenim sirovinama i proizvodu, kao i o poduzetim mjerama kojima se sprječava emisija ovih tvari u okoliš.

Tla u svim urbanim sredinama općenito su onečišćena olovom (Pb), cinkom (Zn), kadmijem (Cd), kromom (Cr), bakrom (Cu), vanadijem (V), niklom (Ni), manganom (Mn), željezom (Fe), molibdenom (Mo), arsenom (As) i živom (Hg), a njihov osnovni izvor uz industriju proizvodnje i prerade metala su prometnice, vozila i drugi nespecifični urbani izvori<sup>69</sup> iz kojih se mogu istaložiti iz zraka gravitacijom ili ispiranjem atmosfere oborinama što se često naziva suha i mokra *atmosferska depozicija*.

Osim onečišćenja tla teškim metalima istaloženim iz zraka u povećanju količina teških metala u tlu značajan doprinos ima poljoprivreda. Naime, utvrđeno je<sup>131</sup> da je onečišćenje tla s Pb i Zn uglavnom posljedica atmosferske depozicije, Cr i V uglavnom su porijeklom iz gnojiva, dok atmosferska depozicija i gnojidba imaju podjednak značaj u kontaminaciji tala s As, Cd i Ni. Značajan dio pesticida, fungicida i herbicida, koji se koriste u poljoprivredi, također sadržavaju Cu, Zn, Fe, Mn, pa i As, a pojedini teški metali kao Cd i Pb unose se u tlo kao nečistoće prisutne u mineralnim gnojivima.

**Policiklički aromatski ugljikovodici (PAU)** - su velika skupina organskih spojeva koji sadrže dva ili više kondenziranih aromatskih prstena. Ovi spojevi nastaju nepotpunim izgaranjem ili pirolizom organskih tvari te su njihovi najvažniji izvori povezani s ljudskom djelatnošću premda u okoliš mogu dospjeti i prirodnim putem prilikom velikih šumskih požara i vulkanskih erupcija. U okoliš dospijevaju emisijama iz brojnih industrijskih procesa kao što su eksploatacija ugljena, nafte i plina, proizvodnja benzina i drugih goriva, prirodnog plina, energetskih postrojenja te postrojenja za proizvodnju željeznih i neželjeznih metala i metalnih slitina (željeza, čelika, bakra, nikla, aluminija).

Kućna ložišta su često jedan od glavnih izvora PAU u naseljima, osobito ako se rabe kruta goriva. Otrovnici su, kancerogeni i postojani u okolišu te imaju tendenciju akumulacije u ekosustvima. Šumski požari i onečišćenost atmosfere industrijskim emisijama su glavni izvor ovih onečišćenja u tlu, a zahvaljujući transportu zračnim masama moguće ih je naći i u tlima na vrlo velikim udaljenostima od osnovnog izvora<sup>132</sup>.

Tijekom prošlog stoljeća je sadržaj policikličkih aromatskih ugljikovodika u tlu značajno porastao i procjenjuje se da je njihova koncentracija u urbanim tlima 10 do 100 puta veća nego u udaljenim ruralnim tlima<sup>133</sup>. Obradiva poljoprivredna tla mogu biti kontaminirana ovim spojevima u slučaju uporabe biootpada koji se koristi kao gnojivo<sup>134</sup>, a sudbina i ponašanje policikličkih aromatskih ugljikovodika u tlu u mnogome ovisi o značajkama tla i drugim uvjetima u tlu.

**Postojani organski spojevi (POP)** – su onečišćujuće tvari iz skupine organoklorovih spojeva koji su posljednjih nekoliko desetljeća u žarištu zanimanja i istraživanja znanstvenika zbog svoje rasprostranjenosti u čitavom okolišu i toksičnih učinaka na zdravlje ljudi i životinja. Izvori ovih spojeva su mnogobrojni i oni obično se javljaju kao ostaci u kultiviranom tlu nakon intenzivne primjene mineralnih gnojiva i različitih sredstva za zaštitu. U urbana tla dospijevaju taloženjem iz zraka i to kao posljedica emisija iz industrije kao npr. tekstilne, farmaceutske, industrije cementa i građevinskih materijala, metalur-

ške i metaloprerađivačke industrije, energetskih postrojenja, postrojenja za obradu i spaljivanje otpada, itd.

Svi ovi spojevi imaju izražene zajedničke značajke, poput postojanosti, lipofilnosti, toksičnosti, bioakumulacije i mogućnosti transporta zrakom na velike udaljenosti taloženjem iz atmosfere dospijevaju i u tlo gdje se čvrsto vežu na čestice tla koje je i prepoznato kao najznačajniji sakupljač (akumulator) postojanih organskih onečišćujućih tvari koje se kreću između zraka i tla<sup>135-137</sup>. Na ovaj način, tlo postaje sekundarni izvor onečišćujućih tvari koje prelazi u vodu, biljke i konzumente biljaka ili dijelova biljaka - životinje te naposljetku i samog čovjeka.

Među najraširenije spojeve iz ove skupine ubrajaju se poliklorirani bifenili (PCB), organoklorovi pesticidi (OCP) te poliklorirani dibenzo-*p*-dioksini (PCDD) i poliklorirani dibenzofurani (PCDF).

**Pesticidi** – su sredstva za zaštitu bilja kao i biocidni proizvodi kako je to i definirano europskim<sup>138,139</sup> i hrvatskim propisima<sup>140,141</sup>. Uglavnom su kemijskog, a mogu biti i biološkog podrijetla, a koriste se u poljoprivredi, šumarstvu te nepoljoprivrednim i javnim površinama za suzbijanje različitih biljnih bolesti kao i štetnika poput kukaca, nematoda, grinja, glodavaca i korova. Prema namjeni pesticidi se dijele na insekticide (suzbijaju kukce), akaricide (suzbijaju grinje), nematocide (suzbijaju fitoparazitske nematode), limacide (suzbijaju puževe), korvifuge (odbijaju napad ptica – repelenti), rodenticide (suzbijaju glodavce), fungicide (suzbijaju fitopatogene gljive), herbicide (suzbijaju korove) i regulatore rasta (utječu na životne procese bilja drukčije od hraniva)<sup>142</sup>.

Danas se organoklorovi kao i organofosforovi pesticidi, zbog svoje učinkovitosti i niske cijene, upotrebljavaju u velikim količinama za suzbijanje različitih nametnika, pa se zbog njihove široke te često neprikladne primjene i njihove spore razgradnje u okolišu, pojavljuju kao onečišćujuće tvari kako u zraku i vodi, tako i u tlu.

Svim pesticidima, kao onečišćujućim tvarima koje zauzimaju vrlo značajno mjesto kada je riječ o onečišćenju tla, zajedničko je obilježje njihova sklonost ugradnji u hranidbeni lanac i akumulacija u pojedinim tkivima živih organizama.

**Radionuklidi u tlu** - su svi elementi koji se nalaze u prirodi, a čiji su redni brojevi veći od 83 (Bi, bizmut) su prirodno radioaktivni<sup>143</sup>, a javljaju se u većim ili manjim količinama u svim dijelovima ekosustava. Pojava prirodnih radionuklida u atmosferi (tricij <sup>3</sup>H, ugljik <sup>14</sup>C i još neki) posljedica je kozmičkog zračenja. Oni s padalinama dospjevaju na površinu Zemlje, te se pojavljuju i u površinskim i podzemnim vodama, jezerima, morima i oceanima.

Prisutnost pojedinih radionuklida u tlima posljedica je njihove koncentracije u izvornim stijenama, čijim trošenjem je nastalo tlo, pa tako npr. svi građevni materijali dobiveni uporabom stijena i tla kao sirovine, sadrže prirodne radionuklide uranovog (<sup>238</sup>U) iz kojeg su i najčešća radioaktivna onečišćenja poput <sup>234</sup>U, <sup>230</sup>Th, <sup>226</sup>Ra i <sup>222</sup>Rn, te radionuklidi torijevog niza (<sup>232</sup>Th) iz kojeg se radionuklidi rjeđe javljaju kao onečišćujuće tvari.

Uz u tlu prisutne radionuklide geogenog podrijetla, javljaju se i radionuklidi antropogenog podrijetla, koji uglavnom u tlo dospijevaju iz različitih industrijskih procesa, odlagališta proizvodnog otpada ili nuklearne djelatnosti<sup>144-146</sup>. Ove onečišćujuće tvari se u tlo unose depozicijom iz atmosfere, migracijom nekontrolirano ispuštenih otpadnih voda ili pak uporabom nus proizvoda i/ili otpada, koji mogu sadržavati umjetne radionuklide.

S obzirom na značaj radionuklida u očuvanju okoliša i zaštiti ljudskog zdravlja, postoje i nacionalni propisi o njihovom nadzoru u tlu<sup>147</sup> kojima je propisana dinamika i način uzorkovanja neobrađenog i obrađenog tla.

Naime, zbog vrlo široke primjene radioaktivnih elemenata u industriji, medicini, nuklearnoj tehnici, vojnoj industriji i sl. javlja se i radioaktivni otpad u obliku odbačene opreme, od kuda daljnjom preradom na različite načine dospijeva u okoliš<sup>148,149</sup>. Kako bi se suzbilo onečišćenje okoliša radionuklidima, pa tako i tla, posljednjih godina sve se više pozornosti posvećuje nadzoru ovih onečišćujućih tvari u industrijskim emisijama, a uvodi se i kontrola radionuklida u sirovinama i gotovim proizvodima u industrijama u kojima je pojava prirodnih, a posebice umjetnih radionuklida moguća<sup>150-159</sup>.

### 5.3. Praćenje onečišćenosti tla – monitoring

Ocjena stupnja onečišćenosti tla, kao i drugih sastavnica okoliša, temelji se primarno na utjecaju pojedine onečišćujuće tvari na biljke, životinje kao i na ljudsko zdravlje. Pri tome, važan čimbenik predstavljaju granične vrijednosti (GV) odnosno maksimalne dozvoljene koncentracije onečišćujućih tvari u promatranom tlu.

U Republici Hrvatskoj, osim *Pravilnika o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja*<sup>125</sup>, ne postoji legislativa kojom se propisuju granične vrijednosti pojedinih onečišćujućih tvari (teški metali, PAU, POP, itd.). Istovremeno, pojedine zemlje EU pristupile su izradi propisa u kojima su utvrđene granične vrijednosti pojedinih onečišćujućih tvari, a koje su obično razlikuju u zavisnosti od namjene tla odnosno načina korištenja zemljišta (tla za poljoprivrednu proizvodnju, dječja igrališta, područja za stanovanje, parkovi i rekreacijska područja i područja za industrijske i komercijalne svrhe). Ovdje treba napomenuti, da npr. propisane GV pojedinih onečišćujućih tvari za dječja igrališta odnosno područja u kojima se djeca duže vrijeme zadržavaju, imaju drugačije granične vrijednosti, dok za pješćanike u dječjim vrtićima, igralištima i parkovima vrijede puno stroži kriteriji. Također, područja za stanovanje, parkovi i područja za odmor ljudi, imaju različite GV u odnosu na GV za tla namijenjena u industrijske i komercijalne svrhe. Nadalje, razlikuju se i GV za poljoprivredna tla namijenjena uzgoju povrtnih i drugih usjeva u odnosu na poljoprivredna zemljišta koje se koristi kao trajna zelena površina i na kojima nema ispaše stoke.

Kod utvrđivanja onečišćenosti tla teškim metalima, mora se posvetiti dužna pozornost njihovim graničnim vrijednostima, posebice zbog razlika u ovisnosti o namjeni tla,

razlika s obzirom na državu i u njoj važeće vrijednosti, kao i zbog same fiziološke uloge metala i njihovog utjecaja na čovjeka, biljke i životinje, koji još uvijek nisu nedovoljno poznati.

Granične vrijednosti sadržaja teških metala u tlima se također razlikuju od države do države, a u državama gdje je svijest o očuvanju okoliša viša, ili pak gdje su ovi problemi izraženiji, čak pojedine regije imaju zasebne strože kriterije za korištenje tla za različite namjene. Koliko se GV mogu međusobno razlikovati unutar zemalja članica EU, može se pokazati na primjeru tla namijenjenog u industrijske svrhe, tablica 12.

Tablica 12. Usporedba graničnih vrijednosti (GV) koncentracija teških metala u tlu za industrijske svrhe u nekim zemljama Europske unije<sup>160</sup>

Metal	GV sadržaja teških metala u tlu, mg/kg <sup>-1</sup> suhog tla					
	Belgija		Češka	Italija	Njemačka	Velika Britanija
	/pokrajina Flandrija/	/pokrajina Valonija/				
<b>Cd</b>	30	50	30	15	60	230
<b>Hg</b>	30	84	20	5	80	26
<b>Pb</b>	2500	1360	800	1000	2000	750
<b>Ni</b>	700	500	500	500	900	-
<b>Cu</b>	800	500	1290	600	-	-
<b>Cr</b>	800	700	800	800	400	500
<b>Zn</b>	3000	1300	5000	1290	-	-

Među zemljama članicama EU granične koncentracije teških metala u tlima namijenim za druge svrhe također nisu ujednačene, pa se tako razlikuju od države do države, bez obzira radi li se o tlima namijenjenim rekreaciji, dječjim igralištima ili stanovanju, tablica 13.

Budući su u nekim europskim državama (Njemačkoj, Švicarskoj, Sloveniji, Italiji i Slovačkoj) utvrđeni gotovo isti tipovi tala, slična geološka podloga, načini korištenja te osobito slični izvori potencijalnog onečišćenja tla kao i u nas, naši stručnjaci su odlučili načiniti prijedlog graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu prema različitim načinima korištenja, a za što su poslužile GV koje se koriste u EU.

Tablica 13. Usporedba graničnih vrijednosti (GV) koncentracija teških metala u tlu stambenih naselja u nekim zemljama Europske unije<sup>160</sup>

Metal	GV sadržaja teških metala u tlu, mgkg <sup>-1</sup> suhog tla					
	Belgija		Češka	Italija	Njemačka	Velika Britanija
	/Flandrija/	/Valonija/				
<b>Cd</b>	6	30	20	2	20	10
<b>Hg</b>	15	56	10	1	20	10
<b>Pb</b>	700	700	300	100	400	450
<b>Ni</b>	470	300	250	120	119	130
<b>Cu</b>	400	290	600	120	-	-
<b>Cr</b>	300	520	500	129	400	200
<b>Zn</b>	1000	710	2500	129	-	-

Prijedlog nekih graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu prema različitim načinima korištenja tla u Republici Hrvatskoj, prikazan je u tablici 14.

Na razini EU-a, kao ni u RH, ne postoji zakonska obveza identifikacije onečišćenih i potencijalno onečišćenih lokaliteta. Pojedine zemlje članice EU provode inventarizaciju i identifikaciju na nacionalnoj razini prema vlastitim potrebama i mogućnostima, no ti podaci nisu harmonizirani i teško su međusobno usporedivi. Sukladno procjenama Europske agencije za okoliš, u Europi je oko tri milijuna onečišćenih i potencijalno onečišćenih lokaliteta tla na kojima se provode ili su se u prošlosti provodile aktivnosti kojima se tlo onečišćuje<sup>117</sup>. Opasnost od novih onečišćenja tla preventivno je regulirana EU legislativom tzv. direktivama, a koja je prenesena i u hrvatsko zakonodavstvo.

Iako još uvijek nije uspostavljen cjeloviti sustav trajnog motrenja tala i pohranjivanja dobivenih podataka u RH, ipak postoje podaci o stanju tla koji se odnose uglavnom na poljoprivredna i šumska tla. Ovi podaci su prikupljeni u okviru različitih znanstveno-istraživačkih projekata i studija, za različite ciljne potrebe ustanova ili, u slučaju onečišćenih tala, za potrebe planiranja i provedbe sanacije kao posljedice ekoloških incidenata.

Na temelju dostupnih relativno skromnih pojedinačnih podataka i informacija, o oštećenju tla može se općenito zaključiti da su na našim tlima utvrđena uglavnom lokalna onečišćenja mazivim uljima, policikličkim aromatskim ugljikovodicima, polikloriranim bifenilima, ostacima herbicida i teškim metalima uz prisustvo procesa erozije, zakiseljavanja tala i degradacije organske tvari, posebno na poljoprivrednim tlima<sup>161</sup>.



Tablica 14. Neke GV onečišćujućih tvari u tlu prema različitim načinima korištenja tla<sup>70</sup>

Način korištenja tla →	Tla za poljoprivrednu proizvodnju	Dječja igrališta	Područja za stanovanje	Parkovi i rekreacijska područja	Područja za industrijske i komercijalne svrhe
Onečišćujuća tvar u tlu	(mg/kg suhog tla)				
<b>1. Metali ekstrahirani u žlatotopci:</b>					
Kadmij i njegovi spojevi (Cd)	2	5	10	30	50
Bakar i njegovi spojevi (Cu)	60	60	100	300	500
Nikal i njegovi spojevi (Ni)	50	100	70	200	500
Olovo i njegovi spojevi (Pb)	100	130	100	500	1.000
Cink i njegovi spojevi (Zn)	200	230	300	700	1.200
Krom, ukupni (Cr)	100	100	230	500	750
Živa i njezini spojevi (Hg)	2	5	10	30	50
Kobalt i njegovi spojevi (Co)	50	50	75	250	500
Molibden i njegovi spojevi (Mo)	10	10	40	250	500
Arsen i njegovi spojevi (As)	70	20	30	50	100
Barij i njegovi spojevi (Ba)	100	100	200	300	500
Vanadij i njegovi spojevi (V)	50	50	100	200	400
Talij i njegovi spojevi (Tl)	1	1	2	5	20
<b>2. Drugi anorganski spojevi</b>					
Ukupni fluoridi	300	450	825	1.200	1.500
<b>3. Pojedinačna i ukupna koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika - PAU</b>					
Maftalen	0,1	0,1	0,25	0,25	1,0
Acenaftalen	0,1	0,1	0,25	0,25	1,0
Fluoren	0,1	0,1	0,3	0,25	1,0
Fenantren	0,2	0,1	0,6	1,5	4,5
Antracen	0,1	0,1	0,3	0,25	1,0
Fluoranten	0,2	0,2	0,5	1,5	3,0
Benzo(a)antracen	0,2	0,2	0,7	1	5,0
Benzo(a)piren	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Benzo(b)fluoranten	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Benzo(k)fluoranten	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Benzo (g, h, i) perilen	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Krizen	0,2	0,2	0,6	3	7,5
Dibenzo(a,h)antracen	0,1	0,1	0,3	0,5	1,5
Indeno(1,2,3,-c,d)piren	0,2	0,2	0,7	1,5	5,0
Piren	0,2	0,2	0,6	3	7,5
Suma PAU	2	2	7,5	20	50

Lokalno onečišćenje zastupljeno je kao posljedica različitih incidenata u područjima intenzivne industrijske aktivnosti, na odlagalištima otpada na kojima nisu primijenjene propisane mjere zaštite te na područjima s rudarskom i vojnom aktivnošću, što je dovelo do pojave štetnih učinaka na okoliš. U okviru aktivnosti koje su se odvijale na pojedinim lokacijama u projektu Izrada programa trajnog motrenja tala<sup>70</sup>, u RH je evidentirano 2264 onečišćenih i potencijalno onečišćenih lokacija. Od tog broja, 247 su u takvom stanju da se preporučuje trajno motrenje tla s obzirom na položaj, visok stupanj onečišćenja i vrstu onečišćujućih tvari.



## 5.4. Utjecaj onečišćujućih tvari u tlu na zdravlje ljudi

**Teški metali** – Neki teški metali čiju je prisutnost moguće utvrditi u tlu, pripadaju skupini za život neophodnih, biogenih mikroelemenata, i u odgovarajućem rasponu sadržaja u tlu imaju stimulatивно djelovanje, dok su neki drugi štetni po biljni svijet ili pokazuju sinergističko djelovanje.

Kako je tlo dinamičan sustav, onečišćujuće tvari u tlu ne nalaze posljednje „odredište“, ponekad se znaju zadržati, kraće, a nekada i duže vrijeme, što ovisi o nizu čimbenika, nakon čega nastavljaju svoje širenje u okoliš. Poznato je npr. da neke biljke imaju mogućnost akumuliranja iz tla onih metala koji su esencijalni za njihov rast i razvoj kao što su željezo (Fe), mangan (Mn), cink (Zn), bakar (Cu), magnezij (Mg), molibden (Mo), nikal (Ni), dok su neke biljke sposobne iz tla akumulirati i druge teške metale poput kadmija (Cd), kroma (Cr), olova (Pb), kobalta (Co), srebra (Ag), selena (Se) i žive (Hg), koji inače nemaju poznatu biološku ulogu u biljkama. Na ovaj način, teški metali uključeni sadržani u biljkama iznad dopuštenog sadržaja, uključuju se u lanac ishrane, pa kod konzumenata uzrokuju akutna ili kronična oboljenja, čak i smrt. Uz ovo treba napomenuti i pojavu značajnih razlika u djelovanju jednog te istog elementa u humanoj i biljnoj fiziologiji u odnosu na njegovo djelovanje u životinjskoj fiziologiji i obratno.

O mogućim štetnim učincima teških metala na zdravlje ljudi bilo je riječi u prethodnim poglavljima 3.2.4 i 4.3.

**Poliaromatski ugljikovodici (PAU)** – S obzirom da zbog prisutnosti ovih spojeva u tlu, oni mogu lako dospjeti u prehrambene namirnice hranidbenim lancem, to uzimanjem kontaminirane hrane, ovi otrovni spojevi u ljudski organizam ulaze uglavnom ingestijom. Mnogi od ovih spojeva ili produkata njihove termičke razgradnje pri pripremanju hrane kontaminirane PAU, mogu u organizam dospjeti i inhalacijom (prženje, pečenje, roštilj i sl.).

Istraživanja na pokusnim životinjama pokazala su da PAU uzrokuje mutagene i kancerogene promjene, pa se stoga, pretpostavlja da su oni potencijalno mutageni i kancerogeni za ljude. S ovim spojevima se povezuje rak pluća pa su pušači koji udišu dim koji sadrži veću količinu PAU posebno osjetljivi<sup>162</sup>.

**Postojani organski spojevi (POP)** – Unutar ove velike skupine organskih spojeva, svakako jedno od najznačajnijih mjesta s obzirom na otrovnost i štetnost po ljudsko zdravlje, zauzimaju poliklorirani dibenzo-*p*-dioksini (PCDD) i poliklorirani dibenzofurani (PCDF) koji se kako u zraku i vodi, mogu naći i u tlu. Naime, ovisno o njihovim fizikalno-kemijskim svojstvima kao što su hlapljivost, topljivost u vodi i lipofilnost, razlikuje se njihova raspodjela u sastavnicama okoliša (tlo, voda i zrak). Ovi spojevi se, kao i većina drugih onečišćujućih tvari, ne zadržavaju na jednom mjestu i u jednoj sastavnici okoliša, nego podliježu različitim procesima prijenosa i transformacije, ovisno o njihovim fizikalno-kemijskim svojstvima i svojstvima samog okoliša.

Zbog svoje lipofilnosti većina PCDD-a i PCDF-a se u tlu apsorbira na organsku tvar te na taj način ostaju imobilizirani na površini tla, iako je moguća njihova difuzija kroz tlo, a isto tako i hlapljenje s površine tla. Zahvaljujući lipofilnosti i otpornosti na metaboličku razgradnju, ovi spojevi ulaze i akumuliraju se u hranidbenom lancu, pa tako čovjek koji se obično nalazi na njegovu vrhu, sadrži njihove najviše koncentracije<sup>143</sup>.

Glavni izvor ljudske neprofesionalne izloženosti dioksinima je konzumacija hrane životinjskog podrijetla, pri čemu najveći doprinos daju meso, riba i mliječni proizvodi. Uneseni u ljudski organizam, kao i kod drugih sisavaca, akumuliraju se uglavnom u masnim tkivima.

Toksični učinci ovih spojeva uključuju otežano disanje, promjene na koži, utjecaj na imunosni i reproduktivni sustav, negativan utjecaj na rast organizma i razvoj središnjega živčanog sustava, a također su potencijalno karcinogeni. Negativne utjecaje duže izloženosti niskim koncentracijama dioksina teško je procijeniti zbog toga što se obično u otganim unose u smjesi sa drugim organoklorovim spojevima, pa je teško utvrditi specifičnu vezu između učinka i izloženosti koja se odnosi samo na dioksine.

**Pesticidi** – Kao toksični spojevi, osim štetnih učinaka na zdravlje biljaka i životinja, pesticidi imaju štetne učinke i na zdravlje ljudi. Ovi vrlo postojani organski spojevi zbog svoje lipofilne prirode i velike stabilnosti lako ulaze u prehrambeni lanac i obično se nakupljaju u masnom tkivu te žumanjku jaja i jetri različitih životinja kao i ulju biljaka.

U ljudsko tijelo pesticidi ulaze na tri načina: udisanjem (inhalacijom), ingestijom (oralno) ili kroz kožu (perkutano). Bez obzira na način ulaska pesticida u ljudski organizam klinička slika je slična; u početku se javljaju poremećaji disanja, probave i neurološki poremećaji, a svi ovi učinci su posljedica izravnog djelovanja aktivne tvari.

Prilikom trovanja preko kože ponekad se javlja žuta boja zbog oštećenja jetre, koja ponekad može završiti i smrću. Smrtni ishodi zapažaju se najčešće pri akcidentalnoj ingestiji, a rjeđe kao posljedica inhalacije. u oba slučaja neposredan uzrok smrti su prestanak funkcije vitalnih centara u vidu paralize centara za disanje, asistolije i edema pluća. Vrlo česte popratne pojave trovanja s ovim spojevima, a posebno kod trovanja organofosforovim spojevima su: suženje vida, pojačano izlučivanje žlijezda sa lučenjem, otežano i nepravilno disanje, mučnina, proljevi, kratkotrajni porast krvnog tlaka, opća fizička slabost, brzo zamaranje, vrtoglavica, nervoza, koma, prestanak disanja. Ovi znaci trovanja se obično javljaju kod kronične toksičnosti nakon dužeg vremenskog razdoblja rukovanja organofosforovim spojevima<sup>163</sup>

Zbog njihove stabilnosti i otpornosti najopasniji za zdravlje su organoklorovi pesticidi (DDT, *aldrin*, *dieldrin*, itd.) a akutni znakovi trovanja su tremor, mučnina, napadaji grčeva, umor, letargija, povraćanje, vrtoglavica, glavobolja, dok su kronični znakovi trovanja gubitak na težini, anoreksija, anemija, slabost mišića, gubitak svijesti, kožni osip, problemi s vidom, gubitak pamćenja, promjene na EEG-u, anksioznost i nervoza. Znakovi trovanja organofosforovim pesticidima su: bronhokonstrikcija, mioza, gastrointestinalni grčevi, dijareja, bradikardija, tahikardija, povišen krvni tlak, tremor, slabost mišića, paraliza, do

onih nastalih kao rezultat djelovanja na centralni nervni sustav poput nemira, emocionalne nestabilnosti, letargije, mentalne konfuzije, gubitka pamćenja i kome<sup>164,165</sup>.

S obzirom da je glavni put unosa svih herbicida preko kože, oni štetno djeluju na kožu uzrokujući osip i kontaktni dermatitis, također mogu nastati astmatični napadaji ili čak anafilaktički šok. Neki herbicidi uzrokuju glavobolju, vrtoglavicu, nervozu, netoleranciju na hladnoću, nedostatak zraka, a u težim slučajevima urođene mane, rak, sarkom mekog tkiva, itd. Pri kroničnoj izloženosti triazinskim herbicidima, dolazi do gubitka na težini, pojave zloćudnih tumora mliječne žlijezde kod žena, adenokarcinoma i karcinosarkoma te smanjene reproduktivne moći<sup>164,165</sup>.

## 6. GOSPODARENJE OTPADOM

Prema podacima<sup>166</sup> Eurostat ureda za statistiku Europske komisije, u 2012. godini ukupna količina otpada nastalog u svim ekonomskim djelatnostima i kućanstvima na području EU, iznosio je 2515 milijuna tona, od čega je obrađeno je 2303 milijuna tona otpada u što je uključena i količina uvezenog otpada u EU. Gotovo pola od navedene količine zbrinuto je odlaganjem, prije svega na odlagalištima, a jedan dio je odložen u blizini rudnika ili u samim rudnicima, dok je jedan ispušten u vode. Dio otpada koji čini 36,4 % ukupne količine otpada obrađenog u EU u 2012 oporabljen je primjenom postupaka izdvajanja vrijednih sastojaka, dok je preostali otpad obrađeno spaljivanjem u spaljivaonicama sa ili bez iskorištenja toplinske energije.

Ove količine nastalog otpada, kao i aktivnosti na njegovom zbrinjavanju, same za sebe ukazuju na značaj gospodarenja otpadom koje zauzima posebno mjesto u strategijama zaštite okoliša u svim europskim zemljama. Sve te strategije koje naglašavaju zahtjeve za smanjenjem, oporabom i recikliranjem otpada, doprinose zatvaranju kruga uporabe materijala na svim poljima gospodarstva stvarajući materijale nastale iz otpada kao ulazni materijal za novu proizvodnju.

U novije vrijeme razmatranje životnog ciklusa sve se više uvodi kao vodeće načelo gospodarenja resursima, a utjecaji na okoliš promatraju se tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda kako bi se, gdje god je to moguće, izbjeglo ili na najmanju moguću mjeru svelo premještanje problema okoliša iz jedne u drugu fazu životnog ciklusa ili pak premještanja iz jedne u drugu zemlju pomoću tržišnih instrumenata.

Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom bitna je sastavnica modernog društva, a za njegovo razvijanje i učinkovitost važne su gospodarske odrednice koje potiču smanjivanje količine otpada, odvojeno skupljanje, obradu, recikliranje i oporabu te usmjeravanje i kontinuirani razvoj navedenog. Trenutno u Republici Hrvatskoj, gradovi i županije organiziraju prikupljanje i odlaganje otpada na način koji ne možemo nazvati cjelovitim sustavom gospodarenja otpadom.

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj prioritetno je pitanje zaštite okoliša te je bilo jedno od najzahtjevnijih područja u smislu usklađivanja sa standardima EU. Za razliku od zemalja članica EU, gdje je otpad strateški resurs od kojeg se dobivaju određene količine energije, Hrvatska je bila suočena s kompleksnim i višestrukim problemima u gospodarenju otpadom koji još uvijek ozbiljno ugrožavaju okoliš. Rješavanje tih problema i orijentacija prema suvremenom gospodarenju otpadom bili su jedan su od preduvjeta za ulazak u EU.

U području gospodarenja otpadom već se niz godina provode aktivnosti i mjere koje pridonose približavanju zadanim strateškim ciljevima, no ipak, u nekim se segmentima ti ciljevi ne provode očekivanom dinamikom ili su evidentne teškoće u provedbi. Iz tog razloga nužno je daljnje jačanje kapaciteta tijela nadležnih za gospodarenje otpadom, povećanje broja tvrtki sudionika u gospodarenju otpadom, permanentno razvijanje i unapređenje ekonomskih instrumenata, a posebno mjesto zauzima potreba obrazovanja stručnjaka za potrebe industrije koji će se baviti ovom problematikom.

## 6.1. O gospodarenju otpadom kroz povijest

Tijekom povijesti, razvoj civilizacije i ljudski napredak je bio često povezan s razvojem i napretkom pravilnog gospodarenja otpadom. Naime, s obzirom da čovjek od svoga postanka ovaj planet opterećuje otpadom, bavio se sustavom zaštite okoliša od otpada tisućljećima prije nego što je osmislio njegov koncept. Za ilustraciju mogu poslužiti povijesni primjeri značajnih zbivanja u postupanju s otpadom, kao i nekih drugih događaja koji su utjecali na podizanje čovjekove svijesti o otpadu, njegovom odlaganju i uporabi što je dovelo do razvoja modernih suvremenih sustava gospodarenja otpadom.

U ranim predindustrijskim vremenima, otpad se uglavnom sastojao od pepela, drva, kosti te otpada biljnog porijekla i ekskreta čovjeka, a odlagao se na tlo, gdje je služio kao kompost za poboljšanje kvalitete tla. Sve što se moglo, koristilo se za ponovnu uporabu, a materijali koji se odavno iskorištavaju i po nekoliko puta su: koža, perje, krzno i tekstil.

Čovjek je oduvijek težio otpad koji je stvarao, u manjim ili većim količinama, odlagati dalje od svog mjesta stanovanja te ga je najčešće odlagao i prekrivao zemljom na zajedničkom mjestu za više kućanstava dok je u nekim naseljima i gradovima bilo dopušteno zakapanje i prekrivanje otpada u vlastitom dvorištu. Ipak je glavnina gradova posebnim uredbama donosila stroga pravila kojima je svaka osoba bila odgovorna za otpad koji stvara te ga je sukladno tome trebala odnijeti van grada uz obvezatno prekrivanje zemljom.

Dostupni literaturni izvori govore nam o najranijim odlagalištima otpada ili tehnikama obrade otpada iz onovremenih kućanstava. Indijanska plemena<sup>167</sup> na prostoru današnje države Kolorado, SAD, još su prije 6500 g.p.K. koristila odlagališta kostiju životinja koje su im služile za ishranu, a stari su Kinezi znali za kompostiranje zelenog otpada<sup>168</sup> prije više od 2000 g.p.K.

Prvo poznato organizirano odlagalište otpada bilo je izgrađeno<sup>169</sup> u gradu Knososu na Kreti još prije 3000 g.p.K. koji je tada imao i kanalizaciju s uređajem za prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda. Po uzoru na Knosos, 2500. g.p.K. gradi se prvo gradsko odlagalište za Atenu, udaljeno svega 2 km od gradskih zidina te se organizira sustav prikupljanja i odvoza otpada na odlagalište.

Nastavljajući ovu tradiciju, u Grčkoj se 500. g.p.K. pri planiranju izgradnje gradova uvodi obvezno čišćenje ulica, opskrba pitkom vodom i prikupljanje otpadnih voda te ostalog otpada. Ovako sakupljene otpadne vode su sustavom kanalizacije završavale izvan zidina grada u velikim bazenima gdje su se miješale s ostalim razgradivim krutim otpadom. Nakon razgradnje otpada, nastala smjesa koristila se za gnojidbu obradivih površina uokolo grada.

U Novom zavjetu se spominje dolina Hina (Gehena) koja se nalazila izvan zidina Jeruzalema, a koja se u to biblijsko doba koristila kao „smetlište“ u kojem je stalno gorjela vatra. Ovo biblijsko odlagalište otpada korišteno je ujedno i za spaljivanje jeruzalemskog otpada među kojim su se nalazila i tijela uginulih životinja, pa čak i pogubljenih zločinaca, koja su bacana u tu dolinu da ih proguta vatra, kojoj je dodavan sumpor kako bi pomagao gorenju.

Istodobno, u Indiji i Kini, postoje sustavi organiziranog odvoza otpada, kao i čišćenja gradova. Nagla urbanizacija sa sobom je donijela, kao i obično, i neke loše karakteristike pa tako u pogledu gospodarenja otpadom nastaju prvi problemi kada stanovništvo prestaje poštovati sustav organiziranog prikupljanja te se npr. u gradovima Grčke najčešće kruti otpad odlaže u sustave za odvodnju što je izazivalo začepljenja. U to vrijeme bilježe se i prvi „čistači“, čija je glavna zadaća bila čišćenje odvodnih kanala. Ubrzo nakon ovoga pojavljuju se i prvi „čistači ulica“ koji sakupljaju otpad na ulicama te ga odvoze do odlagališta izvan zidina grada. Ovi čistači su istovremeno obavljali i poslove na odvajanju vrijednih sirovina prodajući ih dalje kao robu pa su iz toga stvorili i novo zanimanje koje se održalo do danas, a mi ga danas obično nazivamo „skupljač sekundarnih sirovina“.

U srednjem vijeku se otpad uglavnom „odlagao“ na ulice i to ne samo otpad iz kućanstva kojeg bi današnjim rječnikom nazvali *komunalni* otpad, već i otpad iz ložišta (pepeo), otpad životinjskog podrijetla (fekalija i gnojiva) pa čak i uginule životinje.

Ovakav način postupanja s otpadom svih vrsta i kategorija je imao štetan utjecaj na okoliš pa tako i samog čovjeka, a rezultirao je epidemijama različitih zaraznih bolesti, što je bila svakodnevica, posebno u velikim gradovima.

Kako bi se popravila situacija u pogledu čistoće gradova, koji postaju sve zagušeniji različitim vrstama otpada, gradski oci Londona su krajem 13. stoljeća donijeli zakon kojim se strogo zabranjuje odlaganja pepela na ulicu, trgove ili obalu rijeke Temze te su uveli kazne za počinitelje, a tek u 14. stoljeću se u Londonu uvodi zabrana odlaganja otpada na ulice te se strogo propisuje obveza uređenja okućnice.

U Hrvatskoj je u to vrijeme bila slična situacija. Naime, otpad se u gradovima bacao na ulice čak i kroz prozore kuća pa je vlast morala uvesti propise o čistoći<sup>5</sup> koji se spominju u Statutu zagrebačkog Gradeca iz 1425. godine, a jedan od propisa je glasio:

*'Neka se ni jedan čovjek ne usudi ni na koji način baciti ili ukopavati na gradskim ulicama smeće, pučki zvano smeti, koje je pomeo u kući ili vodu od pranja suđa, ili drugu nečistoću, osobito pepeo, pučki zvan perilo ili poplati. Neka se ne usude činiti ni na koji način. A oni koji to učine, neka prvi put plate globu od šezdeset denara, drugi put tri pense (120 denara), a treći put neka pretrpe veću kaznu.'*

Organizirani sustav čišćenja grada<sup>170</sup>, sakupljanja i odvoza komunalnog otpada, datira iz 1923. godine, kada odvoz gradskog smeća prelazi pod upravu *Gradske ekonomije* koja je otpočela s radom 1915. godine.

I u drugim hrvatskim gradovima postoje pisani tragovi o uvođenju sustava sakupljanja i odvoza komunalnog otpada od najranije povijesti. Tako npr. u Puli, gradu starom tri tisuće godina, otpad i njegovo zbrinjavanje ima gotovo isto staru povijest, no pisani tragovi datiraju iz 16. stoljeća, gdje se u izvješćima venecijanskom Senatu pojedini providuri za Istru<sup>6</sup> govore i o problemima s otpadom na gradskim ulicama. Ova problematika je bila uređena i tada važećim propisima, što ilustriraju i neke odredbe iz Statuta Pule koji je bio na snazi od 16. stoljeća pa sve do 1815. godine.

Kako god, stalnim razvojem čovječanstva, porastom broja stanovnika i povećanjem standarda življenja povećavala se neizbježno i količine i vrste otpada, a značajne promjene bile su usko povezane uz industrijski razvoj. Iako ne postoje dokumenti kojima bi se dokazalo sustavno praćenje promjena aktivnosti vezanih uz otpad, poboljšanje životnog standarda već 60-tih godina prošlog stoljeća donose značajne promjene u vezi postupanja s otpadom čija je količina u to vrijeme rasla za 3-4 % godišnje.

## 6.2. Gospodarenje otpadom danas

Danas, gospodarenje otpadom predstavlja jedno od prioritarnih okolišnih pitanja na raznim institucionalnim razinama. Pravna stečevina EU nam svjedoči da se među prvim pravnim aktima relevantnim za okoliš koji su definirali zajednička načela kako bi se okoliš zaštitio od štetnih utjecaja ljudske djelatnosti, odnosi na problem otpada i njegovo neodgovarajuće zbrinjavanje. Ozbiljnosti problemu otpada doprinijela je i složenosti njegovih tokova u koje su uključeni brojni dionici, a posebno je, pri rješavanju pitanja otpada, važna neophodna infrastruktura i investicije potrebne za zbrinjavanje otpada odnosno smanjenje njegovog utjecaja na okoliš.

Prema *Zakonu o održivom gospodarenju otpadom* pod pojmom *gospodarenje otpadom* podrazumijevaju se djelatnosti sakupljanja, prijevoza, uporabe i zbrinjavanja i druge obrade otpada, uključujući nadzor nad tim postupcima te nadzor i mjere koje se provode na lokacijama nakon zbrinjavanja otpada, te radnje koje poduzimaju trgovac otpadom ili posrednik. Ono što je zajedničko svim djelatnostima koje se podrazumijevaju pod pojmom gospodarenje otpadom je način na koji se svaka od njih pojedinačno provodi, a to je da se

mora provoditi na način koji ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i koji ne dovodi do štetnih utjecaja na okoliš, a osobito kako bi se izbjeglo sljedeće:

- rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti,
- pojava neugode uzorkovane bukom i/ili mirisom,
- štetan utjecaj na područja kulturno-povijesnih, estetskih i prirodnih vrijednosti te drugih vrijednosti koje su od posebnog interesa,
- nastajanje eksplozije ili požara.

### 6.2.1 Što je otpad i njegova klasifikacija

Zbog boljeg razumijevanja i ispunjavanja obveza u vezi gospodarenja otpadom, vrlo je važno pravilno korištenje same definicije otpada kao i drugih pojmova usko vezanih s otpadom. Stoga je usvojena i donesena 2008. tzv. Okvirna Direktiva o otpadu<sup>171</sup> (2008/98/EZ), koja je dopunila i zamijenila nekoliko ranije donesenih direktiva. Pravilno korištenje definicije otpada presudno je važno kako bi se osiguralo da države članice na odgovarajući način ispunjavaju svoje obveze u vezi s gospodarenjem otpadom sukladno ovoj Direktivi te sukladno drugom zakonodavstvu o otpadu. U Europskoj uniji često se odvijaju rasprave o jasnoći razdjelnice između otpada i onoga što nije otpad pa je, da bi se poboljšalo stanje, ovom direktivom definirao i pojam nusproizvoda. Sve odredbe ove Direktive, kao i odredbe nekih drugih direktiva<sup>172-174</sup> i uredbi relevantnih za pitanja otpada i gospodarenja otpadom, transponirane su u *Zakon o održivom gospodarenju otpadom* (NN br. 94/13) Republike Hrvatske.

Otpad je, prema *Zakonu o održivom gospodarenju otpadom*, svaka tvar ili predmet koju posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpad se razvrstava na grupe, podgrupe i vrste otpada prema svojstvima i mjestu nastanka otpada, uzimajući u obzir kategorije otpada prikazane u tablici 15, podrijetlo i sastav otpada i granične vrijednosti koncentracija opasnih tvari.

Na temelju navedenih kategorija, s obzirom na svojstva kojima djeluje na zdravlje ljudi i okoliš, otpad se klasificira kao: *opasni* otpad, *neopasni* otpad i *inertni* otpad.

***Opasni otpad*** - uključuje otpad koji posjeduje jednu ili više karakteristika zahvaljujući kojima je opasan za život i zdravlje ljudi, okoliš ili imovinu osoba, a sukladan je kategoriji opasnog otpada onako kako je ta kategorija definirana u klasifikaciji otpada. Opasni otpad je određen kategorijama (generičkim tipovima) i sastavinama, a obvezno sadrži jedno ili više od svojstava utvrđenih u Dijelu III. Liste opasnog otpada, koja je definirana *Uredbom o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada* (NN br. 50/05, 39/09).



*Neopasni otpad* - otpad koji nema neko od svojstava (koje otpad čine opasnim) utvrđenih u Dijelu III. Liste opasnog otpada.

Tablica 15. Kategorije otpada

Oznaka	Kategorija
Q1	Ostaci iz proizvodnje ili uporabe koji nisu drugačije specificirani
Q2	Proizvodi koji ne odgovaraju normama
Q3	Proizvodi kojima je rok za odgovarajuću uporabu istekao
Q4	Materijali koji su prosuti, odnosno proliveni, izgubljeni ili su pretrpjeli neku drugu nezgodu, uključujući i sve druge materijale, opremu itd., koji su onečišćeni kao posljedica takve nezgode
Q5	Materijali koji su zagađeni ili onečišćeni planiranim djelovanjem (npr. ostaci nakon postupaka čišćenja, ambalaža, spremnici, itd.)
Q6	Neuporabljivi dijelovi (npr. odbačene baterije i akumulatori, istrošeni katalizatori, itd.)
Q7	Tvari koje više ne zadovoljavaju kakvoćom (npr. onečišćene kiseline, onečišćena otapala, istrošene soli za otvrdnjavanje)
Q8	Ostaci iz proizvodnih procesa (npr. šljaka, destilacijski talog, itd.)
Q9	Ostaci od procesa uklanjanja onečišćenja (npr. muljevi iz uređaja za pročišćavanje, prašina iz filtra za zrak, istrošeni filtri, itd.)
Q10	Ostaci strojne i završne obrade (npr. tokarske strugotine, proizvodno iverje itd.)
Q11	Ostaci od vađenja i prerade sirovina (npr. jalovina, talog iz naftnih polja, itd.)
Q12	Onečišćene tvari (npr. ulja onečišćena PCB-om/polikloriranim bifeni- lom, itd.)
Q13	Materijali, tvari i proizvodi čija je uporaba zakonom zabranjena
Q14	Proizvodi koje posjednik više neće koristiti (npr. iz poljoprivrede, kućanstava, ureda, trgovačkih djelatnosti ili dućana)
Q15	Onečišćeni materijali, tvari i proizvodi nastali kao rezultat sanacije tla
Q16	Svi materijali, tvari ili proizvodi koji nisu navedeni u gornjim kategori- jama

**Inertni otpad** - otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama. Inertni otpad nije topljiv, nije zapaljiv, na bilo koje druge načine fizikalno ili kemijski ne reagira niti je biorazgradiv. S tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje tako da bi to utjecalo na zdravlje ljudi, životinjskog i biljnog svijeta ili na povećanje dozvoljenih emisija u okoliš. Vodotopljivost, sadržaj onečišćujućih tvari u vodenom ekstraktu i ekotoksičnost vodenog ekstrakta (eluata) inertnog otpada mora biti zanemariva i ne smije u nijednom propisanom parametru ugrožavati kakvoću površinskih ili podzemnih voda. (Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada, NN br. 50/05, 39/09).

Prema mjestu nastanka, otpad se klasificira kao: *komunalni otpad*, *proizvodni otpad* i *posebne kategorije otpada*.

**Komunalni otpad** - je otpad iz kućanstava te otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti ako je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava. Komunalni otpad u Katalogu otpada razvrstan je uglavnom u grupu ključnog broja 20 i može biti razvrstan u grupu ključnog broja 15 01 (ambalažni otpad izdvojen iz komunalnog otpada).

**Proizvodni otpad** - otpad koji nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, a po sastavu i svojstvima se razlikuje od komunalnog otpada. Proizvodnim otpadom se ne smatraju ostaci iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača. U Katalogu otpada obuhvaćen je grupama od 01 do 19, u koje su razvrstane grupe otpade kako slijedi:

- otpad koji nastaje pri istraživanju, eksploatiranju i fizikalno-kemijskoj obradi mineralnih sirovina;
- otpad iz poljodjelstva, vrtlarstva, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lovstva i ribarstva, pripremanja i prerade hrane;
- otpad od prerade drveta i proizvodnje drvenih ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona;
- otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije;
- otpad od prerade nafte, pročišćavanja prirodnog plina i pirolitičke obrade ugljena;
- otpad iz anorganskih kemijskih procesa;
- otpad iz organskih kemijskih procesa;
- otpad iz termičkih procesa;
- otpad od kemijske površinske obrade i zaštite metala i drugih materijala; hidrometalurgija neželjeznih metala itd.

**Posebne kategorije otpada** – čine: biootpad, otpadni tekstil i obuća, otpadna ambalaža, otpadne gume, otpadna ulja, otpadne baterije i akumulatori, otpadna vozila, otpad koji sadrži azbest, medicinski otpad, otpadni električni i elektronički uređaji i oprema, otpadni brodovi, morski otpad, građevni otpad, otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, otpad iz proizvodnje titan dioksida, otpadni poliklorirani bifenili i poliklorirani terfenili PCB i PCT.

## 6.2.2 Postupci zbrinjavanja i uporabe otpada

**Oporaba otpada** – je svaki postupak, tablica 16, čiji glavni rezultat je uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo upotrijebiti za tu određenu svrhu, ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u tvornici ili u širem gospodarskom smislu.

Popis postupaka uporabe navedenih u tablici 16 ne isključuje i druge moguće postupke uporabe. S obzirom na relativno veliki broj postupaka uporabe kao i niz mogućih varijacija jednog postupka uporabe ovisno o specifičnosti fizikalno-kemijskih karakteristika otpada, ovdje će se ukratko opisati samo neki od tih postupaka.

Tablica 16: Postupci uporabe otpada

Oznaka	Postupak uporabe
R1	Korištenje otpada kao goriva ili drugog načina dobivanja energije
R2	Obnavljanje/regeneracija otpadnog otapala
R3	Recikliranje/obnavljanje otpadnih organskih tvari koje se ne koriste kao otapala (uključujući kompostiranje i druge procese biološke pretvorbe)
R4	Recikliranje/obnavljanje otpadnih metala i spojeva metala
R5	Recikliranje/obnavljanje drugih otpadnih anorganskih materijala
R6	Regeneracija otpadnih kiselina ili lužina
R7	Oporaba otpadnih sastojaka koji se koriste za smanjivanje onečišćenja
R8	Oporaba otpadnih sastojaka iz katalizatora
R9	Ponovna prerada otpadnih ulja ili drugi načini njihove ponovne uporabe
R10	Tretiranje tla otpadom u svrhu poljoprivrednog ili ekološkog poboljšanja
R11	Oporaba otpada nastalog bilo kojim postupkom R 1 do R 10
R12	Razmjena otpada radi primjene bilo kojeg od postupaka uporabe R 1 do R 11
R13	Skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka uporabe R 1 do R 12 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka, prije skupljanja)

**Zbrinjavanje otpada** – S obzirom da se svaki nastali otpad mora upotrijebiti, samo u slučaju otpada koji se nije mogao izbjeći i čija se korisna svojstva (materijalna ili energetska) nisu mogla ponovo iskoristiti tj. otpad koji se nije mogao upotrijebiti, upućuje se na zbrinjavanje nekim od postupaka obrade koji su razvrstani u sljedeće skupine:

- **Kemijsko-fizikalni (K/F)** - postupci obrade otpada su postupci kemijsko-fizikalnim metodama s ciljem mijenjanja njegovih kemijsko-fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a mogu biti: neutralizacija, taloženje, ekstrakcija, redukcija, oksidacija, dezinfekcija, centrifugiranje, filtracija, sedimentacija, reverzna osmoza i derivatizacija.
- **Biološki (B)** - postupci obrade otpada su postupci koji biološkim metodama mijenjaju kemijska, fizikalna i biološka svojstva otpada, a mogu biti aerobna i anaerobna razgradnja.
- **Termički (T)** - Termički postupci obrade otpada su postupci uporabom topline pod nužnim i propisanim uvjetima. Provode se s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a mogu biti: spaljivanje, piroliza, isparavanje, sterilizacija, destilacija, sinteriranje, žarenje, taljenje, zataljivanje u staklo i slični postupci.
- **Kondicioniranje (K)** - otpada je priprema za određeni način zbrinjavanja i uporabe otpada, a može biti: usitnjavanje, ovlaživanje, pakiranje, odvodnjavanje, otprašivanje, očvršćivanje, stabilizacija te postupci kojima se smanjuje utjecaj štetnih tvari koje sadrži otpad.
- **Odlaganje (O)** – postupak trajnog odlaganja prethodno obrađenog otpada na „odlagalište otpada“ tj. građevinu namijenjenu odlaganju otpada na površinu zemlje ili pod zemlju. Bez prethodne obrade može se odobriti samo odlaganje inertnog otpada kada njegova obrada nije tehnički izvediva i drugog neopasnog otpada ako njegova obrada ne smanjuje količinu ili svojstva otpada koji uzrokuju štetne utjecaje na okoliš ili ljudsko zdravlje.

Ovdje će biti kratko opisani samo najčešće primjenjivani postupci obrade otpada kao što su biološka obrada otpada – kompostiranje, mehaničko-biološka obrada otpada i termička obrada otpada - spalionice otpada.

**Biološka obrada otpada, kompostane** – Kompostiranje i procesi anaerobne obrade koriste se za biološku obradu odvojeno skupljenog biootpada (zeleni otpad, kuhinjski otpad i sl.), pri čemu se otpad prerađuje u kompost koji se može koristiti u poljoprivredi. Upotreba komposta ima korisne učinke u pogledu zamjene umjetnih gnojiva (čijom upotrebom također dolazi do emisija stakleničkih plinova), a ujedno se povećava skladištenje ugljika u tlu. Kompostiranje ili aerobna obrada (uz prisutnost zraka) je enzimski katalizirani proces koji se odvija u nekoliko faza. Konačni produkti razgradnje organskog otpada su CO<sub>2</sub> i kompost, a samim procesom početna masa otpada smanjena je za oko 60 %, što ovisi o uvjetima pri kojima se odvija proces (vlaga, temperatura, prisutnost kisika).

Anaerobna obrada (bez zraka) je nešto rjeđi i skuplji oblik biološke obrade, pri kojem se uz kompost proizvodi i bioplin, uporabiv za proizvodnju energije. Kompost je prije upotrebe potrebno stabilizirati, što dodatno poskupljuje postupak.

U odnosu na odlaganje neobrađenog otpada kompostiranje i anaerobna obrada smanjuju emisije stakleničkih plinova iz sustava gospodarenja otpadom, što je izraženije kod anaerobne obrade.

**Mehaničko-biološka obrada otpada (MBO)** – Mehaničko-biološka obrada - MBO (eng. MBT - *mechanical biological treatment*) komunalnog otpada predstavlja skup različitih postupaka obrade otpada s mogućnošću proizvodnje proizvoda za daljnje iskorištavanje vrijednih svojstava otpada uz različite načine odlaganja ostatka. U načelu, postoje dvije osnovne skupine MBO tehnologija, ovisno o samom redoslijedu primjene postupaka obrade.

- postupci u kojima se otpad prvo mehanički, a zatim biološki obrađuje i govorimo o MBO postrojenjima,
- postupci gdje se prvo obavlja biološka faza obrade, a zatim mehanička - radi se BMO postrojenjima.

Iako i jedna i druga vrsta postupka rezultiraju istim ishodom, postoje znatne razlike u omjerima i kvaliteti materijala dobivenih iz miješanog komunalnog otpada. Iz jedne tone miješanog komunalnog otpada može se izdvojiti oko 50 kilograma korisnog otpada, poput metala i PET-a, te proizvesti oko 550 kilograma goriva iz otpada.

Postupci mehaničko-biološke obrade primjenjuju se kao predobrada otpada, a tim postupcima mogu se postići različiti rezultati:

- izdvajanje sirovina,
- proizvodnja komposta,
- proizvodnja gnojiva,
- proizvodnja stabiliziranog produkta za odlagalište,
- dobivanje bioplina za proizvodnju električne ili toplinske energije,
- proizvodnja goriva iz otpada.

U ovisnosti o ciljevima koji se žele postići mogu se odabrati različite kombinacije mehaničke i biološke obrade.

**Termička obrada otpada - spalionice otpada** – Termički postupci obrade otpada su postupci uporabom topline pod nužnim i propisanim uvjetima. Provode se s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a mogu biti: spaljivanje, piroliza, isparavanje, sterilizacija, destilacija, sinteriranje, žarenje, taljenje, zataljivanje u staklo i slični postupci.

Stoga se, postrojenje za termičku obradu otpada naziva i *spalionica*, a to je svaka nepokretna ili pokretna tehnička jedinica u kojoj se spaljuje otpad s iskorištavanjem topline proizvedene izgaranjem. To uključuje oksidacijsko spaljivanje otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize, rasplinjavanja ili plazma procesa, sve dok se rezultirajući produkti tih obrada nakon toga spaljuju.

Pod pojmom postrojenje za termičku obradu otpada ili *spalionica* podrazumijeva se i zemljište na kojem je postrojenje smješteno uključujući sve linije spaljivanja, prihvati i

skladištenje otpada, linije predpripreme, sustave za dovod otpada, goriva i dovod zraka, kotlove, sustav za obradu izlaznih plinova, postrojenja za obradu ili skladištenje ostataka, otpadne vode, dimnjak, uređaje i sustave za kontrolu procesa izgaranja, zapisivanja i praćenja uvjeta spaljivanja.

Postrojenje za suspaljivanje otpada ili *suspalionica* je nepokretno ili pokretno postrojenje čija je prvenstvena svrha proizvodnja energije ili materijalnih produkata i koje otpad koristi kao svoje redovno ili dopunsko gorivo, ili u kojem se otpad termički obrađuje radi konačnog zbrinjavanja. Obavlja li se suspaljivanje tako da glavna svrha postrojenja nije proizvodnja energije ili materijalnih produkata nego termička obrada otpada, takvo će se postrojenje smatrati spalionicom otpada.

Osnovna svrha ovih postupaka je termička obrada otpada radi smanjenja volumena i štetnosti otpada te dobivanja inertnog produkta koji se može dalje zbrinuti. Obično su to spalionice komunalnog otpada, opasnog otpada, otpadnog mulja, medicinskog otpada i otpada životinjskog porijekla. Obuhvaća i postupke u objektima za suspaljivanje otpada, ukoliko svrha spaljivanja otpada nije iskoristiti ga kao gorivo već samo njegovo zbrinjavanje.

Spalionice otpada, osim velikih komunalnih sustava, mogu biti i manje, *šaržne* spalionice. Primjeri takvih spalionica su: spalionice otpada životinjskog podrijetla kao što je otpad iz klaonica, uginuća sa farmi itd, spalionice medicinskog otpada, spalionice industrijskog otpada i slično. Prednost takvih spalionica otpada je ta što se otpad (osobito potencijalno infektivan otpad) zbrinjava na mjestu nastanka, bez potrebe za rizičnim i skupim transportom istog. Na taj se način umanjuje opasnost od širenja zaraznih bolesti i najčešće umanjuje trošak zbrinjavanja otpada.

Općenito, preporučeni postupci zbrinjavanja iz navedenih skupina zbrinjavanja otpada koji se ne oporabljuje, odnosno koji se ne može ili ne mora oporabiti, a koji se mora na zakonom propisani način zbrinuti, navedeni su u tablici 17.

Pod pojmom *odlagalište otpada* podrazumijeva se građevina namijenjena odlaganju otpada na površinu ili pod zemlju (podzemno odlagalište), uključujući:

- interno odlagalište otpada na kojem proizvođač odlaže svoj otpad na samom mjestu proizvodnje,
- stalno odlagalište otpada, ili njegov dio, koje se može koristiti za privremeno skladištenje otpada (npr. za razdoblje dulje od jedne godine),
- iskorištene površinske kopove ili njihove dijelove nastale rudarskom eksploatacijom i/ili istraživanjem pogodne za odlaganje otpada.

Odlagališta otpada se dijele na sljedeće kategorije:

- odlagalište za opasni otpad,
- odlagalište za neopasni otpad,
- odlagalište za inertan otpad.

Tablica 17: Postupci zbrinjavanja otpada

Oznaka	Postupak zbrinjavanja
D1	Odlaganje otpada u ili na tlo (npr. odlagalište, itd.)
D2	Obrada otpada na ili u tlu (npr. biološka razgradnja tekućeg ili muljevitog otpada u tlu, itd.)
D3	Duboko utiskivanje otpada (npr. utiskivanje otpada crpkama u bušotine, iscrpljena ležišta soli, prirodne šupljine, itd.)
D4	Odlaganje otpada u površinske bazene (npr. odlaganje tekućeg ili muljevitog otpada u jame, bazene, lagune, itd.)
D5	Odlaganje otpada na posebno pripremljeno odlagalište (odlaganje u povezano komore koje su zatvorene i izolirane jedna od druge i od okoliša, itd.)
D6	Ispuštanje otpada u kopnene vode isključujući mora/oceane
D7	Ispuštanje otpada u mora/oceane uključujući i ukapanje u morsko dno
D8	Biološka obrada otpada koja nije specificirana drugdje u ovim postupcima, a koja za posljedicu ima konačne sastojke i mješavine koje se zbrinjavaju bilo kojim postupkom D1 - D12
D9	Fizikalno-kemijska obrada otpada koja nije specificirana drugdje u ovim postupcima, a koja za posljedicu ima konačne sastojke i mješavine koje se zbrinjavaju bilo kojim postupkom D1 – D12 (npr. isparavanje, sušenje, kalciniranje, itd.)
D10	Spaljivanje otpada na kopnu
D11	Spaljivanje otpada na moru
D12	Trajno skladištenje otpada (npr. smještaj spremnika u rudnike, itd.)
D13	Miješanje otpada prije podvrgavanja bilo kojem postupku D1 – D12
D14	Ponovno pakiranje otpada prije podvrgavanja bilo kojem od postupaka D1 – D13
D15	Skladištenje otpada prije primjene bilo kojeg od postupaka zbrinjavanja D1 – D14 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka).

### 6.3. Utjecaj neučinkovitog gospodarenje otpadom na zdravlje

Kako je već navedeno, otpad nastaje kao posljedica svih ljudskih aktivnosti od onih u kućanstvima do onih u svim gospodarskim djelatnostima, a predstavlja gubitak materijala i energije. Donosi troškove društvu, koje treba osigurati njegovo skupljanje, prijevoz i odgovarajuće zbrinjavanje kako bi se smanjili pritisci na okoliš.



Kada se govori o problemu neadekvatnog odlaganja otpada iz kućanstva najprije je potrebno spomenuti njegov higijensko-epidemiološki značaj. Naime, otpadne tvari organskog porijekla izravno ugrožavaju okoliš i zdravlje stanovništva. Nestabilan organski materijal sadržan u ovom otpadu se raspada pri čemu nastaju neprijatni mirisi koji zagađuju zrak ( $H_2S$ , merkaptani, metan). U otpadu iz kućanstva mogu se naći uzročnici tuberkuloze, infektivnog hepatitisa, trbušnog tifusa, paratifusa i dizenterije, stafilokoki, streptokoki i drugi uzročnici bolesti.

Nehigijensko odlaganje otpada iz kućanstva uzrokuje trajno zagađivanje zemljišta u naselju i oko njega, a produkti raspadanja opterećuju tlo, procjeđuju se do prvog vodonosnog sloja i zagađuju vodu za piće. Kao posljedica tog zagađivanja može doći do epidemija. U naseljima gdje odlaganje otpada nije riješeno na higijenski način, česte su crijevne infekcije kod stanovništva, a javljaju se povremeno i epidemije crijevnih zaraznih oboljenja.

Otpad sadrži i tvari anorganskog porijekla, koje, iako se ne raspadaju, svojim nagomilavanjem u kućanstvima i naseljima sprečavaju normalnu djelatnost. Otpad iz kućanstava i industrije može sadržavati različite toksične anorganske onečišćujuće tvari (teške metale, lužine, kiseline) koje predstavljaju veliku opasnost za ljude i životinje, naročito ako dospiju u vodotoke ili u vodu za piće.

Općenito, otpad i gospodarenje otpadom uzrokuju emisije u vode, zrak i tlo, koje mogu utjecati na zdravlje ljudi i okoliš. Koliki će taj utjecaj biti ovisi o količini i svojstvima otpada te o načinu postupanja s njim. Gospodarski rast i rastuća potrošnja materijala rezultiraju stalnim porastom količina otpada, koji se bilježi u svim europskim zemljama, pa tako i u Hrvatskoj, pa stoga gospodarenje otpadom uvijek treba započeti mjerama sprječavanja i smanjivanja nastanka otpada.

Kod već nastaloga otpada treba odabrati optimalnu metodu obradbe ili konačnoga zbrinjavanja, koja će proizvesti najmanji rizik za ljudsko zdravlje i okoliš. Na primjer, odlaganje može imati potencijalno velik utjecaj na vode i tlo zbog teških metala u procjednim vodama, na zrak zbog emisije metana, posebno ako se otpad odlaže na nekontrolirana i neuređena odlagališta. Stoga, nastajanje otpada treba promatrati kao dio sveukupnoga materijalnog ciklusa kako bi se mogle odabrati najbolje opcije glede smanjivanja onečišćenja iz cjelokupnoga ciklusa, i kako bi se izbjeglo "prebacivanje" nastanka otpada iz jednoga dijela ciklusa u drugi.

Odrediti apsolutnu vrijednost rizika neučinkovitog i nepropisnog gospodarenja otpadom značilo bi u potpunosti predvidjeti neki budući događaj, a to je nemoguće. Stoga, rizik od ovakvog nedopustivog načina odlaganja otpada, pa i onog načina otpada koje je u suglasju s propisima, moguće je samo procijeniti.

Procjena rizika je znanstveno utemeljen proces ocjenjivanja potencijalnih štetnih učinaka gospodarenja otpadom, posebice njegovog zbrinjavanja trajnim odlaganjem i/ili obradom, i sastoji se od četiri faze: identifikacije opasnosti, karakterizacije opasnosti, procjene izloženosti i karakterizacije rizika.

U ovom slučaju, kada se govori o čimbenicima rizika koji utječu na stanje okoliša, a vezani su na gospodarenje otpadom i način na koji se ono provodi, zauzima posebno značajno mjesto. Naime, gospodarenje otpadom se mora provoditi na način koji ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i koji ne dovodi do štetnih utjecaja na okoliš, a osobito kako bi se izbjeglo sljedeće:

- rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti,
- pojava neugode uzorkovane bukom i/ili mirisom,
- štetan utjecaj na područja kulturno-povijesnih, estetskih i prirodnih vrijednosti te drugih vrijednosti koje su od posebnog interesa,
- nastajanje eksplozije ili požara.

Odlaganje otpada na nedozvoljen način, kako u svijetu, tako i kod nas, ogleda se u prevelikom broju tzv. divljih odlagališta otpada koja su ujedno i jedan od značajnijih nekontroliranih izvora onečišćenja voda. Naime, vrlo često se otpad odlaže na obale, područje oko prirodnoga korita vodotoka, bivše rukavce, pa i u same vodotoke, kanale ili stare šljunčare. Većinu lokalnih onečišćenja, odnosno onečišćenja na manjim vodotocima izaziva upravo ovakvo odlaganje otpada različitog sastava, od kojeg je dio i opasan. Budući da većina postojećih odlagališta otpada uglavnom nisu građena sukladno važećim propisima, dio procjednih voda iz tih odlagališta nekontrolirano završava u okolišu i ugrožava kakvoću voda, a time i uzrokuje štetne učinke po čovjeka i ostali živi svijet.

Teško je izmjeriti učinke na zdravlje stanovništva nastale dugoročnom ekspozicijom stanovnika djelovanju tvari prisutnih u otpadu, tvari nastalih u procesima obrade otpada, naročito imajući u vidu da su te koncentracije pretežno niske, kao i sagledavajući složen način njihovog prijenosa kroz tlo do podzemnih voda, ulaz u hranidbeni lanac i sl.

Ipak, uslijed nedostatka kvalitetnih istraživanja i dokaza o utjecaju postrojenja za obradu otpada, njihova izgradnja i rad izazivaju pozornost i zabrinutost javnosti. Naime, različiti akcidenti, koji često i nisu u svezi s gospodarenjem otpadom proizveli su izuzetno jak, dobro poznati, NIMBY (engl. *not in my backyard* - ne u mom dvorištu) sindrom koji izaziva protivljenje izgradnji postrojenja za zbrinjavanje/obradu otpada kao što su odlagališta, reciklažna dvorišta, spalionice itd.

Istovremeno su vlade mnogih država pod sve većim pritiskom javnosti i dužne su pružiti dokaze o utjecaju ovakvih postrojenja na zdravlje stanovnika, pa je i izrađen veliki broj radova i studija u kojima su prikazani rezultati istraživanja utjecaja emisija onečišćujućih tvari na zdravlje ljudi u blizini različitih postrojenja za obradu otpada. Epidemiološke studije su tako često ukazivale na postojanje određenih veza između nastalih bolesti i blizine lokacije postrojenja za obradu otpada, ali ogroman broj tih studija ipak nije uspostavio značajne dokaze o uzročno-posljedičnim vezama.

Nastajanje određenih zdravstvenih problema se može povezati sa svakim korakom u životnom ciklusu otpada, tokom rukovanja, obrade i/ili odlaganja i to zbog:

- izravnog izlaganja utjecaju otpada, kroz procese povrata i reciklaže ili drugih vidova izlaganja opasnim tvarima iz otpada (plinovi iz spalionica, ili deponija, miris, štetočine, buka i sl.
- posrednim utjecajem (npr. gutanjem kontaminirane vode, hrane sa kontaminirano tla zagađenog odlaganjem otpada i sl. ).

Epidemiološke studije koje se bave utjecajem aktivnosti gospodarenja otpadom na zdravlje stanovnika se temelje na monitoringu (zbog, prije svega etičkih razloga), a ne na eksperimentalnom istraživanju.

Ekspozicija stanovništva utjecaju postrojenja za obradu otpada može biti:

- **akutna**, kratkotrajno izlaganje visokoj koncentraciji opasnih tvari, bioaerosola i prašine do čega dolazi usljed akcidenata koji mogu nastati pri radu postrojenja za obradu otpada,
- **kronična**, kada se radi o dugotrajnom izlaganju relativno niskim koncentracijama opasnih tvari.

Uspješno određivanje utjecaja otpada i procesa njegovog zbrinjavanja na urbano stanovništvo moguće jedino primjenom multidisciplinarnog sagledavanje svih potrebnih čimbenika:

- stanje količina i karakteristika otpada, prirode i karakteristika postrojenja za obradu i način gospodarenja otpadom;
- socijalnih i ekonomskih karakteristika stanovništva;
- izloženosti stanovništva, zdravstvenih učinaka koji su povezani s utjecajem otpada;
- specifičnih karakteristika urbane sredine.

Imajući u vidu karakteristike otpada i emisije štetnih onečišćujućih tvari nastalih u procesima njegove obrade, kao indikatori zdravstvenih učinaka često u studijama se navode<sup>175</sup>:

- iritacije oka: VOC,
- bronhitis i respiratorne infekcije: čestice prašine, SO<sub>2</sub>,
- astma: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, prašina
- smanjenje kapaciteta za prijenos kisika u krvi: CO<sub>2</sub>,
- štetni učinci na središnji živčani sustav: olovo, mangan, CO,
- štetni učinci na imunološki sustav: Pb, dioksini, PAU, benzen, PCB, organklorovi spojevi
- štetni učinci na reproduktivnu moć: As, Cd, Pb, Hg, benzen, klorovi spojevi, PAU, PCB,
- karcinom: PAU, As, Ni, Cr, vinil klorid, benzen,
- štetni učinci na jetru: As, PCB, kloroform, vinil klorid,
- štetni učinci na bubrege: Hg, Cd, As, Pb, halogenirani ugljikovodici, organska otapala, pesticidi.

Postoji veliki broj istraživanja u kojima su promatrani utjecaji odlagališta otpada i spalionica na zdravlje stanovništva, ali na žalost mali broj istraživanja se bavio utjecajem procesa kompostiranja, a još manje utjecajem reciklaže na zdravlje ljudi.

Najveći broj radova se odnosi na istraživanja utjecaja procesa zbrinjavanja i obrade otpada na zdravlje ljudi u neposrednoj blizini ovih postrojenja, a vrlo mali broje se bavio utjecajima na zdravlje šire populacije.

Uzročno posljedična veza između utjecaja različitih emisija iz postrojenja za obradu otpada i zdravstvenog stanja stanovništva na određenom prostoru se može utvrđivati provedbom različitih epidemioloških studija koje istražuju zdravstveno stanje stanovništva na tom prostoru. U ovakvim studijama se mogu naći uspostavljene korelacije i statistički odnosi i između razine onečišćujućih tvari iz postrojenja i učestalosti pojedinih bolesti kod definiranih grupa stanovništva na promatranom prostoru, iako je na temelju ovih istraživanja nemoguće izvršiti kvantitativnu determinaciju rizika od obolijevanja pri određenim uvjetima zagađenja.

## 7. ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA BUKOM

Iako je zvuk sastavni dio prirode, posljednjih stotinu godina, a zahvaljujući industrijalizaciji i urbanizaciji, u određenim uvjetima predstavlja i opasnost po ljudsko zdravlje. Unatoč činjenici da zakonodavstvo o buci na razini Europske unije postoji još od 1970. godine, izloženost stanovništva buci se od tada nije smanjila, već je, kako se promet motornih vozila povećavao, stanovništvo postajalo sve izloženije buci.

Tako je buka postala jedan od najraširenijih okolišnih problema u Europi, s ozbiljnim posljedicama. Njena prekomjerna emisija može imati štetne posljedice po javno zdravlje i prema podacima<sup>176</sup> Svjetske zdravstvene organizacije WHO (*engl. World Health Organization*) štetni učinci buke na zdravlje ljudi svake godine su sve veći. Prema istom izvoru se samo u zapadnoj Europi godišnje izgubi oko milijun godina zdravog života zbog buke okoliša koja u okoliš dospjeva iz različitih izvora.

Prema *Zakonu o zaštiti od buke*<sup>177</sup>, *buka okoliša* jest neželjen ili po ljudsko zdravlje i okoliš štetan zvuk u vanjskome prostoru izazvan ljudskom aktivnošću, uključujući buku koju emitiraju: prijevozna sredstva, cestovni promet, pružni promet, zračni promet, pomorski i riječni promet kao i postrojenja i zahvati za koje je prema posebnim propisima iz područja zaštite okoliša potrebno pribaviti rješenje o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša, odnosno rješenje o prihvatljivosti zahvata za okoliš.

Danas se zakonodavstvo Europske unije o zaštiti od buke može se podijeliti na ono koje regulira razine buke koja dolazi iz određenih izvora (promet) i ono koje se tiče razine buke u okolišu, tj. izloženosti stanovništva buci.

**Buka iz okoliša** – uređena je Direktivom 2002/49/EZ, sa ciljem smanjenja izloženosti buci iz okoliša usklađivanjem pokazatelja buke i metoda procjene, prikupljanjem podataka o izloženosti buci u obliku zemljovida buke i pružanjem javnog pristupa tim informacijama. Na toj su osnovi države članice dužne sastaviti akcijske planove za rješavanje problema buke. Zemljovidi buke i akcijski planovi trebali bi se preispitati najmanje svakih pet godina.

**Buka iz cestovnog prometa** – uređena je Direktivom 70/157/EEZ i Direktivom 97/24/EZ (koje će 2016. biti zamijenjene novim propisima), a kojima su određena ograničenja o dopuštenoj razini zvuka motornih vozila, mopeda i motocikala. Nova uredba o razini zvuka motornih vozila donesena je u travnju 2014. te je njome uvedena nova metoda provjere za mjerenje emisije buke, pri čemu se trenutno važeće granične vrijednosti buke snižavaju, a njome su obuhvaćene i dodatne odredbe o emisiji buke pri postupku homologacije. Ona će se primjenjivati od travnja 2016. godine. Kao dopuna tome, Direktivom 2001/43/EZ predviđena je provjera i ograničavanje razina buke pri kotrljanju guma i njihovo postupno smanjenje.

**Buka iz zračnog prometa** – Sukladno standardima Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva još 1992. godine je ograničeno korištenje civilnim subsoničnim mlaznim zrakoplovima. To je u stvarnosti značilo zabranu prometa najbučnijih letjelica u europskim zračnim lukama pa je Direktiva 92/14/EEZ stavljena izvan snage Direktivom 2006/93/EZ).

**Buka iz željezničkog prometa** – U kontekstu direktive o željezničkoj interoperabilnosti, u tehničkoj specifikaciji za interoperabilnost o buci utvrđene su najveće dopuštene razine buke koju stvaraju nova (standardna) željeznička vozila. Komisija je 2013. godine započela javno savjetovanje o *djelotvornom smanjenju buke koju stvaraju željeznički teretni vagoni u Europskoj uniji* radi mogućeg nastavka djelovanja na smanjenju buke.

**Buka iz ostalih izvora** – Velika industrijska i poljoprivredna postrojenja obuhvaćena Direktivom o industrijskim emisijama 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 24. studenoga 2010. mogu dobiti dozvole ako kao referencu primjenjuju najbolje raspoložive tehnike (NRT). Propisana je i buka koju odašilju građevinski strojevi (npr. utovarivači, strojevi za prijenos zemlje i dizalice) te rekreacijska plovila i oprema za vanjsku uporabu.

## 7.1. Buka u velikim gradovima i njen utjecaj na zdravlje

Razvoj i rast gradova imao je za posljedicu i povećanje prometa te raznih građevinskih i industrijskih postrojenja čija djelatnost proizvodi buku koja postaje sve veći čimbenik i problem u okolišu zbog štetnih učinaka na zdravlje ljudi. Zanimljivo je da, čak 80 % onečišćenja bukom u gradovima dolazi od automobila, dok ostatak čini buka od građevinskih radova, industrije i tek na kraju različitih manifestacija (koncerti i sl.).

Problem buke u velikim gradovima imaju svi veliki gradovi u svijetu, a broj euroljana izloženih visokim razinama buke svakim danom je sve veći. Prema nekim podacima<sup>178</sup>, Svjetska zdravstvena organizacija je analizom stanja u 96 velikih gradova utvrdila da razina buke premašuje zdravstvene standarde i to: prekoračenje granične vrijednosti za noć u 98 % analiziranih slučajeva, a danju je prekoračenje utvrđeno u 88,5 % slučajeva. Ovo ukazuje na činjenicu da je svaki dan gotovo 70 milijuna Europljana (oko 40 %) u gradovima samo zbog prometa izloženo razini buke koja prelazi 55 dB danju, a čak 35 milijuna (oko 20 %) njih svaki dan je izloženo razini buke koja prelazi 65 dB i koja je štetna za zdravlje.

Nepovoljni učinci buke na zdravlje dijele se na direktne i indirektne. Izravni učinci buke na zdravlje se odnose prvenstveno na oštećenja sluha u smislu početne akustičke traume, naglušosti i gluhoće, dok indirektno buka utječe na vegetativni i endokrini sustav, što zajednički rezultira umorom, smanjenjem koncentracije i radne sposobnosti, oštećenjem sluha itd. S obzirom da u današnje vrijeme naseljena područja obiluju izvorima buke, radi poboljšanja kvalitete života stanovništva potrebno je upravljati bukom, te provoditi mjere zaštite od buke kako bi se njen utjecaj na ljudsko zdravlje sveo na najmanju moguću mjeru.

Danas se dosta istražuje i utjecaj buke na živčani, krvožilni, probavni i hormonski sustav što se može očitovati porastom krvnog tlaka, poremećajem u radu probavnih organa, naročito crijeva, suženjem vidnog polja te endokrinološkim i metaboličkim poremećajima.

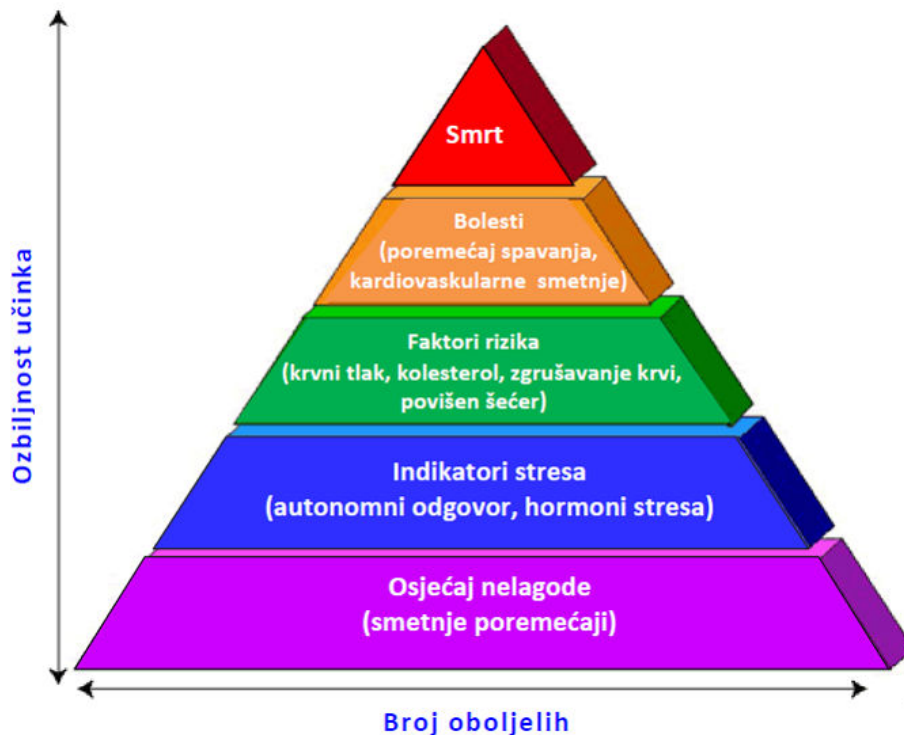
Izloženost intenzivnoj buci ima izravan utjecaj na zdravlje tj. izravno uzrokuje oštećenje sluha. Pri tome oštećenja u početku nastaju u području visokih frekvencija pa ih čovjek u početku nije svjestan. Tek kod težih oštećenja kad se ona javljaju u području govornih frekvencija (1000-3000 Hz) čovjek primijeti poteškoće u komuniciranju tj. da nešto nije u redu sa sluhom. Oštećenja sluha bukom su najčešće profesionalna i nastaju u kontinuiranoj izloženosti buci iznad 90 decibela dB. Međutim neka istraživanja na mlađoj populaciji 1998. i 1999. godine su pokazala da su oštećenja sluha i danak civilizacije. Naime uzorak od 12. 000 zdravih ispitanika je pokazao da već u dobi od 16 do 20. godina 11 % ima oštećen sluh i to kao posljedicu korištenja elektroakustičnih uređaja odnosno kao posljedicu korištenja petardi, raketa te različitog vatrenog oružja<sup>179</sup>.

Neizravno buka utječe na organe i tjelesne sustave kao što su to živčani sustav, krvožilni sustav, probavni i hormonski sustav. Dovodi do metaboličkih i endokrinoloških poremećaja. Također utječe na čovjekovo funkcioniranje i obavljanje svakodnevnih poslova te odmor i san. Naročito pogubno djeluje na umni rad i dovodi do poteškoća s koncentracijom, zadržavanjem pažnje, usvajanjem novih spoznaja, te uzrokuje razdražljivost i nesanicu, slika 29.

Buka razine preko 60 dB neizravno djeluje na podraživanje simpatičkog dijela autonomnog živčanog sustava tj onog dijela središnjeg živčanog sustava koji ne ovisi o volji čovjeka, a koji upravlja važnim životnim funkcijama. Tako povišenjem buke dolazi i do povišenog tonusa simpatikusa koji izaziva ubrzani rad srca, porast krvnog tlaka, ubrzano disanje, pojačano znojenje, poremećaj u radu probavnih organa naročito crijeva, poremećaj funkcije žlijezda s unutarnjim izlučivanjem, pa i nagle kontrakcije mišića<sup>179</sup>.

Posljedice djelovanja buke na ljude stoga mogu biti slijedeće:

- naglušost i gluhoća (poremećaji u razumijevanju i komunikaciji),
- neurovegetativne reakcije (hipertenzija, endokrinološki i poremećaji metabolizma),
- umor i psihičke reakcije (razdražljivost),
- smanjenje radne i životne sposobnosti.



Slika 29. Piramida učinaka buke na zdravlje ljudi<sup>180</sup>

Buka može izazvati podražaj simpatikusa koji opet izaziva ubrzani rad srca, porast krvnog tlaka, ubrzano disanje i znojenje. Reakcija može biti kratkotrajna, ali i kronična kada se najčešće očituje kao nesanicu, povišen krvni tlak, poremećaj apetita i seksualnih funkcija, tjeskoba i depresija. Sumarno govoreći, osoba razvija kronični umor, a njezino stanje nerijetko se kvalificira kao bukom izazvana neuroza.

Dugotrajna izloženost buci prometa intenziteta 60 – 70 dB može također dovesti do navedenih zdravstvenih smetnji ili pogoršati postojeće bolesti: artritis, bronhitis, depresija. Buka iz okoliša poput one prouzročene gustim prometom, može povećati rizik za in-



farkt 2 do 3 puta. U drugim istraživanjima<sup>181</sup> u kojim je sudjelovalo 4000 osoba utvrđeno je da prag iznad kojeg se javlja viši rizik za infarkt iznosi 60 dB. Dobiveni rezultati pojašnjeni su utjecajem buke na povišenje razine psihološkog stresa što dovodi do fizioloških promjena u organizmu koje uključuju povišenje adrenalina i noradrenalina, hormona koji utječu na povišenje krvnog tlaka. Rizik za infarkt bio je direktno povezan s razinom buke te znanstvenici pozivaju na preispitivanje postojećih propisa koji to reguliraju.

Agresivno ponašanje može također biti uzrokovano bukom i javlja se kod buke iznad 80 dB.

Dopuštene razine vanjske i unutarnje buke okoliša su propisane pravilnicima o najvišim dopuštenim razinama buke, a ovise o nizu faktora kao što su npr. vrsta rada koja se obavlja (fizički ili umni rad), namjena prostora (bolnica, stambena zona, poslovno-stambena, industrijska), dan ili noć. Tako je u svakoj zoni najviša razina vanjske buke za najmanje 10 dB niža noću nego danju. Najniža je u zoni bolnica, zoni odmora i rekreacije, kulturno povijesnih lokaliteta i parkova (dan 50 dB, noć 40 dB, stambena gradska područja (dan 55 dB, noć 65 dB) dok je u npr. poslovno-stambenoj zoni unutar gradskog središta, duž zone autocesta i glavnih gradskih prometnica 65 dB danju odnosno 50 dB noću.

Prema, podacima Europske agencije za okoliš, buka okoliša u Europi je povezana s oko 43 000 slučajeva bolničkog liječenja, 900 000 slučajeva pojave povišenog krvnog tlaka i do 10 000 preuranjenih smrtnih slučajeva godišnje<sup>182</sup>.

## 8. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

U odnosu na ne tako davnu prošlost, stanovnici na Zemlji su noću iznad sebe imali potpuno tamno i mračno noćno nebo obasuto zvijezdama, dok posljednjih godina ovakvu blagodat mogu uživati samo stanovnici manje razvijenih zemalja koji nisu imali prilike niti izvore kojima bi ugrozili noćno nebo prekomjernom upotrebom umjetne rasvjete.

Naime, danas se svakodnevno susrećemo sa svjetlosnim onečišćenjem koje je prije svega posljedica raspršenog svjetla gradova i drugih emisija svjetlosti iz umjetnih izvora uglavnom iz urbanih sredina i područja u kojima su koncentrirani gospodarski subjekti (tvornice, skladišta i sl.).

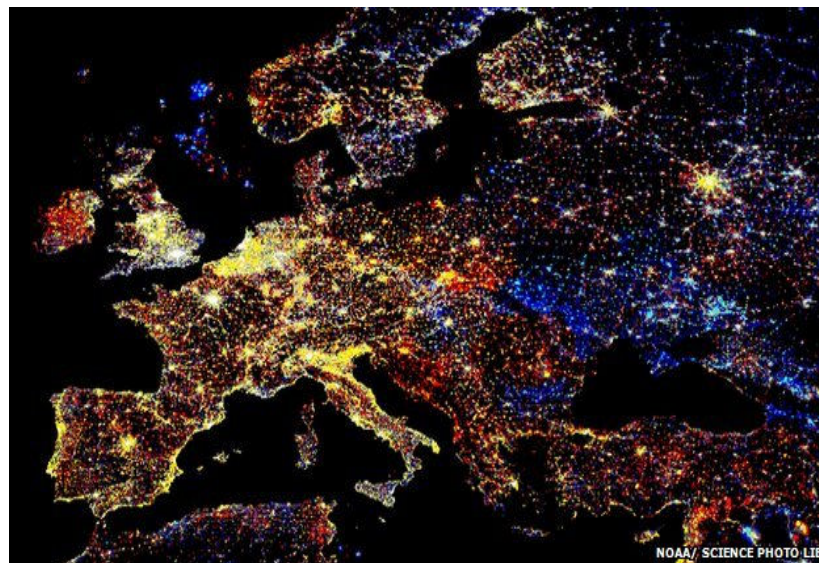
Veliki dio svjetlosnih tokova iz ovih izvora, a time i energije, rasprši se i izgubi u nebu, zbog čega nam noćno nebo postaje svjetlije, a nebeski objekti se u njegovom zaleđu posve izgube. Svjetlosno onečišćenje se danas smatra kompleksnim problemom koji ima vrlo široke posljedice i djelovanja te mnogo pažnje usmjerava na utjecaj svjetlosnog onečišćenja na okoliš i ljudsko zdravlje.

Nezasjenjene i nestručno postavljene svjetiljke vanjske rasvjete uzrokuju različite štetne učinke po okoliš, a to su obično smetnje pri astronomskim promatranjima, izazivaju

hormonske poremećaje kod smjenskih radnika, imaju za posljedicu dezorijentaciju u prostoru ptica, mladunaca morskih kornjača i nekih drugih vrsta, što izravno utječe na njihov opstanak, a nerijetko je uzrokom promjene staništa svjetlosnim onečišćenjem ugroženih životinjskih vrsta.

Međunarodna udruga za tamno nebo (engl. *International Dark Sky Association*, IDA) koja je osnovana u SAD 1988. godine, kao neprofitna organizacija okuplja brojne članice civilnog društva iz više od 60 zemalja, i bori se protiv svjetlosnog onečišćenja, definira svjetlosno onečišćenje (engl. *light pollution*) kao *svaki štetni učinak umjetnoga svjetla, uključujući povećanje svjetline noćnoga neba, zasljepljivanje, osvjetljivanje izvan područja koja je potrebno osvijetliti, prekomjerno osvjetljivanje, smanjenu vidljivost noću i rasipanje svjetlosne energije*<sup>183</sup>.

Istraživanja svjetlosnoga onečišćenja i njegovih posljedica sve se više provode u posljednjih 20-tak godina, što je i dovelo do unapređenja pravnog sustava u području zaštite okoliša jer su u mnogim zemljama doneseni zakoni kojima se uređuje pitanje zaštite od svjetlosnog onečišćenja, slika 30, kao i načini provedbe niza mjera kojima se ograničava i/ili smanjuju štetni učinci umjetne rasvjete.



Slika 30. Svjetla Europe snimljena iz svemira<sup>184</sup>

Naime, dok *svjetlosno onečišćenje* predstavlja promjenu razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovanu unošenjem svjetlosti proizvedene ljudskim djelovanjem, *zaštita od svjetlosnog onečišćenja* obuhvaća mjere zaštite od nepotrebnih, nekorisnih ili štetnih emisija svjetlosti u prostor u zoni i izvan zone koju je potrebno osvijetliti te mjere zaštite noćnoga neba od prekomjernog osvjetljenja.

Pravno uređenje problema svjetlosnog uređenja u našem okruženju riješeno je u pojedinim pokrajinama Italije i Slovenije dok se u ostatku Europe uglavnom primjenjuju usuglašene norme, standardi i preporuke o izvedbi vanjske i javne rasvjete.

Niti okoliš u našoj zemlji nije ostao pošteđen od svjetlosnog onečišćenja, te su i kod u posljednjim godinama zabilježeni njegovi štetni učinci i to uglavnom kao posljedica emisije svjetlosti iz umjetnih izvora urbanih područja<sup>185</sup>. S obzirom na utvrđenu potrebu za zaštitom okoliša od svjetlosnog onečišćenja, a istodobno i zbog usklađivanja legislative za ulazak RH u EU, bilo je nužno poduzeti odgovarajuće mjere glede unapređenja hrvatskog zakonodavstva u ovom području zaštite okoliša.

Pravni okvir za donošenje propisa o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja kod nas je *Zakon o zaštiti okoliša* čije se odredbe, koje se odnose na štete u okolišu i prijeteće opasnosti od šteta, primjenjuju i na pitanja utvrđivanja odgovornosti za štetu i uzrokovanu opasnost od šteta u okolišu koje su posljedica svjetlosnog onečišćenja<sup>185</sup>.

Svjetlosno onečišćenje se prije donošenja *Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja*<sup>186</sup>, u hrvatskom zakonodavstvu uopće nije spominjalo, izuzev indirektno u nekim zakonima poput *Zakona o sigurnosti prometa na cestama*<sup>187</sup> i *Zakona o zaštiti prirode*<sup>188</sup>.

*Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja* stupio je na snagu 1. siječnja 2012. godine i njegove osnovne značajke su definiranje ključnih pojmova svjetlosnog onečišćenja i načela zaštite, subjekata koji tu zaštitu provode te očuvanja resursa.

Prema Zakonu o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja<sup>186</sup> svjetlosno onečišćenje okoliša jest *emisija svjetlosti iz umjetnih izvora svjetlosti koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje i uzrokuje osjećaj blještavanja, ugrožava sigurnost u prometu zbog blještavanja, zbog neposrednog ili posrednog zračenja svjetlosti prema nebu ometa život i/ili seobu ptica, šišmiša, kukaca i drugih životinja te remeti rast biljaka, ugrožava prirodnu ravnotežu na zaštićenim područjima, ometa profesionalno i/ili amatersko astronomsko promatranje neba ili zračenjem svjetlosti prema nebu nepotrebno troši električnu energiju te narušava sliku noćnog krajobraza.*

## 8.1. Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na zdravlje ljudi

Svjetlosno onečišćenje uzrokuje zdravstvene probleme kod ljudi i životinja, narušava ekosustav i remeti astronomska promatranja. Takvo onečišćenje smeta pticama jer ometa njihovo gniježđenje. Naime, znanstveno je dokazano da broj gnijezda na područjima s jakim svjetlosnim onečišćenjem znatno opada, a na mnogim se područjima ptice više ne gnijezde. Bez zvjezdanog se neba ptice selice ne mogu orijentirati, a zbog pretjeranog blještavila često se sudaraju s raznim građevinama. Zbog svjetlosnog onečišćenja strada više ptica na godinu nego zbog svih ostalih ekoloških katastrofa zajedno, a događa se da se neke zbog hormonalnih poremećaja ne gnijezde u proljeće već u jesen.

Kornjače su životinje koje su također ugrožene svjetlosnim onečišćenjem jer se događa da morske kornjače zbog odbljeska svjetla od površina više ne prepoznaju more već se kreću prema javnoj rasvjeti i završavaju pod kotačima automobila ili kao laka hrana grabežljivcima. Nadalje, svjetlo privlači i mnoge kukce koji stradavaju kada se previše približe rasvjetnim tijelima, a to dovodi do neravnoteže u ekosustavu. Neke se vrste životinja hrane noću, no zbog jakog svjetlosnog onečišćenja više ne mogu raspoznavati dan od noći. Stoga je pretjerana umjetna svjetlost nekim ekosustavima vrlo ozbiljna prijetnja koja može ugroziti opstanak pojedinih vrsta<sup>189</sup>.

Izmjena dana i noći vrlo je važna za ljudsko zdravlje. Nepotrebna i prejaka svjetlost noću prekida stvaranje hormona melatonina, a neka istraživanja pokazuju da smanjena proizvodnja melatonina uzrokuje karcinom dojke, prostate i debelog crijeva. Uostalom sve češći poremećaji spavanja jedan su od glavnih uzroka depresije.

U zadnjih nekoliko godina sve više se pažnje poklanja utjecaju svjetlosnog zagađenja na čovjeka, odnosno na njegovo zdravlje. Istraživanja su dokazala da umjetna rasvjeta utječe na ljude tako da dolazi do poremećaja sna, životnog ritma, a neke studije čak pokazuju i mogućnost hormonalnih poremećaja, koji mogu uzrokovati niz oboljenja.

Jedan iz niza štetnih učinaka svjetlosnog onečišćenja može se ilustrirati i inhibicijom djelovanja hormona melatonina u ljudskom organizmu. Naime, melatonin je hormon koji se može naći u mnogim živim bićima gdje ima značajnu ulogu u 24-satnom ciklusu izmjene dana i noći<sup>190</sup>. Melatonin luči epifiza, malena žlijezda koja se nalazi u mozgu, a proizvodi ga isključivo tijekom noći tj. nakon što informacije o količini svjetla dođu do epifize putem fotoosjetljivih stanica u mrežnici oka. Tek 1993. godine je otkriveno da melatonin osim funkcije biološkog sata djeluje kao antioksidans, a u mnogim jednostavnim organizmima to mu je i jedina funkcija. Melatonin vrlo lako prolazi kroz međustanične membrane te pospješuje učinkovitost drugih antioksidansa. Dokazano je da je kao antioksidans dvostruko učinkovitiji od vitamina E.

Poznato je da svaki čovjek nosi tumorske stanice u tijelu čiju aktivnost stalno kontrolira imunološki sustav, a melatonin je hormon koji noću upravo potiče imunološku anti-tumorsku aktivnost<sup>190</sup>. Tvorba melatonina naglo prestaje prilikom izlaganja umjetnoj rasvjeti, što ovisi o intenzitetu i valnoj duljini svjetlosti. Novija istraživanja pokazuju da smanjena proizvodnja melatonina noću zbog umjetnog svjetla pogoduje razvoju tumorskih bolesti, posebno raku dojke kod žene iznad 50 godina starosti. Naime, mnoga istraživanja pokazala su ulogu melatonina u sprečavanju pojavljivanja karcinoma dojke<sup>191</sup>, a istraživanja u Izraelu pokazala su da žene koje žive u području gdje je na ulici jaka rasvjeta imaju 73% veću šansu da im se razvije karcinom dojke. Osim toga, poremećaju u biološkom satu mogu uzrokovati nemogućnost dojenja novorođenčadi.

Pretjerana izloženost umjetnoj svjetlosti noću je samo dodatni čimbenik rizika za žene koji posebno ugrožava žene u jako razvijenim zemljama.

Uloga svjetlosti i kod drugih tumorskih bolesti se danas intenzivno istražuje. Tako se vjeruje da je izloženost svjetlosti noću potencijalni čimbenik rizika za pojavu raka prostate i raka debelog crijeva. Treba stalno imati na umu da mrak stimulira sintezu melatonina

i njegovo otpuštanje u tijelu, dok ga svjetlost koči. Najviša razina melatonina u tijelu je za vrijeme sna oko pola noći.

Dugotrajan rad u noćnim smjenama također znatno povećava rizik od karcinoma. Opasnost od karcinoma nije ograničena samo na karcinom dojke već je povećana i za pojavu karcinoma prostate, debelog crijeva te sluznice maternice. Spomenuti učinci povećani su prilikom izlaganja svjetlosti sa velikom emisijom plavog spektra kao što imaju sve moderne LED sijalice, što je potvrdila i Europska komisija.

## 9. ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA ELEKTROMAGNETNIM ZRAČENJEM

Elektromagnetsko (EM) zračenje kao posljedica ubrzanog tehnološkog razvoja je danas možda najveća prijetnja čovječanstvu i prirodi. No, najveća opasnost ovog onečišćenja je što ga ne možemo osjetiti, a negativne zdravstvene posljedice se mogu manifestirati tek nakon dužeg perioda, te se obično ne dovode u vezu sa samim elektromagnetskim zagađenjem već s drugim faktorima (stres, loša prehrana).

Treba razlikovati prirodna i umjetna elektromagnetska zračenja. Prirodna zračenja su magnetsko polje Zemlje, elektrostatsko polje atmosfere, prirodna radioaktivnost, sunčeva svjetlost i sva radijacija iz svemira. Umjetna zračenja su sva ona proizvedena od strane čovjeka, a koja možemo okarakterizirati kao elektrosmog odnosno kao još jednu vrst onečišćenja Zemlje.

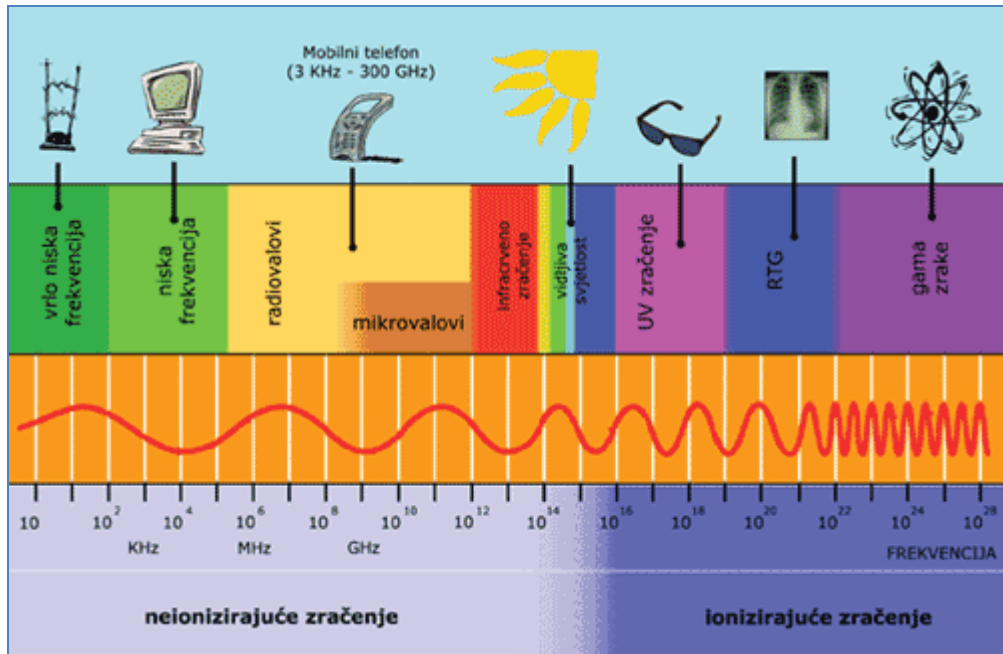
Elektromagnetsko (EM) zračenje obično se dijeli na *niskofrekventno područje* (do 300 Hz) i obuhvaća naponsku mrežu koja radi na 50 Hz, odnosno emisiju EM zračenja svih elektro naprava koje koristimo u kućanstvu i na radnom mjestu (računala, TV-prijamnici, hladnjaci, bojleri, sušila za kosu, itd.), te na elektrodistribucijske sustave (trafo-stanice, dalekovode, kućne elektroinstalacije)<sup>192</sup>.

*Visokofrekventno područje* (300 Mhz-5000 Mhz) za koje se obično koristi termin mikrovalno područje, je frekventno područje u kojem radi većina današnje tzv. 'mainstream' tehnologije: digitalna televizija, mobitelska, wireless i bluetooth komunikacija, bežični kućni telefoni, sustavi za komunikaciju policije i službi za hitnu pomoć, mikrovalne pećnice itd., slika 31.

Elektromagnetsko (EM) zračenje može se podijeliti i na *ionizirajuće* i *neionizirajuće* zračenje.

Ionizirajuće elektromagnetsko zračenje je visokofrekventno zračenje koje ima toliku energiju da može izbiti elektrone iz atoma, odnosno ionizirati molekule. U ovo zračenje spadaju ultraljubičasto zračenje, X-zrake, gama zrake, ali i radioaktivno zračenje. Ovo zračenje je štetno, mutageno i kancerogeno za ljude. Međutim, usprkos tome, danas se ova

ionizirajuća zračenja i radioaktivne tvari koriste u raznim medicinskim dijagnostičkim postupcima i pa čak i u 'liječenju' tumora kad se zračenjem ubijaju maligne stanice.



Slika 31. Spektar elektromagnetnog zračenja<sup>193</sup>

Sva ostala elektromagnetska zračenja na nižim frekvencijama od ionizirajućeg se mogu klasificirati kao neionizirajuća zračenja (naponska mreža, mobiteli, bežična komunikacija). Međutim, iako ih ova klasifikacija automatski nekako označuje kao neopasna zračenja i neionizirajuća elektromagnetska zračenja, a pogotovo umjetna neionizirajuća zračenja mogu biti veoma opasna za ljudsko zdravlje.

Posljednjih tridesetak godina se u javnosti sve češće govori o pitanjima zaštite ljudi od elektromagnetskih zračenja (radijacije), što je zasigurno opravdano i predstavlja jednako važno pitanje kao i pitanja koja se odnose na druge onečišćujuće tvari kojima se opterećuje okoliš i ugrožava život na Zemlji..

Naime, svaki stanovnik Zemlje izložen je zračenju, kako od prirodnih tako i od umjetnih izvora. Prirodno zračenje čini zračenje iz radioaktivnih elemenata iz tla i svemira, dok je uporaba umjetnih izvora ovog zračenja (radioizotopa) od neprocjenjivog značaja u znanstvenim istraživanjima i industriji, medicinskoj dijagnostici, terapijama i sterilizaciji, poljoprivredi i konzerviranju hrane, pronalaženju podzemnih zaliha vode i nafte te u arheološkim istraživanjima.



Zračenje u okolišu, odnosno radioaktivne tvari kao izvori ovog zračenja, u okoliš može doći i iz nuklearnih elektrana, kao i drugih postrojenja i ustanova koje koriste radioaktivne tvari. U našoj zemlji ne postoje nuklearne elektrane, a nama najbliže su NE Krško u Sloveniji (10 km od granice) i NE Pakš u Mađarskoj (70 km od granice). Nuklearne elektrane su projektirane kako bi bile sigurne za okoliš, a postupanje sa radioaktivnim tvarima, posebice nastalim radioaktivnim otpadom, regulirano je propisima i pod strogim je nadzorom nadležnih institucija.

Kao i svaka druga djelatnost, tako i djelatnosti koje koriste izvore zračenja, uz korisnu stranu donosi i opasnost po život i zdravlje ljudi te štetne posljedice po okoliš. Riziku od štetnih djelovanja zračenja ne podliježu samo oni koji rade s izvorima ionizirajućeg zračenja, već i svekoliko pučanstvo, tako da nedovoljno kontrolirana primjena tih izvora može dovesti do prave nacionalne nesreće, a mogu biti ugroženi i žitelji drugih država. Brojna iskustva iz prošlosti<sup>192,194</sup> koja su rezultirala štetnim učincima na pojedinca kao i zagađenje okoliša, ukazala su na potrebu sustavne i organizirane provedbe mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja<sup>195,196</sup>.

Ovo je vrlo važan razlog koji nalaže svakoj državnoj zajednici, pa tako i našoj, obvezu izgradnje učinkovitog, kvalitetnog i uređenog sustava zaštite od zračenja na svim razinama društvenog ustrojstva. Takva sustavna organizacija niza mjera zaštite naziva se *zaštita od zračenja*, a odnosi se na sve ljude koji mogu biti izloženi ozračenju ili posljedicama izlaganja pa se tako vodi računa i o budućim naraštajima koji mogu trpjeti posljedice dosadašnjeg i današnjeg izlaganja zračenju.

Zaštita od zračenja u našoj zemlji ima dugogodišnju tradiciju, a u skladu s njom, nadležno tijelo za provedbu aktivnosti u svezi zaštite od zračenja bilo je Ministarstvo zdravlja. Naime, i danas *Odjel za zaštitu od zračenja* Ministarstva zdravlja obavlja upravno-pravne i stručne poslove te inspekcijske poslove sanitarnog nadzora nad izvorima ionizirajućih i neionizirajućih zračenja.

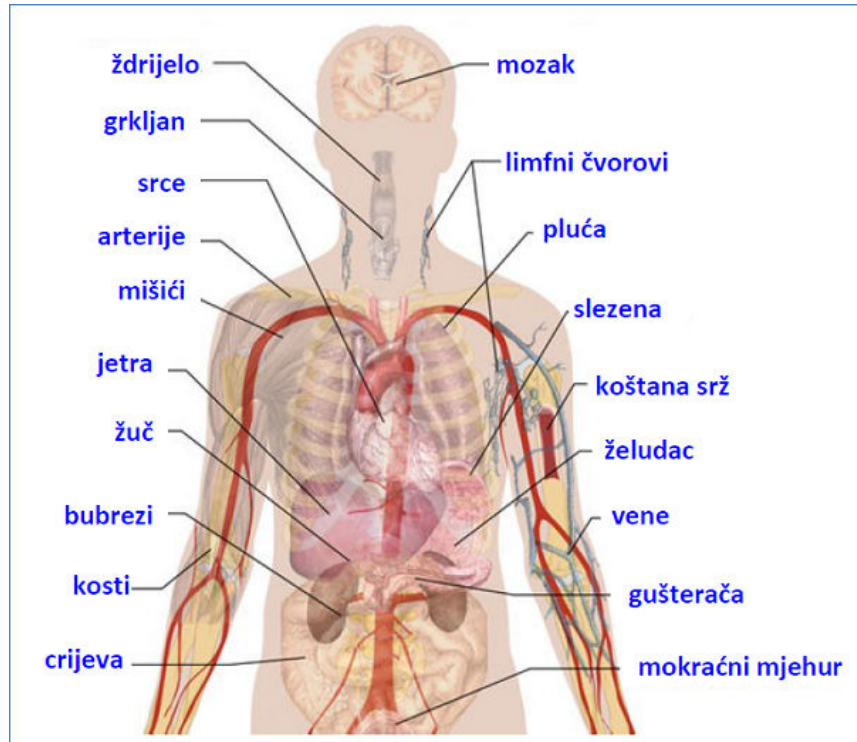
Elektromagnetska zračenja, bilo ona prirodna ili umjetna (stvorena od ljudskih elektroničkih naprava) mogu biti ili štetna ili blagotvorna. Npr. kozmičke zrake i svemirsko zračenje je štetno za ljudsko zdravlje, a magnetsko polje Zemlje nas štiti od štetnih posljedica takvog zračenja. Iako postoje dokazi da su ljudi prije i živjeli u pećinama upravo da se sklone od negativnog utjecaja kozmičkog zračenja, valjda dok je magnetsko polje Zemlje bilo slabijeg intenziteta. S druge strane sunčevo elektromagnetsko zračenje donosi život i zdravlje na Zemlju, kao npr. lučenje vitamina D3 kad se čovjek izloži suncu<sup>197</sup>.

## **9.1. Utjecaj onečišćenja elektromagnetnim zračenjem na zdravlje ljudi**

S obzirom da se zračenje pojavljuje u mnogo oblika, za zdravlje ljudi važna je ona vrsta zračenja koja može prodrijeti kroz tvar i proizvesti električki naboj u njoj, tj. ionizirati tu tvar. Ukoliko to ionizirajuće zračenje prolazi kroz živu tvar, tada nastali ioni mogu



utjecati na biološke procese u živoj tvari. Na ovaj način, zračenje uzrokuje ionizaciju molekula u stanicama živih bića i međudjelovanjem nastalih iona na druge atome u stanici, može doći do oštećenja niza organa, slika 32.



Slika 32. Najčešće oštećeni organi ionizirajućim zračenjem<sup>198</sup>

Kod niskih doza zračenja, kojima smo npr. izloženi prirodnim radionuklidima iz okoliša, oporavak naših stanica je brz, dok kod viših doza ( $< 1$  Sv) može doći do ireverzibilnih oštećenja stanica ili njihovog odumiranja. Stanice koje se nepovratno oštete mogu dalje diobom proizvoditi abnormalne stanice, a u određenim okolnostima mogu postati kancerogene<sup>199</sup>.

U slučaju ozračenja cijelog ljudskog tijela visokim dozama ( $> 1$  Sv) dolazi do povrede unutarnje stjenke probavnog sustava koji na taj način gubi svoju funkciju prijenosa vode i hranjivih tvari što čini organizam podložan infekcijama. To obično uzrokuje proljev, povraćanje i opću slabost. Ako se primljena doza zračenja poveća ( $> 3$  Sv) imunološki sustav tijela postaje tako ugrožen da se ne može oduprijeti infekcijama i bolestima. Kada cijelo tijelo bude izloženo dozama od oko 4 Sv, tada bez medicinske skrbi, oko 50 % ljudi umire u roku od 60 dana od primitka doze i to uglavnom zbog infekcija.

Općenito, energija zračenja apsorbirana u ljudskom tijelu inicira fizikalne i kemijske promjene koje mogu dovesti do bioloških promjena i štetnih učinaka na zdravlje čovjeka. Ovi štetni učinci mogu biti somatski, pa se npr. na koži javljaju promjene poput pigmentacije, opekotina i sl., ili genetički pa se pojavljuju različite malformacije kod potomaka ozračene osobe.

## 10. ZDRAVSTVENI RIZICI I NJIHOVA PROCJENA

Posljedica zagađenja okoliša su bolesti kao najteži oblik narušavanja kvalitete života, pa je suvremena ljudska populacija zabrinuta za zdravstvenu sigurnost zraka kojeg udišu, vode koju piju i hrane koju jedu, ali i za brojne druge kontakte sa materijalima koje u sebi nose izvjesne doze opasnosti, a među kojima posebno značajno mjesto zauzima otpad.

U europskim kao i brojnim nacionalnim zakonima zahtijeva se sustav procjene rizika kao i analiza koja bi trebala jamčiti da opasnosti koje nastaju u tehnološkim procesima nemaju opasnost za zdravlje ljudi i okoliš. Posebno su značajne skupine okolišnih opasnosti nad kojima se nastoje uspostaviti principi sljedivosti, transparentnosti i analize rizika. Te opasnosti se mogu nalaziti u zraku, vodi, tlu i otpadu, a pojavljuju se u različitim oblicima.

Među čimbenicima rizika koji negativno utječu na stanje okoliša najznačajniji su:

- zagađenje zraka,
- zagađenje voda,
- zagađenje tla,
- način zbrinjavanja otpada,
- buka
- različita elektromagnetna zračenja itd.

Osnovni element politike sigurnosti u području zaštite okoliša je analiza okolišnih rizika koja treba biti utemeljena na znanstvenim spoznajama (tvrdnje zasnovane na dokazima). Na osnovu tih spoznaja vrše se intervencije preko institucija zakonodavne i izvršne vlasti. Kod nedovoljno pouzdane procjene rizika potrebno je primijeniti načelo predostrožnosti ili prevencije.

Kod uobičajenih definicija rizika uvijek postoji s jedne strane vjerojatnost ili učestalost pojavljivanja neželjenog događaja, a s druge strane posljedica koja pri tome nastaje. Rizik je vjerojatnost i ozbiljnost štetnog djelovanja opasnosti na zdravlje ljudi i/ili okoliš, a kada je riječ o prirodi, onda se kaže da je rizik u stvari vjerojatnost da će neki zahvat posredno ili neposredno prouzročiti štetu u prirodi.

Najčešće se pojam rizik izjednačava s pojmom opasnosti, iako se ova dva izraza ne trebala miješati. Naime, opasnost, u sigurnosnom smislu, znači pogibelj za ljude, štetu na imovini ili onečišćenje okoliša. U širem kontekstu, značenje opasnosti, odnosno pojam

rizika, ne mora biti ograničeno samo na sigurnost već i na upravljanje, trgovinu, tehnologiju ili politiku, odnosno na predviđanje bilo kojeg neželjenog rezultata.

Uobičajeno, pojam rizika se vezuje uz mogućnost njegovog mjerenja. Vrlo je uobičajeno rizik mjeriti ozbiljnošću posljedica i vjerojatnosti pojave događaja. Povezivanjem ovih pojmova može se definirati rizik, pa se on najčešće određuje prema izrazu<sup>200</sup>:

$$R = P (\text{posljedica}) \times V (\text{vjerojatnost})$$

Zbog velike nepouzdanost parametara  $P$  i  $V$  te velikog broj čimbenika koji imaju utjecaj na njihovu konačnu i stvarnu vrijednost, rješavanje ove jednadžbe nije jednostavno. Ti parametri ovise o načinu upravljanja, odlukama, tehničkim obilježjima, radnim postupcima, ljudskom faktoru i vremenu. Pri određivanju ovih parametara redovito se koriste statistički podaci koji daju prihvatljiva objašnjenja prijašnjih događaja, ali se ne mogu uzeti potpuno pouzdano za predviđanje nečega što se može ili ne mora dogoditi u budućnosti.

Odrediti apsolutnu vrijednost rizika značilo bi u potpunosti predvidjeti neki budući događaj, a to je nemoguće. Stoga, rizik se može samo procijeniti. Procjena rizika je znanstveno utemeljen složen i multidisciplinarni proces ocjenjivanja potencijalnih štetnih učinaka neke opasnosti iz okoliša i sastoji se od četiri koraka: identifikacije opasnosti, karakterizacije opasnosti, procjene izloženosti i karakterizacije rizika, slika 33. Karakterizacija rizika, kao zadnji korak procjene rizika, može sadržavati i kvalitativne i kvantitativne informacije te uključuje raspravu o matematičkim nesigurnostima vezanima za te podatke.

U kontekstu procjene rizika, također je važno točno definirati i ostale pojmove vezane uz ovo znanstveno područje, a to su prije svega rizik, koji predstavlja funkciju vjerojatnosti štetnog učinka na zdravlje te posljedica tog učinka, s obzirom na vrstu i izloženost određenoj opasnosti te vrste opasnosti, koje se s obzirom na porijeklo, dijele na biološke, kemijske i fizikalne. Zbog različitih štetnih čimbenika, procjena rizika provodi se kroz specifične procjene, ovisno radi li se o mikrobiološkim, kemijskim ili fizikalnim opasnostima. Tako se različite procjene provode za područje virusa, bakterija, parazita, plijesni i sl. Isto vrijedi i za kemijsku procjenu ako se radi o pesticidima, mikotoksinima, aditivima i drugim opasnostima. Posebne se procjene provode za genetski modificiranu hranu i novu hranu. Metodologija procjene rizika stalno se usavršava, postaje usko specijalizirana, a veliki broj metodologija varira od slučaja do slučaja<sup>201</sup>.

Slika 33. Shema procesa procjene rizika<sup>202</sup>

Kako je i prikazano na slici 33, navedeni elementi razmatraju se kroz četiri koraka i to kako slijedi:

**Identifikacija opasnosti** - odnosi se na prepoznavanje poznatih i potencijalnih utjecaja na zdravlje koji su povezani s određenim čimbenikom. Identifikacija opasnosti je proces utvrđivanja može li izlaganje organizma štetnoj tvari iz okoliša imati za posljedicu povećanje učestalosti pojedinih štetnih učinaka po zdravlje (npr. rak, malformacije kod novorođenčadi) i da li postoji vjerojatnost pojave tog štetnog zdravstvenog učinka kod ljudi. U slučaju kada je štetna tvar određena kemikalija, potrebno je ispitati dostupne znanstvene podatke za tu kemikaliju (ili skupinu kemikalija) i utvrditi povezanost između negativnih učinaka po ljudsko zdravlje i karakteristika te kemijske tvari.

Izloženost organizma štetnoj tvari može uzrokovati različite negativne učinke na čovjeka: bolesti, nastajanje tumora, štetne učinke na reproduktivnu sposobnost, smrt ili druge učinke. Postoji niz važnih činjenica koje je potrebno uzeti u obzir prilikom provođenja ovog koraka, a koje su povezane s uzrokom bolesti i s organizmom domaćina.

Kao izvori podataka pri identifikaciji opasnosti mogu poslužiti podaci različitih statistički kontroliranih kliničkih ispitivanja na ljudima, koja mogu pružiti najbolje dokaze o povezanosti štetne tvari s učincima. Međutim, takve studije često nisu dostupne jer postoje značajni etički problemi povezani s istraživanjima ekoloških opasnosti i njihovog štetnog djelovanja na ljudsko zdravlje.

Nadalje, postoje i epidemiološke studije koje uključuju statističku procjenu povezanosti između štetne tvari i njoj izložene ljudske populacije sa štetnim učincima na zdravlje, koje mogu poslužiti kao izvor podataka pri identifikaciji opasnosti. No, važno je napomenuti da je prednost ovih studija to što one uključuju ljude, a njihova slabost je što uglavnom ne postoje točni podaci o trajanju izloženosti štetnoj tvari.

U nedostatku podataka iz studija provedenih na ljudima, koriste se podaci iz istraživanja na životinjama (štakori, miševi, zečevi, majmuni, psi, itd.), kako bi se na temelju ovih rezultata izvelo zaključci o potencijalnoj opasnosti od djelovanja neke štetne tvari za ljude. Ispitivanja na životinjama mogu biti dizajnirana, kontrolirana i izvođena za rješavanje određene praznine u znanju, ali postoje određene neizvjesnosti povezane s ovako dobitnim rezultatima i njihovom ekstrapolacijom na ljude.

**Karakterizacija opasnosti** – uspostavlja odnos *doza* štetne tvari - štetni *učinak* na organizam pri čemu se trebaju uzeti u obzir različiti parametri, poput količine tvari, vremena izloženosti, načina unosa i sl., iz čega stručnjaci mogu razviti sustav rangiranja kako bi okarakterizirali težinu i/ili trajanje bolesti<sup>203</sup>.

Odnos doza-učinak opisuje kakva je vjerojatnost i težina štetnih učinaka u odnosu na količinu i stanje izloženosti štetnoj tvari. Općenito, kako se doza štetne tvari povećava, izmjereni učinak se također povećava. U slučaju malih doza učinak može izostati. Na nekoj razini doze učinci se počinju pojavljivati u kod malog dijela promatrane populacije ili s niskom stopom vjerojatnosti. Pri ovome, doza pri kojoj se učinak počinje javljati i stopa po kojoj se taj učinak povećava s obzirom na povećanje doze, može biti promjenjiva između različitih štetnih tvari, pojedinaca unutar populacije, načina izlaganja, putova unosa tvari u organizam itd.

Izgled odnosa doza – učinak ovisi o štetnoj tvari, vrsti učinka (tumor, incidencija bolesti, smrt, itd), kao i samom organizmu. Na primjer, u jednom slučaju učinak može biti samo pojava mršavljenja dok u drugom slučaju tj. kod drukčijeg odnosa doza – učinka, sam učinak može biti i smrt. Kao i kod identifikacije, tako i kod karakterizacije opasnosti za ljude, često se javlja nedostatak dostupnih podataka o dozama. Kada su, pak, podaci dostupni, oni često pokrivaju samo dio mogućeg raspona odnosa doza-učinak, te se ponekad rade ekstrapolacije za razine doza koje su niže od niza podataka dobivenih iz ranije provedenih znanstvenih istraživanja. Kao i kod identifikacije opasnosti, rezultati dobiveni u studijama na životinjama često služe kao podloga za karakterizaciju opasnosti za ljude.

**Procjena izloženosti** – je kvalitativna i/ili kvantitativna procjena stupnja stvarne ili predvidive ljudske izloženosti određenom štetnom čimbeniku – tvari ili energije iz okoliša. Prilikom procjene izloženosti potrebno je specificirati o kojoj se vrsti i koncentraciji onečišćujuće tvari radi. Osim toga, mora se u uzeti u obzir i učestalost obolijevanja koja je posljedica djelovanja određene količine uzročnika ili štetne tvari.

Izloženost je moguće definirati<sup>202</sup> i kao kontakt između štetnog čimbenika – tvari ili energije i vidljivog dijela čovjeka (npr. kože i/ili rane). Procjena izloženosti je proces mjerenja ili procjenu veličine, učestalost i trajanje izloženosti štetnoj tvari, odnosno procjenu budućih izloženosti za tvari koje još nisu objavljene. Procjena izloženosti uključuje neke rasprave o veličini, prirodi i vrsti ljudskih populacija izloženih toj tvari, kao i raspravu o nesigurnosti u gore navedene informacije. Izloženost se može mjeriti izravno, ali češće se

procjenjuje neizravno uzimanjem u obzir izmjerene koncentracije u okolišu, ponašanje štetne tvari u okolišu, te procjenu unosa te tvari u organizam tijekom vremena.

**Karakterizacija rizika** – je završni korak koji objedinjuje identifikaciju i karakterizaciju opasnosti te procjenu izloženosti u svrhu ocijene nepovoljnih učinaka koji se mogu dogoditi u određenoj populaciji, uključujući popratne nesigurnosti, osiguravajući kvalitativne i kvantitativne procjene ishoda i težinu nepovoljnih i štetnih učinaka na zdravlje. Stupanj povjerenja u konačnu procjenu rizika ovisi o varijabilnosti, stupnju nesigurnosti i pretpostavkama koje su načinjene u prethodnim koracima, a koje su od velike važnosti za donosioce odluka prilikom upravljanja rizikom.

Politika karakterizacije rizika zahtijeva provođenje karakterizacije na način koji je u skladu sa sljedećim načelima:

- **Transparentnosti** - Karakterizacija treba potpuno i jasno pokazati korištene metode procjene rizika, zadane pretpostavke, logiku, opravdanje, ekstrapolaciju, nesigurnosti i ukupnu snagu svakog koraka u procjeni. Transparentnost osigurava znanstvenu logičku podlogu i dokumentiranje podataka i rezultata istraživanja koji služe za procjenu učinka različitih čimbenika koji mogu utjecati na određeni rizik te je važna sa stajališta otklanjanja mogućih nejasnoća koja mogu utjecati na konačni ishod procjene.
- **Jasnoći** - Rezultati procjene rizika trebaju biti jasni i shvatljivi čitateljima unutar i izvan procesa procjene rizika, a dokumenti trebaju biti koncizni, bez žargona, a po potrebi bi trebalo koristiti razumljive tablice, grafikone i jednadžbe i
- **Razboritosti** - Procjena rizika treba se temeljiti na istini i pravедnosti, metodama i pretpostavkama u skladu s trenutnim stanjem znanstvenih postignuća, a rezultati procjene trebaju biti preneseni u potpunosti na uravnotežen i informativan način.

Metodologije procjene rizika stalno se usavršavaju, postaju usko specijalizirane, a veliki broj metodologija varira od slučaja do slučaja. Provođenje procjene rizika vrlo je složen postupak i nije ga moguće realizirati od strane jedne osobe. Stoga, ovaj pristup zahtijeva kritičku evaluaciju stručnjaka iz različitih područja – kemije, toksikologije, mikrobiologije, epidemiologije, medicine, veterine, matematike, i drugih – pa je nužan timski rad stručnjaka iz različitih područja, odnosno multidisciplinarni pristup.

Procjena rizika je od posebne važnosti za upravljanje rizikom koje koristi procjenu rizika kao znanstveno utemeljeno mišljenje pri donošenju odluka, mjera i propisa, imajući na umu učinkovitost i provedivost istih, kako bi rizik sveli na najmanju moguću mjeru, a ovisno o raspoloživim industrijskim standardima i mogućnostima provođenja. Posebna je važnost dana načelu predostrožnosti, što znači kako se privremene mjere upravljanja rizikom mogu poduzeti kad je, nakon procjene dostupnih informacija, identificirana mogućnost štetnog djelovanja na zdravlje. Rezultati procjene rizika važni su u svrhu predviđanja i smanjivanja vjerojatnosti incidentnih situacija koje za posljedicu, u konačnici, uvijek imaju značajne financijske troškove.

## 10.1. Upravljanje zdravstvenim rizicima u okolišu

Uspješno izvedena procjena rizika ne znači istovremeno i poboljšanje ako se njezin rezultat ne provede u djelo, odnosno ako se poduzmu mjere koje vode rješenju problema i otkloni rizik ili bar značajno smanji. Ovo ide u prilog ranije rečenom da je cilj procjene rizika za zdravlje, zapravo utvrđivanje njegovog postojanja i u kojoj mjeri postoji, a zatim, ukoliko je potrebno i propišu mjere za njegovo otklanjanje.

Upravljanje rizicima odnosno njihovo prevladavanje proces je prepoznavanja, evaluacije, odabira te implementacije aktivnosti kojim će se u cijelosti otkloniti zdravstveni rizik za neku populaciju izloženu štetnoj tvari iz okoliša, a ukoliko to nije moguće, onda bar bitno smanjiti.

Svrha i cilj upravljanja rizicima je pronalaženje i primjena znanstveno utemeljenih, ekonomski prihvatljivih, objedinjenih aktivnosti kojima se smanjuju ili sprječavaju zdravstveni rizici za neku populaciju nastali uslijed izloženosti štetnoj tvari u okolišu, pri čemu je potrebno uzeti u obzir socijalne, kulturološke, etičke, političke i zakonodavne norme. Upravljanje rizicima i njihovo prevladavanje podrazumijeva niz mjera koje se mogu primijeniti u nizu od izvora zagađenja (npr. unaprjeđenjem procesa, instalacijom dodatne opreme za pročišćavanje otpadnih medija, sprječavanje nesreća s opasnim tvarima) preko puta unosa u organizam (propisivanju normi za sadržaj onečišćujućih tvari u vodi, zraku, tlu, hrani itd.) do izložene osobe (smanjenje trajanja izloženosti, osobna zaštitna sredstva itd.).

Ovdje je važno napomenuti, da upravljanje rizicima nije uvijek jednostavno s obzirom da je ponekad pri prevladavanju rizika i zaštiti zdravlja ljudi suprotstavljen interes industrijskog, gospodarskog pa i političkog sektora.

### 10.1.1 Načini upravljanja rizicima i vrednovanje mogućih rješenja

Da bi upravljanje rizicima bilo učinkovito, vrlo je važno prije svega odrediti načine odnosno rješenja za prevladavanje rizika i provesti vrednovanje svih aspekata (okolišnih, ekonomskih, socijalnih, političkih) primjene tih rješenja. Najprikladnije rješenje za prevladavanje rizika obično se donosi nakon detaljne analize prednosti i nedostataka svih potencijalnih rješenja, stoga je ovaj postupak vrednovanja od presudnog značaja u procesu prevladavanja rizika. Naravno da se ovdje podrazumijeva vrednovanje i usporedba njihovih učinkovitosti, ostvarivosti, troškova provedbe i na kraju dobrobiti koja se očekuje, no jednako tako razmatraju se i njihove moguće neželjene posljedice. Danas postoji niz različitih pristupa za smanjivanje ili potpuno uklanjanje rizika za zdravlje ljudi, a svi oni obuhvaćaju:

- Različite oblike poticanja (smanjenjem okolišnih naknada, sufinanciranjem projekata i sl.) sprječavanja ili smanjenja onečišćavanja okoliša unapređenjem procesa u kojima onečišćujuće tvari nastaju ili smanjenjem količina opasnih tvari korištenima u procesu odnosno njihovom supstitucijom manje opasnim ili bezopasnim tvarima,



- Ograničavanje emisija pojedinih onečišćujućih tvari zakonskim i drugim propisima koji zahtijevaju ishodaenje posebnih dozvola za rad pojedinih industrijskih postrojenja, spalionica otpada ili drugih izvora onečišćujućih tvari u atmosferu,
- Uvođenjem okolišnih naknada određenim postrojenjima, a temeljem vrste i količine onečišćujućih tvari koje emitiraju u okoliš (naknada za emisije u okoliš ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), oksida sumpora izraženih kao sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>) i naknadu na emisiju u okoliš oksida dušika izraženih kao dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>); naknada za emisije tvari koje oštećuju ozonski sloj, naknada za emisije u okoliš otpada i posebnih kategorija otpada, itd.)
- Uspostavljanje i unapređenje suradnje industrijskih postrojenja kao izvora onečišćujućih tvari s nadležnim agencijama, fondovima i ministarstvima tijekom sanacije većih zagađenja nastalih tijekom iznenadnih onečišćenja uzrokovanih kvarom, nesrećom, isl.
- Poticanje recikliranja, izgradnju reciklažnih postrojenja kao i uporabu recikliranih materijala kao sirovinu u proizvodnji,
- Podizanje svijesti o potrebi zaštite okoliša potencijalno ugroženoga stanovništva različitim edukacijama i informiranjima, te osposobljavanjem za provedbu aktivnosti putem kojih oni sami mogu smanjiti svoj rizik (npr. zabrana konzumacije vode iz onečišćenih izvora, zabranom konzumiranja ribe iz onečišćenih vodotoka i slično),
- Poticanje i sufinanciranje izvora rizika, kao što je saniranje divljih odlagališta otpada, remedijacija tzv. crnih točaka i sličnih lokacija zagađenih tala, zabrana uporabe nekih osobito toksičnih pesticida ili uklanjanje kontaminiranih namirnica s tržišta.

U ovoj fazi na rada na prevladavanju rizika, svi zainteresirani sudionici sudjeluju u razmatranju mogućih rješenja, a potpuno uklanjanje rizika moguće je postići samo potpunom eliminacijom izloženosti opasnim tvarima, zabranom uporabe opasne tvari, njenom zamjenom manje opasnom ili neopasnom tvari, ili zabranom rada procesa koji je izvor štetnih tvari.

Nakon prepoznavanja svih mogućnosti, nužno je ocijeniti učinkovitost, provedivost, dobiti i troškove svake od njih, kao i njihove potencijalne zakonske, socijalne, kulturološke i političke implikacije, da bi se u konačnici odabralo najprikladnije rješenje.

***Odabir najprikladnijega rješenja, odnosno aktivnosti*** – Pravilno odabrano dobro odnosno najprikladnije rješenje kojim će se smanjiti ili u cijelosti ukloniti rizik za zdravlje, mora imati nekoliko bitnih značajki. Prije svega, ono se temelji na najboljim znanstvenim, ekonomskim te drugim tehničkim informacijama i postignućima. Rješenje treba biti ostvarivo, a dobiti su razmjerne troškovima uvođenja tog rješenja. Uz to, odabrano prikladno rješenje mora obuhvatiti i prevenciju mogućih novih rizika, a ne samo kontrolu postojećih. Ono podrazumijeva mogućnosti inovacije, evaluacije te istraživanja, pri čemu uzima u obzir političke, socijalne, zakonske i kulturološke okvire. Takvo se rješenje može implementirati na učinkovit, brz i fleksibilan način uz potporu svih zainteresiranih skupina (zakonodavci, lokalna zajednica, uprava industrijskih postrojenja, zdravstvena služba itd.).

Ono značajno smanjuje ili potpuno eliminira rizik te ga je moguće revidirati i promijeniti u slučaju pojavljivanja novih informacija vezanih uz dotični zdravstveni rizik izložene populacije<sup>11</sup>.

**Implementacija odabranoga rješenja** – podrazumijeva provođenje svih aktivnosti kojima se smanjuje ili u cijelosti eliminira postojeći zdravstveni rizik izložene populacije. Ovisno o specifičnoj situaciji, nositelji poduzetih aktivnosti mogu biti: javno zdravstveni djelatnici, predstavnici lokalne zajednice, predstavnici gospodarstvenika, poljoprivrednika, znanstvenici itd. Svi oni mogu pomoći pri razvijanju i implementaciji akcijskog plana, pri obavješćivanju javnosti te objašnjavanju koje su odluke donesene te radi čega je potrebno poduzeti specifične aktivnosti, kao i kod praćenja napretka u smanjivanju rizika nastalog kao posljedica poduzetih aktivnosti.

**Vrednovanje učinkovitosti implementiranog rješenja** – je završni korak procesa prevladavanja rizika, u kojim se revidiraju aktivnosti poduzete radi prevladavanja rizika te njihova učinkovitost. Vrednovanje učinkovitosti poduzetih mjera uključuje praćenje određenih parametara u okolišu, ali i usporedbu nastalih dobrobiti i troškova implementacije odabranoga rješenja s predviđenim tijekom procesa odabira najprikladnijega rješenja.

Vrednovanje osigurava važne informacije o tome jesu li poduzete aktivnosti bile uspješne, jesu li postigle ono što se od njih očekivalo te jesu li predviđene dobrobiti i troškovi bili točni. Uz to, ona daje odgovor na pitanje jesu li potrebne dodatne modifikacije poduzetih aktivnosti, čime bi se pospješila njihova uspješnost te je li nedostatak neke bitne informacije spriječio uspješnost poduzetih aktivnosti. Vrednovanjem se otkriva i pojavljivanje novih informacija koje zahtijevaju revidiranje prvotnoga plana aktivnosti te uvođenje dodatnih mjera.

O uspješnosti poduzetih aktivnosti te komplementarnim aktivnostima svih zainteresiranih skupina ovisit će konačni ishod, odnosno razina smanjivanja (ili potpuno uklanjanje) postojećeg rizika za zdravlje.

## 10.2 Korištenje biomonitoringa u procjeni rizika

Čovjek je ugrožen od štetnih djelovanja različitih toksičnih tvari, ne samo na radnom mjestu, nego i u svom okruženju izvan radnih prostorija, a što je posljedica opće onečišćenosti okoliša kojoj su različiti uzroci. Potreba za zaštitom okoliša, a time i čovjeka, od sve češće izloženosti štetnim utjecajima kao posljedice ljudske djelatnosti je svakim danom sve veća. Zahvaljujući iskustvu u promatranju međudjelovanja čovjeka i okoliša, utvrđena je realna mogućnost pravovremenog sprječavanja štetnih učinaka pojedinih onečišćujućih tvari iz okoliša na živi svijet. To je temeljna pretpostavka za praćenje ili motrenje promjena (monitoring) u okolišu. Prema R.E. Munnu<sup>204</sup>, monitoring je pojam koji obuhvaća motrenje utjecaja okolišnih čimbenika u nekom prostoru i vremenu, a ima za cilj, osim motrenja

niza klimatskih parametara, prikupljanje i podataka kvantitativne i kvalitativne prirode o prisutnosti i distribuciji onečišćujućih tvari, njihovih izvora i rasporeda u prostoru, praćenje emisija, transporta i određivanje njihovih koncentracija na određenim mjernim točkama.

S obzirom da se danas postavljaju sve veći zahtjevi za osiguranjem kvalitete okoliša, bilo je nužno otići korak dalje u njegovoj procjeni stanja, te se počela uvoditi biološka metoda praćenja kakvoće pojedinih sastavnica okoliša (zraka, vode i tla) - biomonitoring.

Biološki monitoring ili biomonitoring je primjena živih organizama kao bioindikatora promjena u okolišu tijekom nekog vremenskog razdoblja. Biomonitoring može obuhvaćati različita mjerenja od mjerenja zaostalih onečišćujućih tvari u tkivima živih organizama tzv. bioindikatora, preko kvantificiranja promjena koje mogu biti biokemijske, fiziološke, morfološke ili druge, do tradicionalno ekoloških mjerenja koja uključuju određivanje prisutnosti i raznovrsnosti različitih vrsta prisutnih u zajednici ili ekosustavu.

Bioindikatori ili biološki indikatori su organizmi (lišajevi, ribe, vegetacija, ptice, itd), svaki u svome staništu, a koji se koriste za prikaz stanja okoliša. Ovi organizmi služe za monitoring (praćenje) promjena koje mogu utjecati na probleme u ekosustavu, koji mogu biti kemijski, psihički ili u ponašanju. Svaki organizam u ekosustavu može imati utjecaj na zdravlje ostalih živih organizama u okolišu, stoga se bioindikatori koriste za utvrđivanje promjena u okolišu, prisutnosti onečišćujućih tvari i njihovih štetnih učinaka na okoliš.

Bioindikaciju je moguće izvoditi na svim razinama organizacije živih sustava, počevši od molekularnog, preko biokemijsko-fiziološkog, celularnog, individualnog, populacijskog, itd. Prednost biološke indikacije u odnosu na fizikalno-kemijske metode praćenja onečišćenosti okoliša leži u činjenici da živi organizmi mogu pokazivati učinak akumulacije onečišćujućih tvari tijekom dužeg vremenskog razdoblja.

Biološki monitoring se može podijeliti u dvije skupine od kojih prvu čini tzv. *okolišni biomonitoring* (OBM) u okviru kojega se prate utjecaji onečišćenja dospjelih u okoliš na promjene odnosno štetne učinke na sastavnicama okoliša zraku, vodi i tlu, dok se *humani biomonitoring* (HBM) bavi istraživanjima utjecaja onečišćujućih tvari iz okoliša na ljudski organizam.

Danas, zahvaljujući tehničkim postignućima, biomonitoring predstavlja jedan od najvažnijih alata koji se sve više koristi za procjenu zdravstvenih rizika izloženih djelovanju različitim onečišćujućim tvarima iz okoliša. Tako se u Europi i SAD-u, sve više u procesu procjene rizika za ljudsko zdravlje koriste podaci dobiveni humanim biomonitoringom. Humani biomonitoring se smatra *zlatnim standardom*<sup>205</sup> za procjenu ljudi izloženost zagađenju mjerenjem koncentracije štetne tvari u ljudskom organizmu (izlučevinama, tkivu i sl.). Provedba procjene zdravstvenih rizika bez humanog biomonitoringa mogla bi rezultirati pogreškom i uzrokovati primjenu neadekvatnih mjera za prevladavanje rizika.

### 10.2.1 Humani biomonitoring

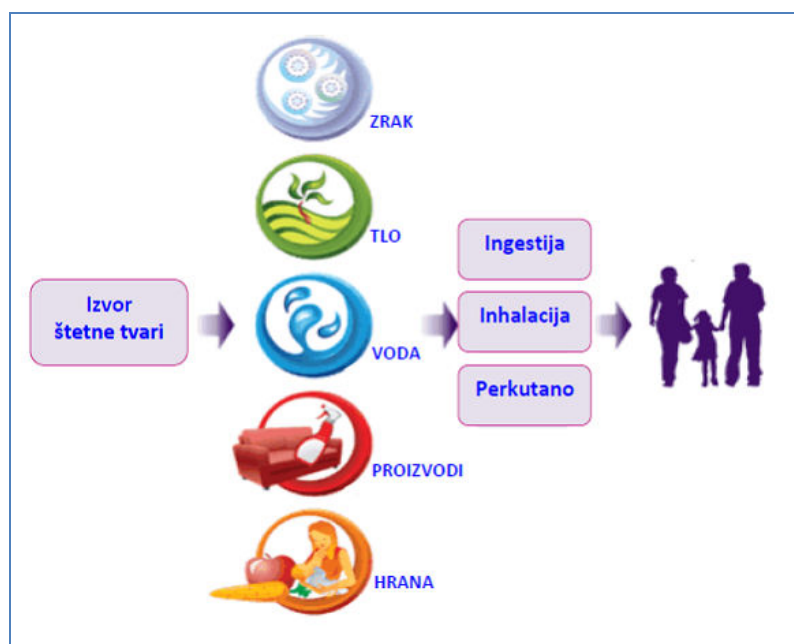
Humani biomonitoring (HBM) se definira kao tehnika izravnog određivanja ljudske izloženosti na temelju otkrivanja štetnih tvari/elementa u biološkim uzorcima i tkivu (krv, urin, kosa, nokti, znoj, majčino mlije. Procjena rizika za zdravlje usljed izloženost ljudi štetnim tvarima može se provoditi indirektno, mjerenjem koncentracija tih tvari u okolišu, hrani ili proizvodima, ili izravno korištenjem biomonitoringa, slika 34.

Mnogo je vjerodostojniji i precizniji u određivanju ukupnog opterećenja od indirektnih procjena pomoću tzv. okolišnog modeliranja (eng. *Environmental Modeling, Ambient monitoring*) na temelju određivanja koncentracija određenih onečišćujućih tvari u zraku, vodi, tlu, hrani ili drugim predmetima opće uporabe (npr. šamponi, sapuni i sl.)<sup>206</sup>.

Humani biomonitoring omogućuje realniji uvid u stvarno dospjelu i prisutnu količinu onečišćujućih tvari iz okoliša u ljudski organizam. Isti uspješno otkriva izloženost onečišćujućim tvarima, promjene trendova istih, precizira raspodjelu i osjetljive skupine unutar populacije, te utvrđuje okolišne rizike na specifično onečišćenim lokacijama, čime se potiče procjena trenutnog stanja i razvoja strategija smanjenja budućih izloženosti. Definiranje i praćenje rizika bez biomonitoringa može voditi prema pogrešnim zaključcima i posljedičnim neprimjerenim interventnim mjerama.

Provedbom ovakvog biomonitoringa potiče se upozoravanje na moguće štetne učinke pojedinih tvari i pripravaka, definiranje istraživačkih prioriteta, razvoj zdravstvenih strategija, te razmjena iskustava na nacionalnoj i međunarodnoj razini. No humani biomonitoring ima i svoja ograničenja, on daje samo trenutnu sliku opterećenja pojedinca, koja je ovisna o karakteristikama onečišćujućih tvari iz okoliša i metabolizmu ispitanika. Vrlo je važno istovremeno naglasiti da prisutnost određene onečišćujuće tvari iz okoliša u organizmu čovjeka ne uvjetuje nužno i štetan učinak tj. ne izaziva samu bolest. I dok se o nekim tvarima zna puno, za neke je još uvijek otvoreno niz pitanja. Stoga su bila nužna daljnja istraživanja koja bi pomogla pri utvrđivanju koliko je prisutnost određenih onečišćujućih tvari u okolišu uistinu i povezana s štetnim učincima u organizmu.

Na temelju Europske strategija za zaštitu okoliša i zdravlja, kao i Akcijskog plana za okoliš i zdravlje 2004 – 2010, Europska komisija je prepoznala vrijednost humanog biomonitoringa kao načina utvrđivanja izloženost ljudi onečišćujućim tvarima iz okoliša, mogućim štetnim učincima na zdravlje kao i potrebu za koordinacijom provedbe jednog programa humanog biomonitoringa na razini Europe. Tako je 2009. godine i formiran Konzorcij za provedbu humanog biomonitoringa na europskoj razini, COPHES (engl. *Consortium to Perform Human Biomonitoring on a European Scale*) od kada su znanstvenici i sudionici iz 35 institucija u 27 europskih zemalja počeo raditi na ovom projektu unutar kojeg su razvili usklađene protokole koji omogućuju prikupljanje usporedivih podataka HBM u cijeloj Europi.

Slika 34. Načini djelovanja štetnih tvari na zdravlje čovjeka<sup>207</sup>

Godinu dana kasnije, pokrenut je jedan drugi projekt DEMOCOPHES (engl. *DEMONstration of a study to COordinate and Perform Human biomonitoring on a European Scale*), kojem je bila zadaća pokazati izvedivost ovih protokola i usvajanje informacija o razinama izloženosti ljudi u Europi kao i uspostavljanje protokola za pretakanje rezultata HBM u oblik preporuka i politika koje bi se provodile na razini Europe<sup>208</sup>.

Kada se govori o humanom biloškom monitoringu, bitno je razlikovati dva različita kriterija procjene izloženosti ljudi djelovanju onečišćujućih tvari. Prvi kriterij procjene uzima u obzir HBM vrijednosti koje se određuju na temelju toksikoloških i epidemioloških studija i procjene znanstveno-stručnog tima. Pri tome se razlikuje HBM I od HBM II vrijednosti.

Vrijednost HBM I je tzv. verifikacijska ili kontrolna vrijednost i predstavlja koncentraciju onečišćujuće tvari u humanom biološkom uzorku, ispod koje, prema procjeni stručnog tima, ne postoji rizik štetnog učinka na ljudsko zdravlje, te sukladno istome ne postoji potreba za akcijskim djelovanjem. Vrijednost HBM II je tzv. intervencijska vrijednost koja predstavlja koncentraciju onečišćujuće tvari u humanom biološkom uzorku, iznad koje, prema procjeni stručnog tima, postoji rizik štetnog učinka na ljudsko zdravlje, te se poduzima hitno sprječavanje izloženosti i mjera biomedicinske pomoći i savjetovanja<sup>209</sup>.

Drugi kriterij procjene uzima u obzir referentne vrijednosti koje su statistički izvedene vrijednosti i ukazuju na gornju granicu prethodne izloženosti određenom štetnom čimbeniku određenog pojedinca u određenom trenutku.

Kako je već navedeno, humani biomonitoring je mjerenje toksičnih tvari u ljudskom organizmu, a svrha mu je utvrditi da li je čovjek bio izložen toksičnim tvarima, koliko je toksičnih tvari apsorbirao ljudski organizam i što se s njima dogodilo, tj. da li su pohranjene i gdje (kosti, masno tkivo), da li su sudjelovale u metabolizmu i eventualno izlučene iz organizma, te da li je utvrđena količina toksične tvari dovoljna za štetan učinak po zdravlje pojedinca ili populacije izložene utjecaju štetne tvari. Za dobivanje pouzdanih rezultata, kao i u svakoj drugoj analizi, neobično važna je reprezentativnost uzetog uzorka, koja u biomonitoringu ovisi o trajanju i intenzitetu izloženosti organizma određenoj toksičnoj tvari i njenim fizikalno-kemijskim značajkama odnosno ponašanju u organizmu nakon apsorpcije. Za provedbu humanog biomonitoringa obično se uzimaju uzorci krvi ili urina, no značajni rezultati postignuti su i uzorkovanjem sline, izmeta, kose, noktiju, zuba, daha i znoja.

Izbor odgovarajuće populacije ljudi je također značajan čimbenik za u dobivanje pouzdanih informacija. Primjerice, biomonitoring elemenata u tragovima u krvi se pokazao kao odličan pokazatelj za procjenu rizika od utjecaja onečišćenog okoliša na zdravlje djece. Djeca, naime, spadaju u vrlo osjetljivu populaciju i mnoge onečišćujuće tvari iz okoliša mogu uzrokovati štetne učinke na njihovo zdravlje, te se u cilju zaštite zdravlja djece i ljudi općenito, provode istraživanja u okviru biomonitoringa teških metala olova (Pb), kadmija (Cd), cinka (Zn), selena (Se) i žive (Hg) u krvi.

Na temelju ovakvih istraživanja već su do sada objavljeni mnogi rezultati<sup>210,211</sup> i za većinu metala definirane prihvatljive analitičke metode i referentne vrijednosti njihovih koncentracija. Odabir odgovarajućeg biološkog uzorka koji može biti oblika tjelesne tekućine ili tkiva, na kojem će se provesti analiza prisutnosti onečišćujuće tvari iz okoliša (npr. izmjeriti koncentracija apsorbiranog metala), zahtijeva razumijevanje kako načina apsorpcije te štetne tvari tako i njeno sudjelovanje u različitim fizikalno-kemijskim procesima u organizmu. Stoga je za dobivanje pouzdanih rezultata, potrebno koristiti standardizirana upute/protokole za prikupljanje pravilno odabranih uzoraka, njihovo pohranjivanje i provedbu analize<sup>212</sup>.

Najčešće korišteni biološki uzorci su: krv, urin, majčino mlijeko i dah, dok se u nekim istraživanjima koriste i uzorci kose i noktiju<sup>213-215</sup>.

Krv i urin su daleko najviše korišteni biološki uzorci koji mogu poslužiti u HBM za određivanje sadržaja pojedinih biomarkera tj. većine apsorbiranih toksičnih tvari iz okoliša ili njihovih metabolita nastalih kemijskim transformacijama u ljudskom organizmu<sup>216</sup>, kao što su: metali, policiklički aromatski ugljikovodici (PAU), poliklorirani bifenili (PCB), poliklorirani-*p*-dibenzodioksini (PCDD) i poliklorirani dibenzofurani (PCDF), pesticidi, aromatski amini, perfluorirane kemikalije, duhanski dim i hlapivi organski spojevi, tablica 12.

Tablica 12. Neki biomarkeri izloženosti u okolišu<sup>216-219</sup>

<b>Toksična tvar</b>	<b>Biološki uzorak</b>
<b>Metali</b>	
As; Ba; Be; Cd; Co; Cr; Cs; Cu; Hg; Mo; Pb; Pt; Sb; Se; Tl; V; U; Zn; Ni	URIN
Cd; (Cu); Hg; Pb; Se; Zn	KRV
Hg	KOSA
Hg; Cd; Pb; Se; Zn; PCB	MLIJEKO
As; Cd; Cu; Hg; Mn; Pb; Se; Zn;	PLAZMA
<b>Metaboliti PAU</b>	
3-Hydroxyfluoranthene 2-,3-,9-Hydroxyfluorene 1-,2-,3-,4-,9-Hydroxyphenanthrene 1-Hydroxypyrene 3-Hydroxybenzo[a]pyrene 1-,2-Hydroxynaphthalene	URIN
<b>PCDD/PCDF/PCB</b>	
1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzo-p-dioxin 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxin 1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxin 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane PCB (126;169) 2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 138) 2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 153)	KRV

**Biomarkeri** su najmoćniji alat za utvrđivanje prisutnosti onečišćujuće tvari u živim organizmima. To su u stvari analiti (elementi ili molekule) koji predstavljaju ksenobiotski inducirane promjene u tkivima ili biokemijskim komponentama ili procesima, strukturama ili funkcijama, a koji se mogu mjeriti u biološkom sustavu ili uzorku<sup>220</sup>.

Primjena biomarkera u okolišu i zaštiti zdravlja značajno se povećala nakon što je SZO 1993. godine uvela definiciju biomarkera, a zbog sve većih zahtjeva za informacijama



o zdravstvenim rizicima izloženosti ljudi onečišćujućim tvarima iz okoliša<sup>219</sup>. Ovdje su se pojavila i brojna etička pitanja u svezi s korištenjem biomarkera i poštivanje autonomije sudionika studije (samo uz pismeni pristanak i uz mogućnost povlačenja u bilo koje vrijeme), pristup osobnim podacima (pravo da zna i pravo da ne zna rezultat studije) i osiguravanje odgovarajućeg upravljanja podacima (zaštita podataka kako bi se izbjegle zlouporabe pri zapošljavanju, osiguranju, itd.).

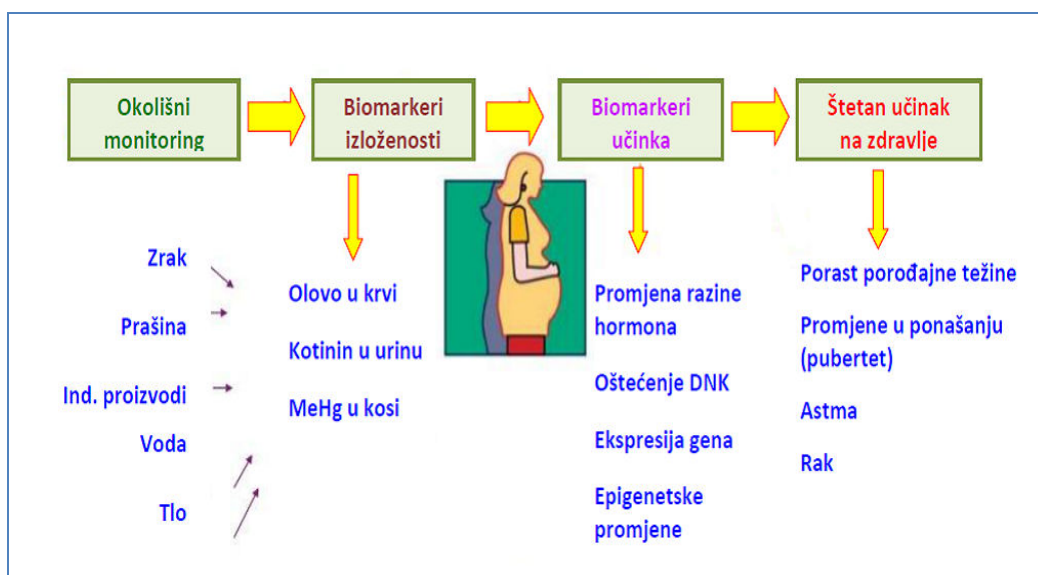
Čak i prije nego dođe do izlaganja ljudskog organizma utjecaju toksičnih tvari, među ljudima mogu postojati biološke razlike koje uvjetuju različite osjetljivosti na čimbenike iz okoliša koji mogu izazvati štetni učinak. Imajući ovo na umu, biološki markeri (biljezi), su alat kojim možemo razjasniti odnosa, ukoliko on postoji, između izloženosti toksičnim tvarima i oštećenja zdravlja. Biomarkeri se dijele na markere izloženosti, markere učinka i markere osjetljivosti.

**Biomarkeri izloženosti** – se koriste za procjenu količine štetne tvari koja je prisutna u ljudskom tijelu. Tako se npr. koncentracije mnogih štetnih tvari mogu određivati u urinu, krvi, slini i majčinom mlijeku (npr. DDT). Biomarkeri izloženosti mogu pružiti informacije o izloženosti ljudi štetnim tvarima (kemikalijama), promjenama vrijednosti tih koncentracija tijekom vremena i njihovom variranju među različitim populacijama. Oni također mogu pružiti informaciju o relativnoj važnosti različitih putova unosa u organizam za vrijeme izlaganja štetnoj tvari i ovisno o tome ozbiljnost učinka. Važno je napomenuti da određivanje sadržaja štetne tvari u nečijem tijelu, samo po sebi ne znači da je ta tvar izazvala štetne posljedice za zdravlje.

Općenito, mjera izloženosti organizma je suma količina štetnih tvari prisutnih u organizmu, dok je *interna doza* količina toksične tvari koja je stvarno apsorbirana u organizmu. Kod mjerenja biomarkera odnosno pri kvalitativnoj i kvantitativnoj procjeni izloženosti, moraju se uzeti u obzir i podaci kao što su koncentracija toksične tvari, trajanje izloženosti, fizikalno-kemijska svojstva tvari i njenu stabilnost u okolišu ili biološkom uzorku.

Kemikalije ili općenito opasne tvari su najspecifičniji biomarkeri izloženosti kad se njihov sadržaj u organizmu izravno mjeri u biološkom uzorku (npr krvi, urinu, slini itd.). S tim u svezi veliki broj opasnih ili štetnih tvari moguće je mjeriti izravno u biološkim uzorcima, dok se, npr. za određivanje prisutnosti pesticida u organizmu, određuju njihovi metaboliti, slika 35.

U nekim slučajevima štetna tvar u organizmu izaziva učinak koji je glavni ili tipičan za tu tvar, pa mjerenje tog učinka služi kao zamjena (surogat) umjesto mjerenja same tvari ili njenog metabolita. Ovo je najmanje siguran i točan biomarker jer postoji mnogo čimbenika koji mogu utjecati na učinak u organizmu.



Slika 35. Humani biomonitoring: direktno mjerenje u ljudskom tijelu<sup>221</sup>

**Biomarkeri učinka** – Ovdje se učinci, ili reakcije organizma na izloženost promatraju u kontekstu u kakvom su odnosu izloženost i oštećenje zdravlja ili vjerojatnost da će nastati oštećenje zdravlja. Učinak je definiran kao stvarno oštećenje zdravlja ili prepoznata bolest ili pak kao pojava pokazatelja štetnog učinka koji slijedi. Biomarkeri učinka su prema tome, bilo koja promjena koja predviđa kvalitativno i kvantitativno oštećenja zdravlja ili njegovo moguće umanjjenje, a koja je posljedica izloženosti<sup>222</sup>. Prema tome, biomarkeri učinka daju precizniji i izravniji podatak o učinku na zdravlje od biomarkera izloženosti, a dijele se na tri kategorije:

- Idealni biomarker učinka imaju isključivo poznat mehanizam koji povezuje marker s ishodom. U većini slučajeva to je postignuto dovoljnim razumijevanjem patofiziološkog mehanizma djelovanja kemijskog spoja i vezom bioloških događanja između markera i učinka. Bioindikatori pružaju visoku razinu pouzdanosti u predviđanju potencijalnih negativnih učinaka kod jedinke ili populacije na temelju izmjerene razine biomarkera.
- Neodređene posljedice – ova vrsta biomarkera ne pruža toliko sigurne informacije o potencijalnim štetnim učincima jer su pojedini patofiziološki procesi ili veze između njih manje poznate. Mogu se koristiti paralelno s drugim markerima iz ove ili neke druge podgrupe da bi se povećala osjetljivost i specifičnost cijelog postupka procjene rizika<sup>223</sup>.
- Egzogeni surogat – neki spojevi imaju dobro poznate štetne učinke koje pak prate sekundarni učinci koji se onda koriste kao zamjenski pokazatelji. Suboptimalni su kao markeri učinka jer ne zahvaćaju direktno dodatni utjecaj drugih faktora koji bi mogli utjecati na incidenciju ili težinu ishoda.

***Biomarker osjetljivosti*** – pokazuju da je nastali štetan učinak u organizmu posljedica osjetljivost organizma na toksičnu tvar bilo da je ta osjetljivost naslijeđena bilo da je izazvana izlaganjem. Danas se mnogi štetni učinci na zdravlje ljudi promatraju sa stajališta genetske predispozicije, iako i drugi čimbenici mogu biti barem jednako važni.

Genetski čimbenici zbog kojih postoje razlike između pojedinaca ili populacija u njihovim reakcijama na toksične tvari, neovisno o izloženosti, može se ilustrirati i činjenicom da dva različita organizma različito metaboliziraju istu toksičnu tvar. Ovo potvrđuju i mnoge studije koje ukazuju da je rizik od razvoja nekih oblika raka povezan s mogućnošću i načinima metaboliziranja nekih toksičnih spojeva<sup>224</sup>.

Navedene kategorije biomarkera se mogu preklapati kako se štetna tvar metabolizira u organizmu i tako se dobivaju odgovori na različita pitanja vezana za pojedine kategorije. Kroz ove kategorije vide se promjene od same izloženosti do pojave bolesti, s tim da postoji značajno preklapanje između svake od njih.

I na kraju, potpuno poznavanje izloženosti populacije djelovanju nekog okolišnog čimbenika (npr. štetne tvari) ključno je za razumijevanje bolesti uzrokovanih okolišnim čimbenicima. Izloženost se procjenjuje na temelju modela koji uključuju istraživanja na životinjama, ljudima i epidemiološke studije u kojima se koriste biomarkeri i integriraju se svi dostupni podaci. Ipak, zdravstveni sustavi po cijelom svijetu su još uvijek nespremni na primarnu prevenciju utjecaja okolišnih čimbenika i nemaju razvijene mehanizme koji bi odgovorili na njihov sve veći utjecaj na zdravlje čovjeka.

## 11. LITERATURA

1. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/health> (13.4.2015.)
2. <http://www.who.int/trade/glossary/story046/en/> (13.4.2015.)
3. Zakon o zaštiti okoliša (NN br. 80/13, 153/13).
4. K. Capak, G. Petrović, Procesi za okoliš i zdravlje u Europi, predavanje u organizaciji Hrvatskoga liječničkog zbora i Hrvatskoga društva za zdravstvenu ekologiju, Zagreb, 2009., <http://hdze.hlz.hr/hr/predavanja/pred17.htm> (15.4.2015.)
5. <http://www.eea.europa.eu/media/infographics/how-are-the-environment-and/view> (18.4.2015.)
6. F. Valić i suradnici, Zdravstvena ekologija, Medicinska naklada, Zagreb, 2001.
7. F. Plavšić, A. Wolf-Čoporda, Z. Lovrić, K. Capak, Osnove toksikologije, Hrvatski Zavod za toksikologiju, Zagreb, 2001.
8. <http://www.stewardshipcommunity.com/stewardship-in-practice/human-health/hazard-risk-human-health-and-pesticides/hazard-profile-and-risk-assessment.html> (25.4.2015.)
9. F. Plavšić, Z. Lovrić, A. Wolf Čoporda, I.Z. Ježić Vidović, D. Čepelak Dodig, D. Gretić, S. Đurović, Siguran rad s kemikalijama, 2. dopunjeno izdanje, Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping i O-tisak d.o.o., Zagreb, 2014.
10. K. Vitale, M. Smoljanović, Neželjeni zdravstveni događaji - kako epidemiolozi i ekolozi razmišljaju zajedno, Acta Med Croatica, **64** (2010) 435-441.
11. D. Puntarić, M. Miškulin, J. Bošnjir i suradnici, Zdravstvena ekologija, Medicinska naklada, Zagreb, 2012.
12. Zakon o zaštiti zraka (NN br. 130/11, 47/14).
13. Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN br. 117/12).
14. Zakon o vodama (NN br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14).
15. Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN br. 56/13).
16. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN br. 80/13).
17. Uredba o standardu kakvoće voda (NN br. 73/13, 151/14).
18. Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN br. 125/13 i 141/13).
19. <http://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/air> (21.4.2015.)
20. T. Sofilić, M. Čosić, Zaštita okoliša kao integralni dio poslovne politike u CMC Sisak d.o.o., Znanstveno - stručni ljevački skup LJEVARSTVO – STANJE I PERSPEKTIVE, Sisak, 24. studeni 2010, predavanje.
21. European Union emission inventory report 1990–2011 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 2013.
22. European Environment Agency, Air quality in Europe — 2014 report, EEA Report No 5/2014, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014.

23. WHO, Effects of air pollution on children's health and development — a review of the evidence, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2005, dostupno na [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0010/74728/E86575.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/74728/E86575.pdf) (24.4.2015.)
24. WHO, Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2006, dostupno na [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf) (22.4.2015.)
25. WHO, Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2006, dostupno na [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0006/78657/E88189.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf) (24.4.2015.)
26. WHO, Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2008, dostupno na [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0005/78647/E91843.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf) (24.4.2015.)
27. US EPA, Quantitative Health Risk Assessment for Particulate Matter, EPA-452/R-10-005, Health and Environmental Impacts Division Research, North Carolina, USA, 2010, dostupno na [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/PM\\_RA\\_FINAL\\_June\\_2010.pdf](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/PM_RA_FINAL_June_2010.pdf) (24.4.2015.)
28. WHO, Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. New emerging risks to health from air pollution – results from the survey of experts, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2013, dostupno na [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0017/234026/e96933.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0017/234026/e96933.pdf?ua=1) (24.4.2015.)
29. <http://www.epa.gov/apti/ozonehealth/population.html> (25.4.2015.)
30. <https://insightshhealthassociates.wordpress.com/2013/06/23/singapore-haze-how-dangerous-is-pm-2-5/> (1.5.2015.)
31. <http://caice.ucsd.edu/index.php/education/clear/learning-with-clear/aerosols-and-health/> (22.4.2015.)
32. <http://www.eea.europa.eu/hr/signals/signals-2013/clanci/svaki-nas-udisaj> (21.4.2015.)
33. <http://www.medicalnewstoday.com/articles/274510.php> (22.4.2015.)
34. M. Guarnieri, J.R. Outdoor air pollution and asthma, *The Lancet*, **383**, 9928 (2014) 1581–1592
35. <http://www.mfe.govt.nz/more/environmental-reporting/air/air-domain-report-2014/why-good-air-quality-important> (22.4.2015.)
36. [http://www.123rf.com/photo\\_19893716\\_man-anatomy-digestive-system-cutaway-including-mouth-the-other-organs-are-visible-in-half-tones-on-w.html](http://www.123rf.com/photo_19893716_man-anatomy-digestive-system-cutaway-including-mouth-the-other-organs-are-visible-in-half-tones-on-w.html) (1.5.2015.)

37. E. H. Wilker, S. R. Preis, A. S. Beiser, P. A. Wolf, R. Au, I. Kloog, W. Li, J. Schwartz, P. Koutrakis, C. DeCarli, S. Seshadri, M. A. Mittleman. Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter, Residential Proximity to Major Roads and Measures of Brain Structure. *Stroke*, 2015 DOI: [10.1161/STROKEAHA.114.008348](https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.008348), dostupno na <http://stroke.ahajournals.org/content/early/2015/04/23/STROKEAHA.114.008348> (25.4.2015.)
38. E. H. Wilker, E. Mostofsky, S.H. Lue, D. Gold, J. Schwartz, G. A. Wellenius, M.A. Mittleman, Residential Proximity to High-Traffic Roadways and Poststroke Mortality, *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases* 22, 8 (2013)366–372, DOI: [Doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2013.03.034](https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2013.03.034), dostupno na [http://www.strokejournal.org/article/S1052-3057\(13\)00116-X/abstract](http://www.strokejournal.org/article/S1052-3057(13)00116-X/abstract) (25.4.2015.)
39. <http://www.theozonehole.com/arcticozone.htm> (30.4.2015.)
40. S. Vidič, L. Kraljević, Plan djelovanja za smanjenje onečišćenja prizemnim ozonom u područjima i naseljenim područjima republike hrvatske u kojima dolazi do prekoračenja ciljnih vrijednosti, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2012.
41. <http://www.washoecounty.us/health/programs-and-services/air-quality/nozone.php> (28.4.2015.)
42. E. Kovač-Andrić, G. Herjavić i H. Muharemović, Hlapljivi ugljikovodici u graničnom sloju u Tikvešu, Park prirode Kopački rit, *Kem. Ind.* **62**, 7-8 (2013) 235–239.
43. <http://www.bbc.com/news/science-environment-20563591> (28.4.2015.)
44. S. C. Pugliese, J. G. Murphy, J. A. Geddes, J. M. Wang, The impacts of precursor reduction and meteorology on ground-level ozone in the Greater Toronto Area, *Atmos. Chem. Phys.*, 14 (2014) 8197–8207, doi:10.5194/acp-14-8197-2014.
45. A. J. DeCaria, K.E. Pickering, Lightning-generated NOX and its impact on tropospheric ozone production: A three-dimensional modeling study of a Stratosphere-Troposphere Experiment: Radiation, Aerosols and Ozone (STERAO-A) thunderstorm, *Journal of Geophysical Research*, D14303, doi:10.1029/2004JD005556, 2005, na: [http://web.kaust.edu.sa/faculty/GeorgiyStenchikov/papers\\_sterao/2004JD005556.pdf](http://web.kaust.edu.sa/faculty/GeorgiyStenchikov/papers_sterao/2004JD005556.pdf) (29.4.2015.)
46. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o stanju kakvoće zraka za područje Republike Hrvatske od 2008. do 2011. godine, Zagreb, 2013., dostupno na <http://www.azo.hr/IzvjesceOStanjuKakvoceZraka> (24.4.2015.)
47. Plan zaštite zraka, ozonskog sloja i ublažavanja klimatskih promjena u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2013. do 2017. godine (NN br. 139/13).
48. <http://www.yalescientific.org/wp-content/uploads/2012/01/fulllength-ozone-4.jpg> (1.5.2014.)
49. <http://www.icopal-noxite.co.uk/nox-problem/nox-pollution.aspx> (3.5.2015.)
50. <http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/04/nitrogen-dioxide-podcast> (3.5.2015.)

51. [http://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview\\_NOx.htm](http://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview_NOx.htm) (4.5.2015.)
52. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-nitrogen-oxides-nox-emissions-1/assessment.2010-08-19.0140149032-3> (4.5.2015.)
53. <http://muayad57.blogspot.com/2011/01/acid-rain.html> (4.5.2015.)
54. <http://www.zjzks.ba/publikacije/problem%20aerozagadjenja.pdf> (4.5.2015.)
55. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-sulphur-dioxide-so2-emissions-1/assessment-3> (6.5.2015.)
56. Pravilnik o praćenju kvalitete zraka (NN br. 3/13)
57. Agencija za zaštitu okoliša, Godišnje izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2013. godinu, Zagreb, 2014.
58. <http://www.bh-index.com/opet-visoka-zagadenost-u-sarajevu-i-zenici/#> (6.5.2015.)
59. Direktiva 1999/32/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o smanjenju sadržaja sumpora u određenim tekućim gorivima i o izmjeni Direktive 93/12/EEZ (SL L 121, 11.5.1999.)
60. Uredba o kvaliteti tekućih naftnih goriva (NN br. 113/3, 76/14)
61. Agencija za zaštitu okoliša, Godišnji izvještaj o praćenju emisija hlapivih organskih spojeva u zraku u 2013. godini u Republici Hrvatskoj, Zagreb, 2014.
62. Europska Agencija za okoliš, European Union emission inventory report 1990–2011 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
63. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sector-share-of-non-methane-volatile-organic-compounds-emissions-eea-member-countries-3> (12.5.2015.)
64. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o proračunu emisija Republike Hrvatske 2015. (1990.-2013.), Zagreb, 2015.
65. Direktiva 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 24. studenoga 2010. o industrijskim emisijama (integrirano sprječavanje i kontrola onečišćenja) (SL L 334, 17.12.2010.).
66. [http://prtl.uhcl.edu/portal/page/portal/EIH/publications/annual\\_reports/ar\\_1998/98gaddis/98gaddis.htm](http://prtl.uhcl.edu/portal/page/portal/EIH/publications/annual_reports/ar_1998/98gaddis/98gaddis.htm) (12.5.2015.)
67. C. Röder-Stolinski, Untersuchungen zum Mechanismus der VOC-induzierten inflammatorischen Antwort von Lungenepithelzellen, Disertacija, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Njemačka, 2009., str.6.
68. Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN br. 117/12).
69. B. J. Alloway, Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils, Environmental Pollution, 22 (2013) 11-50.
70. H. Mesić, A. Čidić, S. Dominković Alavanja i drugi, Program trajnog motrenja tala Hrvatske, Projekt Izrada Programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom LIFE TCY/CRO 000105, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2008.



71. Z. Lončarić, I. Kadar, Z. Jurković, V. Kovačević, B. Popović, K. Karalić, Teški metali od polja do stola, Zbornik radova 47th Croatian International Symposium on Agriculture, Opatija, Hrvatska, 13.-17.2. 2012, str. 14.23.
72. M. Šarić, Medicina rada i okoliša, Medicinska naklada, Zagreb, 2002, str. 676-690.
73. F. Plavšić, I. Žuntar, Uvod u analitičku toksikologiju, Školska knjiga d.d., Zagreb, 2006., str. 73.
74. J. Quarterman, K. Kostial, Trace Elements in Human and Animal Nutrition, 5<sup>th</sup> Edition, Eds.: W. Mertz, Orlando, Florida, USA, 1986, str. 294-337.
75. S. Morais, F. Garcia e Costa, M. de Lourdes Pereira , Environmental Health – Emerging Issues and Practice, dostupno na <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/27687.pdf> (14.5.2015.)
76. C.H. Walker, S.P. Hopkin, R.M. Sibly, D.B. Peakall, Principles of Ecotoxicology, Third Edition, 2006, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
77. G. Pavlović, S. Siketić, Kemijski aspekti ekotoksikologije žive i njezinih spojeva, Sigurnost **53**, 1 (2011) 17-28.
78. I. Rezić, Optimization of ultrasonic extraction of 23 elements from cotton, Ultrasonics Sonochemistry **16** (2009) 63–69.
79. R. Peternel, P. Hercog, Zagađenje zraka – javnozdravstveni problem, Hrvatski časopis za javno zdravstvo, **3**, 9 (2007)1-5, dostupno na <http://www.izlog.info/tmp/hcjz/clanak.php?id=13130> (20.5.2015.)
80. European Environment and Health Process newsletter, Mart 2015, Health and the environment: addressing the health impact of air pollution, EB136/15, dostupno na [http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/EB136/B136\\_15-en.pdf](http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB136/B136_15-en.pdf) (15.5.2015.)
81. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/historical-and-projected-trends-in> (15.5.2015.)
82. EUROPSKA KOMISIJA – COM (2013) 918 final - Čisti zrak za Europu, Bruxelles, 2014. NAT/634 – EESC-2014-00637-00-00-AC-TRA (IT), Komunikacija komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija – Program.
83. <http://www.zzjzv.hr/?gid=3&aid=61> (29.5.2015.)
84. <http://www.agrivi.com/hr/svjetski-dan-voda-2015-voda-i-odrzivi-razvoj/> (29.5.2015.)
85. <http://www.eniscuola.net/en/2014/02/26/how-much-water-is-on-your-plate/> (29.5.2015.)
86. R. Čož-Rakovac, M. Hacmanjek, Z. Teskerdžić, M. Tomec, E. Teskerdžić, Kisele kiše – problem današnjice, Ribarstvo **53**, 1(1995)25-42.
87. I. Kisić, Sanacija onečišćenog tla, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2011.
88. Č. Benac, Zaštita okoliša - Skripta, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, 2013, str. 15.
89. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=45899> (29.5.2015.)

90. B. Tušar, Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode s zakonskom regulativom, Croatia knjiga, Zagreb, 2004.
91. <http://blogs.egu.eu/network/4degrees/category/resource-security/feed/> (29.5.2015.)
92. J. Dobrinić, Onečišćenje mora uljima i elementima u tragovima, Pomorski zbornik **38**, 1 (2000) 333-348.
93. M. Ahel, S. Terzić, N. Tepić, Organska onečišćenja u odlagalištu otpada Jakuševac i njihov utjecaj na podzemne vode, Arh Hig Rada Toksikol **57** (2006) 307-315.
94. T. Sofilić, Onečišćenje i zaštita tla, Skripta, Sveučilište u zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2013.
95. <http://www.aquatechnologynatural.rs/o-vodi/zagadjivaci-vode> (29.5.2015.)
96. <https://www.water2drink.com/resource-center/health-effects-water-pollution.asp> (1.6.2015.)
97. <http://projects.seattletimes.com/2014/loaded-with-lead/3/> (1.6.2015.)
98. C.H. Walker, S.P. Hopkin, R.M. Sibly, D.B. Peakall, Principles of Ecotoxicology, Third Edition, 2006, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
99. G. Pavlović, S. Siketić, Kemijski aspekti ekotoksikologije žive i njezinih spojeva, Sigurnost **53**, 1 (2011) 17-28.
100. M.B. Rajković, M.D. Stojanović, Č.M. Lačnjevac, D.V. Tošković, Detekcija i određivanje nekih teških metala u vodi gradske vodovodne mreže naselja Vidikovac-Beograd preko izdvojenog kamenca iz vode, Zaštita materijala **50**, 1 (2009) 35-44.
101. M. Habuda-Stanić, M. Kuleš, Arsen u vodi za piće, Kem. Ind. **51**, 7–8 (2002) 337-342.
102. Z. Medverec-Knežević, M. Nadih, R. Josipović, I. Grgić, A. Cvitković, Zagađenje pitke vode mineralnim uljima u Slavanskom Brodu, Arh Hig Rada Toksikol. **62** (2001) 349-356.
103. Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN br. 125/13, 141/13).
104. Z. Lončarić, D. Rastija, R. Baličević, K. Karalić, B. Popović, V. Ivezić, Plodnost i opterećenost tala u pograničnome području, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2014., str. 41-64.
105. V. Filipović, D. Petošić, Z. Nakić, M. Bubalo, Prisutnost nitrata u podzemnim vodama; Izvori i procesi, Hrvatske vode **31** (2013) 119-128.
106. I. Horvat, A. Senta, A. Racz, Praćenje koncentracije nitrata u vodi Koprivničkog vodovoda, Sigurnost **52**, 4 (2010) 359 – 365.
107. V. Drevenkar, S. Fingler, Pesticidi i drugi perzistentni organoklorovi spojevi u okolišu u nas, Arh. Hig. Rada Toksikol. **51** (2000) 59–73.
108. M. Sraka, Z. Šmit, Herbicidi u tlu i vodama na dijelu dravskog sliva, Zbornik radova VIII. Znanstveno-stručnog skupa Voda i javna vodoopskrba, M. Erceg, G. Popijač-Cesar, E. Iovrić (ur.), Hrvatski zavod za javno zdravstvo i županijski zavodi za javno zdravstvo, Tuheljske Toplice, 4.-7.10. 2004., str. 97-111.

109. J. Bošnjir, D. Puntarić, Z. Šmit, M. Klarić, M. Grgić, L.M. Kosanović, Organochlorine pesticide sin freshwater fish from the Zagreb area, Croatia, *Arh. Hig. Rada Toksikol.* **58**, 2 (2007) 187-193.
110. S. Fingler, V. Drevenkar, B. Tkalčević, Z. Šmit, Levels of polychlorinated biphenyls, organochlorine pesticides and chlorophenols in the Kupa river and in drinking waters from different areas in Croatia. *Bull Environ Contam Toxicol* **49** (1992) 805–812.
111. Enciklopedija zaštite na radu, medicine i higijene rada, tom II, N-Ž, International Labour Office Geneve, Institut za dokumentaciju zaštite na radu Edvard Kardelj, Niš, 1982., str. 1018.
112. Nacionalna strategija zaštite okoliša (NN br. 46/02).
113. Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22. 12. 2000.)
114. Državni plan za zaštitu voda (NN br. 8/99).
115. K. Vitale, I. Afrić, P. Šuljić, T.Pavić, Uloga sanitarno-inspeksijskog nadzora vode u osiguranju javnozdravstvene zaštite u Republici Hrvatskoj, *Medica Jadertina* **40**, 3-4 (2010) 75-83.
116. Hrvatske vode, Strategija upravljanja vodama, Urednik: D. Biondić, Tisak: AKD Zagreb, Zagreb, 2009.
117. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj 2014 (razdoblje 2009-2012), Zagreb 2015., str 161.
118. Hrvatske vode, Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina, zagreb 2014., dostupno na: [http://www.mps.hr/UserDocsImages/SAVJETOVANJA%20ZI/2015/Visegodisnji%20program%20gradnje%20KVG\\_listopad\\_2014.pdf](http://www.mps.hr/UserDocsImages/SAVJETOVANJA%20ZI/2015/Visegodisnji%20program%20gradnje%20KVG_listopad_2014.pdf) (1.6.2015.).
119. Agencija za zaštitu okoliša, Okoliš na dlanu I – 2013, Zagreb, 2013.
120. Državni zavod za statistiku, Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2014, Zagreb 2014, str. 466-468.
121. Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Hrvatski zdravstveno-statistički ljetopis za 2013. godinu, Zagreb, 2014., str. 326.
122. F. Bašić, Oštećenje i zaštita tla, 2. izdanje, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2009.
123. F. Bašić, Oštećenja i tehnologije zaštita tala Hrvatske – otvorena pitanja, rukopis pisanih predavanja studentima Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2009.
124. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN br. 15/92).
125. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN br. 9/14).

126. W. Grzebisz, L. Cieśla, J. Komisarek, J. Potarzycki, Geochemical Assessment of Heavy Metals Pollution of Urban Soils, *Polish Journal of Environmental Studies*, **11**, 5 (2002), 493-499.
127. K.M. Banat, F.M. Howari, A.A. Al-Hamad, Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks?, *Environmental Research*, **97**, 3(2005) 258-273.
128. D. Salvagio Manta, M. Angelone, A. Bellanca, R. Neri, Mario Sprovieri, Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy, *Science of the total environment*, **330**, 1-3 (2002) 229-243.
129. M. Cleto Soares de Moura, G. Ciaramella Moita, J. Machado Moita Neto, Analysis and assessment of heavy metals in urban surface soils of Teresina, Piauí State, Brazil: a study based on multivariate analysis, *Comunicata Scientiae* **1**, 2 (2010) 120-127.
130. A. H. M. M. Morshed, M. A. Farukh, M. A. Sattar, Heavy Metal Contamination in Farm and Urban Soil in Mymensingh, *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, **5**, 2 (2012) 81-84.
131. Z. Lončarić, I. Kadar, Z. Jurković, V. Kovačević, B. Popović, K. Karalić, Teški metali od polja do stola, Proc. 47th Croatian International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 13-17 February, 2012, p. 14.23.
132. C. Van Brummelen, R. A. Verweij, S. A. Wedzinga, C. A. M. Van Gestel, Enrichment of polycyclic aromatic hydrocarbons in forest soils near blast furnace plant. *Chemosphere* **32** (1996) 293-314.
133. J. J. Nam, G. O. Thomas, F. M. Jaward, E. Steinnes, O. Gustafsson, K. C. Jones, PAHs in background soils from Western Europe: Influence of atmospheric deposition and soil organic matter. *Chemosphere*, **70** (2008) 1386-1392.
134. A. F. Wick, N. W. Haus, B. F. Sukkariyah, K. C. Haering, W. L. Daniels, Remediation of PAH-Contaminated Soils and Sediments: A Literature Review, *Environmental Soil Science, Wetland Restoration and Mined Land Reclamation*, Ed.: A. F. Wick and W. L. Daniels, Virginia Tech, 2011, Blacksburg, VA, USA. <http://landrehab.org/userfiles/files/Dredge/Virginia%20Tech%20PAH%20Remediation%20Lit%20Review%202011.pdf> (30.6.2015.).
135. T. Sofilić, J. Jendričko, PCDDs/Fs Pollution from Metallurgical Processes in the Town of Sisak, Croatia, *Archives of metallurgy and materials* **59**, 1 (2014) 293-297.
136. S. N. Meijer, W.A. Ockenden, A. Sweetman, K. Breivik, J.O. Grimalt, K.C. Jones, Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: implications or sources and environmental processes. *Environ. Sci. Technol.* **37**, (2003) 667-672.
137. A. J. Sweetman, M. D. Valle, K. Prevedouros, K. C. Jones. The role of soil organic carbon in the global cycling of persistent organic pollutants (POPs): interpreting and modelling field data. *Chemosphere*, **60** (2005) 959-972.

138. Uredba (EZ) br. 1107/2009 Europskog parlamenta i Vijeća od 21. listopada 2009. o stavljanju sredstava za zaštitu bilja na tržište i stavljanju izvan snage direktiva Vijeća 79/117/EEZ i 91/414/EEZ (SL L 309, 24. 11. 2009.).
139. Uredba (EU) br. 528/2012 Europskog parlamenta i Vijeća od 22. svibnja 2012. o stavljanju na raspolaganje na tržištu i uporabi biocidnih proizvoda (SL L 167, 27. 6. 2012.).
140. Pravilnik o uspostavi akcijskog okvira za postizanje održive uporabe pesticida (NN br. 142/12).
141. Zakon o održivoj uporabi pesticida (NN br. 14/14).
142. Nacionalni akcijski plan za postizanje održive uporabe pesticida za razdoblje 2013.-2023., Republika Hrvatska, Ministarstvo poljoprivrede, Zagreb, 2013.
143. D. Kožul, S. Herceg Romanić, Analiza polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina i polikloriranih dibenzofurana u tlu i sedimentu, Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju, **60** (2009) 243-257.
144. EUROPEAN COMMISSION, Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, Radiation Protection 112, European Commission, Directorate-General, Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1999.
145. D. Barišić, A. Vertačnik, S. Lulić, Caesium contamination and vertical distribution in undisturbed soils in Croatia, Journal of environmental radioactivity **46**, 3 (1999) 361-374.
146. N. Filipović-Vinceković, D. Barišić, N. Mašić, S. Lulić, Distribution of fallout radionuclides through soil surface layer, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. **127**, 1 (1991) 53-62.
147. Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu, (NN br. 121/13).
148. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Š. Cerjan-Stefanović, Radioaktivni materijali u čeličnom otpadu, Strojarstvo **43**, 1-3 (2001) 65-70.
149. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Š. Cerjan-Stefanović, Ž. Grahek, Opravdanost praćenja prisutnosti radionuklida u čeličnom otpadu i sirovom čeliku, Strojarstvo, **43**, 4-6 (2001) 203-209.
150. J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Wörner, Natural Radionuclide Concentrations in Materials Processed in the Chemical Industry and the Related Radiological Impact, European commission, Nuclear safety and the Environment, Report EUR 19264, 2000.
151. A. M. Gbadebo and A. J. Amos, Assessment of Radionuclide Pollutants in Bedrocks and Soils from Ewekoro Cement Factory, Southwest Nigeria, Asian Journal of Applied Sciences, **3** (2010)135-123.
152. C. Manea, C. Podina, I. Pordea, G. Crutu, G. Ilie, I. Robu, The estimation of cements radioactivity obtained by electrofilter ashes addition due to thermal power station based on coal from Oltenia Coalfield, Romania. Analele Universitatii din Bucuresti – Chimi. Anul XVII 1 (2008) 45–49.

153. K. Khan, H. M. Khan, Natural gamma-emitting radionuclides in Pakistani Portland cement, *Applied Radiation and Isotopes* **54** (2001) 861-865.
154. S. Turhan, U. N. Baykan, K. Sen, Measurement of the natural radioactivity in building materials used in Ankara and assessment of external doses. *J. Radiol. Prot.* **28**, 1 (2008) 83–87.
155. C. Manea, C. Podina, I. Pordea, G. Crutu, G. Ilie, I. Robu, The radiological risk assessment due to the radioactivity of thermal power station ashes added in building materials. *Rev. Roum. Chim.* **55**, 1(2010) 39–44.
156. T. Sofilić, D. Barišić, Ž. Grahek, Š. Cerjan-Stefanović, A. Rastovčan-Mioč, B. Mioč, Radionuclides in metallurgical products and waste, *Acta metallurgica Slovaca*, **10**, 1 (2004) 29-35.
157. T. Sofilić, D. Barišić, U. Sofilić, Natural Radioactivity in Steel Slag Aggregate. *Archives of metallurgy and materials*, **56**, 3 (2011) 628-634.
158. T. Sofilić, D. Barišić, U. Sofilić, M. Đuroković, Radioactivity of Some Building and Raw Materials in Croatia. *Polish Journal of Chemical Technology*, **13**, 3 (2011) 23-27.
159. T. Sofilić, D. Barišić, U. Sofilić, Monitoring of Radionuclides in Carbon Steel Blooms Produced by EAF Process. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* **47**, 2 (2011)125-136.
160. C. Carlon, M. D'Allesandro, F. Swartjes, Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe a Review and Evaluation of National Procedures Towards Harmonisation, European Commission, Directorate-General Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 2007.
161. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2005.-2008., Zgreb 2012.
162. B. Šarkanji, D. Kipčić, Đ. Vasić-Rački, F. Delaš, K. Galić, M. Katalenić, N. Dimitrov, T. Klapac, *Kemijske i fizikalne opasnosti u hrani*, Hrvatska agencija za hranu (HAH), Zagreb, 2010, str. 55, 67-69.
163. Enciklopedija zaštite na radu, medicine i higijene rada, tom II, N-Ž, International Labour Office Geneve, Institut za dokumentaciju zaštite na radu Edvard Kardelj, Niš, 1982., str. 1018, 1505.
164. M. Đokić, N. Bilandžić i F. Briški, Postupci uklanjanja pesticida iz okoliša, *Kem. Ind.* **61** , 7-8 (2012) 341–348.
165. A. Bosak, Organofosforni spojevi: klasifikacija i reakcije s enzimima, *Arh. Hig. Rada Toksikol.* **57** (2006) 445-457.
166. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste\\_generation\\_by\\_economic\\_activities\\_and\\_households\\_2012\\_\(thousand\\_tonnes\).png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households_2012_(thousand_tonnes).png) (20.7.2015.)
167. <http://environmentalchemistry.com/yogi/environmental/wastehistory.html> (15.8.2015.)

168. J. Samokovlija-Dragičević, Kompostiranje zelenog otpada, *Građevinar*, **61**, 12 (2009) 1195-1200.
169. S. Kalambura, Gospodarenje otpadom kroz povijest, *Eko revija*, **1**, (2005) 10-11.
170. <http://cistoca.hr/default.aspx?id=229> (25.7.2015.)
171. Direktiva 2008/98/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o otpadu i ukidanju određenih direktiva (SL L 312, 22. 11. 2008.).
172. Direktiva 2010/75/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o industrijskim emisijama (integrirano sprječavanje i kontrola onečišćenja) (SL L 334, 17.12. 2010.).
173. Direktiva Vijeća 1999/31/EZ o odlaganju otpada (SL L 182, 16.7.1999.).
174. Uredba (EZ-a) br. 1013/2006 Europskog parlamenta i Vijeća o pošiljkama otpada (SL L 190, 12. 7. 2006.), izmijenjena i dopunjena Uredbom Komisije (EU-e) br. 664/2011 (SL L 182, 12.07.2011.).
175. H. Stevanović Črapina, A. Mihajlov, Uticaj otpada na urbano stanovništvo-doprinos uspostavljanju uzročno-posledičnih veza, *Reciklaža i održivi razvoj* **4** (2011) 20-28.
176. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics> (16.2.2015.).
177. Zakon o zaštiti od buke (NN br. 30/09, 55/13, 153/13).
178. <http://www.hak.hr/revija/230-231/clanak/1079> (16.8.2015.)
179. <http://www.zzjzzv.hr/?gid=2&aid=98> (16.8.2015.)
180. [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/136466/e94888.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf) (16.8.2015.)
181. <http://www.izlog.info/tmp/hcjz/clanak.php?id=12975> (16.8.2015.)
182. European Environment Agency, Noise in Europe 2014, EEA Report No 10/2014, Copenhagen, Denmark, 2014.
183. Ž. Andreić, K. Korlević, D. Andreić, A. Bonaca, P. Korlević, M. Kramar, Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj, *Građevinar* **63**, 8 (2011) 757-764.
184. <http://projectbrainsaver.blogspot.com/2011/01/bbc-news-stargazing-and-dark-sky.html> (16.8.2015.)
185. M. Fonović, Svjetlosno onečišćenje – kamo su nestale zvijezde, *Kem. Ind.* **57**, 1(2008) 27–32.
186. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN br. 114/11).
187. Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN br. 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14).
188. Zakon o zaštiti prirode (NN br. 80/13).
189. T. Vrančić, Ugrožen biljni i životinjski svijet, ali i ljudsko zdravlje, *Građevinar* **66**, 2 (2014) 175-178.
190. M. Martinis, V. Mikuta-Martinis, Život pod umjetnom rasvjetom i zdravlje, *Sigurnost* **50**, 2 (2008) 97 – 103.
191. [http://www.ekorasvjeta.net/svjetlosno\\_oneciscenje/svjetlosno-oneciscenje-melatonin-i-kancerogeni-efekti-na-ljudsko-zdravlje/](http://www.ekorasvjeta.net/svjetlosno_oneciscenje/svjetlosno-oneciscenje-melatonin-i-kancerogeni-efekti-na-ljudsko-zdravlje/) (16.8.2015.)



192. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Š. Cerjan-Stefanović, Radioaktivni materijali u čeličnom otpadu, *Strojarstvo*, **43**, 1-3 (2001) 65-70.
193. <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/cavar/EMzracenje.htm> (24.8.2015.)
194. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Š. Cerjan-Stefanović, Ž. Grahek, Radioaktivni materijali u čeličnom otpadu, *Strojarstvo*, **43**, 4-6 (2001) 203-209.
195. T. Sofilić, D. Barišić, Ž. Grahek, Š. Cerjan Stefanović, A. Rastovčan Mioč, B. Mioč, Radionuclides in metallurgical products and waste, *Acta Metallurgica Slovaca* **10**, 1(2004)29-35.
196. T. Sofilić, T. Marjanović, A. Rastovčan-Mioč, Potreba uvođenja sustava za nadzor radioaktivnosti u procesima proizvodnje čelika Hrvatskih čeličana i Ijevaonica, *Arh Hig Rada Toksikol*, **57** (2006) 45-54.
197. <http://matrixworldhr.com/2015/02/17/elektromagnetsko-zracenje-zdravlje-i-djeca/> (16.8.2015.)
198. <http://www.sovereignindependentuk.co.uk/wp-content/uploads/2012/04/danger-radiation-risk1.jpg> (25.8.2015.)
199. M. Novaković, Zaštita od ionizirajućih zračenja: propisi u republici Hrvatskoj s komentarima, Ekoteh-dozimetrija d.o.o. za zaštitu od zračenja, Zagreb, 2001., str.18-23.
200. Istarska županija, Procjena rizika onečišćenja mora, Pula, 2012. [www.istra-istria.hr/fileadmin/...tijela/.../20131015\\_02\\_Procjena.pdf](http://www.istra-istria.hr/fileadmin/...tijela/.../20131015_02_Procjena.pdf). (5.8.2014.)
201. A. Gross-Bošković, B. Hengl, S. Miloš, D. Stražanac, D. Knežević, Procjena rizika kao dio modernog okvira sustava sigurnosti hrane, 49. hrvatski i 9. međunarodni simpozij agronoma, 16.-21. veljače 2014., Dubrovnik, Hrvatska.
202. <http://www.epa.gov/risk/risk-characterization.htm> (30.8.2015.)
203. Food and Nutrition Board, US Institute of Medicine, Dietary Reference Intakes: A Risk Assessment Model for Establishing Upper Intake Levels for Nutrients; Washington, National Academies Press, USA, 1998.
204. R.E. Munn, Global environmental monitoring system (GEMS): action plan for phase I, International Council of Scientific Unions, Scientific Committee on Problems of the Environment, Toronto, Canada, 1973.
205. Ch. Wu, Report for California-China Environmental Health Training Program, Application of Biomonitoring in Risk Assessment, Division of Environmental and Occupational Disease Control, California Department of Public Health, CA, 2009.
206. M. Jergović, Prisutnost metala i drugih rijetkih elemenata i utjecaj na zdravlje stanovništva Istočne Hrvatske , Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Zagreb, 2011.
207. Canadian Ministry of Health, Overview of the Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada, Ottawa, Ontario, 2010.
208. <http://www.eu-hbm.info/euresult> (11.8.2014.)
209. <http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-gropus/human-biomonitoring-commission/reference-hbm-values> (11.8.2014.)

210. M. Toyran, M. Kaymak, E. Vezir, K. Harmanc, A Kaya, T. Gini, G. Köse, C.N. Kocaba, Trace Element Levels in Children With Atopic Dermatitis, *J Investig Allergol Clin Immunol* **22**, 5 (2012) 341-344.
211. S. Omer Sheriff, D. Sultan Sheriff, A.M. Jarari, Plasma Zinc and Copper Levels In Children of Families with History of Cardio-vascular Disease, *Ibnosina J Med BS* **2**, 3 (2005) 125-128.
212. <http://www.who.int/ceh/capacity/biomarkers.pdf> (11.8.2014.)
213. N. Pawlas et al., Cadmium, Mercury and Lead in the blood of urban women In Croatia, The Czech Republic, Poland, Slovakia, Slovenia, Sweden, China, Ecuador and Morocco, *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* **26**, 1(2013) 1-15.
214. A. Miklavčič, A. Casetta, J. Snoj Tratnik, D. Mazej, M. Krsnik, M. Mariuz, K. Sofianou, Z. Špirić, F. Barbone, M. Horvat, Mercury, arsenic and selenium exposure levels in relation to fish consumption in the Mediterranean area *Environmental Research* **120** (2013) 7–17.
215. P. Heitland, H.D. Koster, Biomonitoring of 37 trace elements in blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP–MS, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **20** (2006) 253–262.
216. J. Angerer, U. Ewers, M.I Wilhelm, Human biomonitoring: State of the art, *Int. J. Hyg. Environ. Health* **210** (2007) 201–228.
217. F. Valent et al., Mercury Exposure and Child Neurodevelopment, *J Epidemiol*, **23**, 2 (2013) 146-152.
218. J. Choi, T. A. Mørck, A. Polcher, L. E. Knudsen, A. Joas, Review of the state of the art of human biomonitoring for chemical substances and its application to human exposure assessment for food safety EFSA supporting Publication 2015:EN-724, European Food Safety Authority, 2015.  
[http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific\\_output/files/main\\_documents/724e.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/724e.pdf) (31.8.2015.).
219. L.E. Knudsen, N. Hundebøll, D. F. Merlo, Introduction to Human Biomonitoring u Biomarkers and Human Biomonitoring, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 2012.
220. <http://www.who.int/ceh/capacity/Lead.pdf> (31.8.2015.)
221. [http://www.slideshare.net/Provincie\\_Antwerpen/eurocat-humane-biomonitoring](http://www.slideshare.net/Provincie_Antwerpen/eurocat-humane-biomonitoring) (31.8.2015.)
222. NRC, Biological markers in environmental health research. Committee on Biological Markers of the National Research Council, *Environ Health Perspect.* **74** (1987) 3–9.
223. M. Brljak, Okolišni biomarkeri kao rano upozorenje bolesti – poznati endokrini disruptori, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Zagreb, 2014.

224. [http://www.ilo.org/safework\\_bookshelf/english?content&nd=857170398](http://www.ilo.org/safework_bookshelf/english?content&nd=857170398)  
(12.8.2014.)

## 12. POPIS OZNAKA, KRATICA I POKRATA

- ADI – prihvatljivi dnevni unos (engl. *Acceptable Daily Intake*)
- AHOS – antropogeni hlapivi organski spojevi (engl. *Antropogenic volatile organic compounds, AVOC*)
- ATE – procijenjena vrijednost akutne toksičnosti (engl. *Acute Toxicity Estimate*)
- BHOS – biogeni hlapivi organski spojevi (engl. *Biogenic volatile organic compounds, BVOC*)
- EHOS – emisije hlapivih organskih spojeva
- GT – granica tolerancije
- GV – granična vrijednost
- GVI – granična vrijednost emisije
- HOS – hlapivi organski spojevi (engl. *Volatile organic compounds, VOC*)
- IDA – Međunarodna udruga za tamno nebo (engl. *International Dark Sky Association*)
- LOEL – najniža izmjerena doza s učinkom (engl. *Lowest Observed Effect Level*).
- MDK – maksimalna dopuštena koncentracija (npr. u vodi)
- NIMBY – ne u mom dvorištu (engl. *not in my backyard*)
- NMHOS – ne metanski hlapivi organski spojevi (engl. *Non-methane volatile organic compounds, NMVOC*)
- NOEL – najviša doza bez učinka (engl. *No Observed Effect Level*)
- PAU – policiklički aromatski ugljikovodici (engl. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH*)
- PCB – polikloruirani bifenili (engl. *Polychlorinated Biphenyls*)
- PCDD – poliklorirani dibenzo-*p*-dioksini (engl. *Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins*)
- PCDF – poliklorirani dibenzofurani (engl. *Polychlorinated Dibenzofurans*)
- POPs – postojane organske onečišćujućih tvari (engl. *Persistent Organic Pollutants*)
- WHO – Svjetska zdravstvena organizacija (engl. *World Health Organisation*)