

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu

Uvod u ekoinženjerstvo

1. dio

Interna skripta

Autor: izv.prof.dr.sc. Ana Vrsalović Presečki

Svibanj, 2018

Zahvaljujem se prof dr.sc. Ani Lončarić Božić na poticaju, potpori, korisnim savjetima i temeljitom pregledu koji je doprinio konačnom izgledu ove skripte.

Sadržaj

1. Okoliš.....	1
1.1. Zemlja	1
1.2. Razine biološke organizacije na Zemlji	2
1.3. Biosfera i tehnosfera	3
1.4. Ekosustav.....	5
2. Onečišćenje okoliša	9
2.1. Onečišćenje prema podrijetlu onečišćenja	9
2.2. Onečišćenje prema području kojeg zahvaća	13
2.3. Onečišćenje prema primarnom mjestu onečišćenja	17
2.4. Otpad kao izvor onečišćenja okoliša	20
2.4.1. Zbrinjavanje komunalnog otpada.....	23
2.4.2. Temeljna načela gospodarenja otpadom	30
3. Zaštita okoliša	33
3.1. Održivi razvoj	33
3.2. Zaštita okoliša prema području onečišćenja	34
3.3. Politika zaštite okoliša	35
4. Ekoinženjerstvo i ekotehnologije.....	41
4.1. Ekoinženjerstvo kao znanstvena disciplina	41
4.2. Ekotehnologije.....	51
4.2.1. Industrijska ekologija.....	56
4.2.2. Mjere održivosti procesa.....	59
Literatura	62

1. Okoliš

Okoliš je sveukupnost djelovanja kemijske, fizikalne i biološke prirode, kojima je organizam izložen i na koje on djeluje. Danas je okoliš potrebno promatrati interdisciplinarno kao jedinstvo prirodnog okoliša, socijalnog okoliša i okoliša kao rezultata čovjekovog rada.

Po važećem zakonu o zaštiti okoliša (NN12/2018), okoliš je 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 kamena kora, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja koje je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja.

1.1. Zemlja

Zemlja (slika 1.1.) je jedan od planeta sunčevog sustava i treći planet po udaljenosti od sunca, te jedini zasad otkriveni planet na kojem postoji život. Po veličini je peti planet sunčevog sustava, i ima promjer oko ekvatora od 12756 km, no ipak malen u usporedbi s recimo najvećim planetom Sunčevog sustava Jupiterom koji ima 11 puta veći promjer od Zemlje. Zemlja ima i jedan prirodni satelit Mjesec koji kruži oko Zemlje u eliptičnoj putanji zahvaljujući snazi Zemljine gravitacije, no i Mjesec utječe svojom gravitacijskom silom na Zemlju, što je vidljivo u oceanskim mijenama. Prema procjenama starost Zemlje procjenjuje se na nekih 4,5 milijardi godina. Život na Zemlji je prvenstveno moguć zahvaljujući Zemljinoj atmosferi i činjenici da je zemlja jedini planet na kojem ima pitke vode. Voda pokriva 71% Zemljine površine i čini okosnicu života na zemlji. Od sveukupne vode na Zemlji 96,5 % čini morska površina, a sva ostala voda (na kopnu) 3,5 %. Budući je oko 1 % vode na kopnu slano, ostaje samo 2,5 % slatke vode, no ni ona nije sva lako dostupna za uporabu. Voda je tekuća na Zemlji zahvaljujući kombinaciji raznih čimbenika, kao što su gravitacija, efekt staklenika, kruženju Zemlje oko Sunca i njenom položaju u Sunčevu sustavu, vulkanizmu te sastavu Zemljine atmosfere.



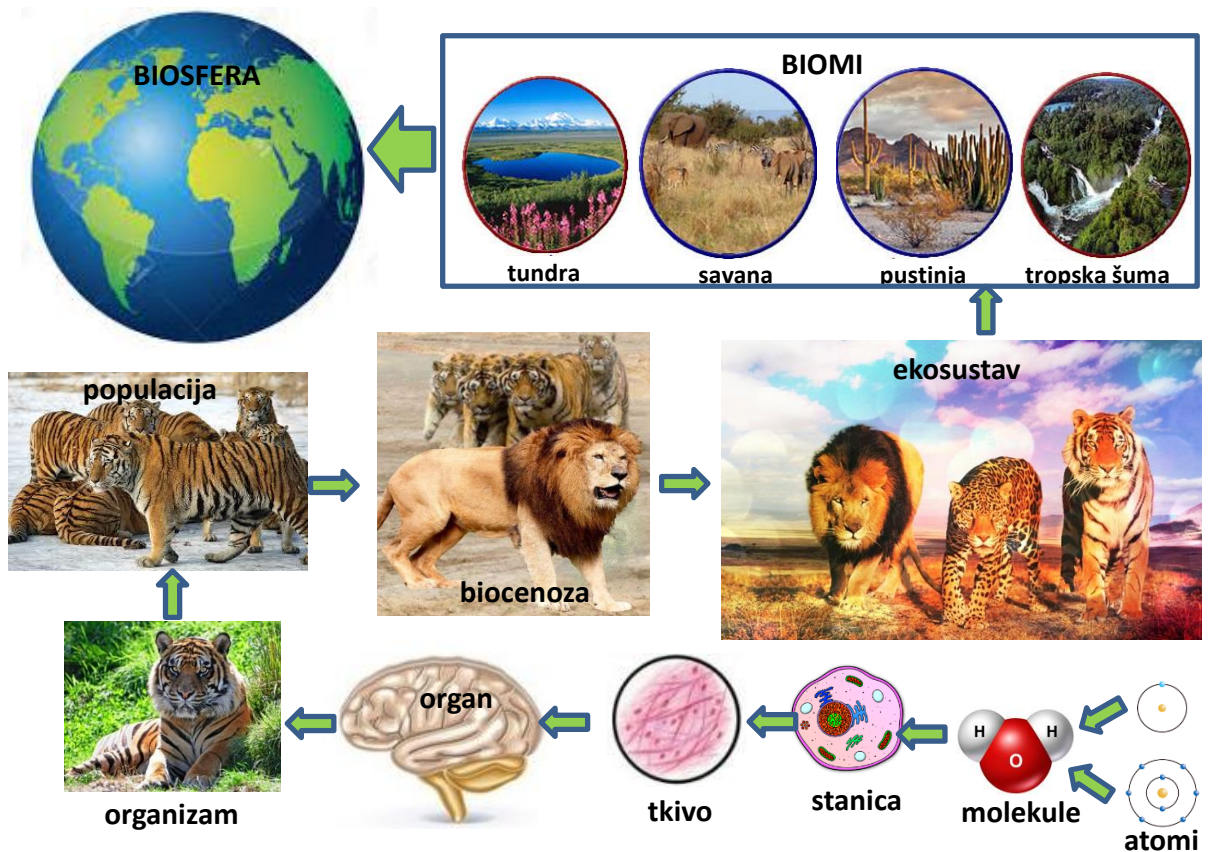
Slika 1.1. Pogled na Zemlju iz svemira (preuzeto iz <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-earth-58.html>)

1.2. Razine biološke organizacije na Zemlji

Biološka organizacija je fizička osnova klasificiranja živih organizama na temelju veličine. Manja biološka tvar udružuje se radi formiranja većih organizama. Svaka razina u hijerarhiji obuhvaća povećanje organizacijske kompleksnosti (slika 1.2.). Objekti na svakoj razini prvenstveno se sastoje od osnovnih jedinica koje čine prethodnu jedinicu.

Atomi su najosnovnije jedinice materije. Atomi poput ugljika, kisika i vodika se vežu i stvaraju molekule, npr. molekula glukoze nastaje vezanjem šest ugljikovih atoma, šest atoma kisika i dvanaest atoma vodika, a molekula vode vezanjem dva atoma vodika s jednim atomom kisika.

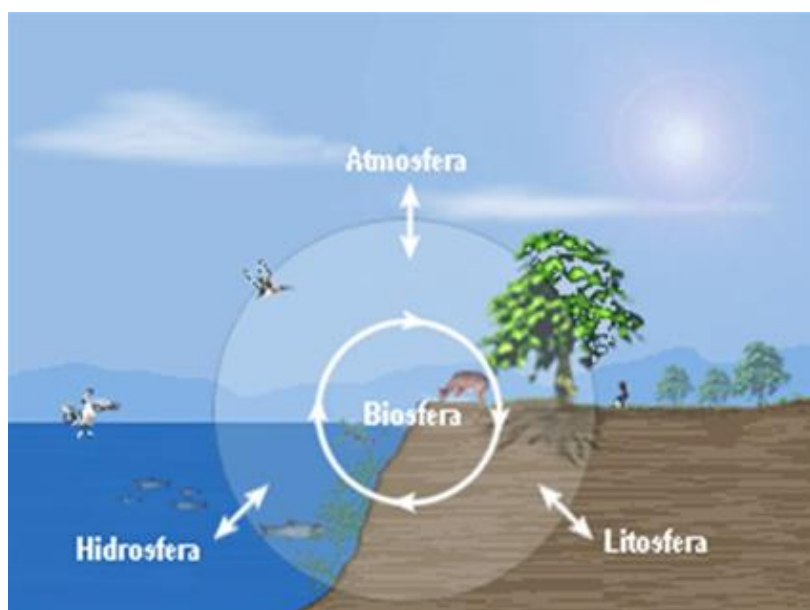
Makromolekule su molekule visoke relativne molekulske mase (preko 10 000), čija se struktura sastoji od višestrukog ponavljanja molekula niske relativne molekularne mase. Primjeri makromolekula su DNA, proteini, ugljikohidrati i lipidi. Makromolekule se grupiraju u specifičnom redoslijedu i oblikuju organele koje imaju specifičnu funkciju, poput jezgre, mitohondrija, golgijeva tijela itd. Većina organela se spaja kako bi stvorili stanicu, osnovnu jedinicu života. Stanice sa sličnim funkcijama agregiraju se tako da tvore tkivo sa sličnom strukturom i funkcijom, a tkiva se organiziraju u organe koji su neovisni dijelovi tijela, poput kože, jetre, srca, te obavljaju određene funkcije. Organski sustavi su napravljeni od različitih tipova organa koji rade zajedno za obavljanje određene funkcije. Jedan primjer organskog sustava je srčanožilni (kardiovaskularni) sustav, koji uključuje srce i krvne žile, te je odgovoran za pumpanje i cirkulaciju krvi. Organizmi su pojedinci vrste, koji mogu rasti i razmnožavati se. Organizam može biti jednostaničan ili višestaničan. Grupe organizma iste vrste nazivaju se populacijom, a različite skupine populacije u okolišu čine biocenozu. Ekosustavi obuhvaćaju zajednice i njihovu interakciju s živim i neživim dijelovima okoliša. Skup međusobno sličnih i funkcionalno povezanih ekosustava čini biom (npr. biom tropskih kišnih šuma, tundra, savana, bjelogorične šume i crnogorične šume, biom oceana itd.), a svi zemljini biomi čine biosferu, uključujući biome na površini Zemlje, ispod površine Zemlje i one u atmosferi.



Slika 1.2. Hijerarhija biološke organizacije

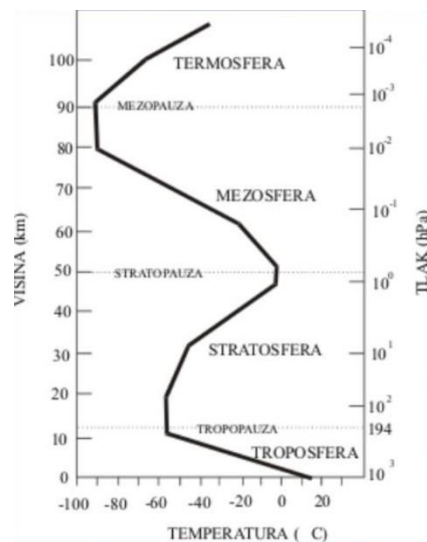
1.3. Biosfera i tehnosfera

Biosfera/ekosfera (slika 1.3.) je opći pojam koji označava najviši stupanj organizacije u kojemu postoji život. Pruža se od oceanskih dubina od 11 000 metara do visina od 7000 m. Biosfera ne uključuje samo Zemljinu površinu, nego i zrak, vodu, gornji sloj tla i sve žive organizme na našoj planeti. Obuhvaća hidrosferu, atmosferu i litosferu (slika 1.3.).



Slika 1.3. Biosfera (preuzeto iz <https://www.partesdel.com/biosfera.html>)

Zemljina atmosfera i njen način interakcije s oceanima i Sunčevom radijacijom su odgovorni za klimu i vremenske prilike na planetu pa tako atmosfera igra glavnu ulogu u očuvanju života na Zemlji. Veliku većinu Zemljine atmosfere čine 2 elementa, dušik (78 %) i kisik (21 %). Za život na Zemlji najvažniji je kisik kojeg udišemo i bez kojeg život na zemlji nije moguć. Zemlja za razliku od ostalih planeta našeg Sunčevog sustava ima jedinstveni set karakteristika koje omogućavaju život. Nije prevruć planet kao primjerice Merkur, niti prehladan planet kao primjerice Mars, a Zemljina atmosfera ima savršen omjer plinova koji zarobljavaju sunčevu toplinu što rezultira pogodnom klimom za očuvanje vode u tekućoj formi. Također Zemljina atmosfera sprečava direktnu radijaciju sunca koja bi u protivnom ugrožavala život na planetu, a za to je naročito bitan ozonski omotač koji sprečava ultraljubičastim zrakama da direktno dolaze na zemlju. Vodena para, ugljikov (IV) oksid, metan i didušikov oksid djeluju u atmosferi kao staklenički plinovi. Njihova uloga je da apsorbiraju toplinu odnosno radijaciju koja se reflektira od Zemlje grijući na taj način Zemljinu površinu. Da nema stakleničkog efekta radijacija bi otišla u svemir i život ne bi bio moguć jer bi zemlja bila prehladna. Atmosfera doseže u visinu od približno 100 kilometara, a vrlo razrijeđena i do 300 kilometara. Podijeljena je u nekoliko slojeva, različitih po fizikalnim i kemijskim svojstvima. Prema promjeni temperature i prema visini atmosfera se dijeli na troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu (slika 1.4.).



Slika 1.4. Podjela atmosfere (preuzeto iz http://jadran.gfz.hr/pojmovnik_s.html)

Temperatura atmosfere mijenja se s visinom, ali ne s uvijek jednakim predznakom gradijenta. Temperatura pojedinih dijelova ovisi o stupnju apsorcije Sunčeva zračenja i izmjeni energije s površinom Zemlje. Od površine Zemlje do gornje granice troposfere temperatura postupno opada. Na visinama 15 do 40 kilometara temperatura iznosi $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, nakon toga raste i na visini od 50 kilometara iznosi $50\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$, da bi na visini od 80 kilometara bila približno $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. U višim slojevima termosfere koji imaju nisku gustoću i mali toplinski kapacitet, temperatura ovisi o zračenju; na 250 kilometara temperatura noću je $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, a danju je viša od $850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hidrosfera je Zemljin vodeni omotač koji uključuje sve tekuće, smrznute i stajaće vode na površini Zemlje te vodenu paru iz atmosfere. Voda je u hidrosferi nejednako raspodijeljena: 96,5 % vode nalazi se u oceanima i morima (slana voda), a približno 3,5 % su kopnene vode. Vodene pare u atmosferi ima približno 0,001 %. Voda, sa svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima, ima izrazitu važnost za život.

Litosfera je vanjski stjenoviti omotač Zemlje. Uključuje Zemljinu koru i gornji dio plašta debljine do 70 kilometara. Sastoji se od donjeg, plastičnog, rastaljenog bazaltnog sloja u kojem prevladava silicij i magnezij (SIMA), gornjeg, krutog, granitnog sloja u kojem prevladava silicij i aluminij (SIAL) te eruptivnih, sedimentnih i metamorfni stijena. Ispod kore nalazi se plašt koji se sastoji od tri dijela gornji plašt, prijelazna zona, donji plašt. Plašt je u tekućem stanju i lagano pomiče koru iznad sebe, što dovodi do pomaka tektonskih ploča. U središtu Zemlje je jezgra u krutom stanju, sastavljena većinom od željeza i nikla. Iz unutrašnjosti Zemlje na površinu pojedinih mjesta izbijaju tekuća lava, piroklastično kamenje, različiti plinovi i vodena para.

Pedosfera je vrlo tanki rastresiti sloj zemlje, nastao kao rezultat dugotrajnog djelovanja atmosfere, hidrosfere i živih organizama na površinu litosfere. Pojam *pedosfera* označava i tlo, odnosno dio Zemljine kore koji je stanište za organizme što žive u njemu i na njemu. Debljina je od nekoliko centimetara i decimetara do nekoliko metara. Pedosfera je preduvjet za raznovrstan život na kopnu, važan faktor u kruženju tvari, stjecište i medij za protok različitih vrsta energija, spremište različitih kemijskih spojeva, životni prostor za ljude, životinje, biljke, mjesto i sredstvo za biljnu proizvodnju.

Tehnosfera (antroposfera) je onaj dio biosfere kojega je uspostavio čovjek, te ga održava i razvija kako bi u njemu što dulje boravio. To je skup sustava u kojim ljudi grade dio vlastite okoline kojima dopunjavaju postojeće dijelove prirodne i društvene okoline

Tehnosfera obuhvaća sve tekovine industrijske civilizacije, počevši od kućanskih električnih uređaja pa sve do hrane. Sve čega se dotiče tehnosfera, uključujući i samog čovjeka, izloženo je temeljnoj, iako ne uvijek vidljivoj, transformaciji. Kad je civilizacija krenula tehnogenim putem razvoja, došlo je do promjene sastava i međusobnih odnosa u ekosustavima.

Tehnosferu čine:

- naselja (kuće, ulice, spomenici,..)
- infrastruktura (vodovodi, ceste, mostovi..)
- industrijska postrojenja (tvornice)

1.4. Ekosustav

Ekosustav je osnovna prostorna ili organizacijska jedinica organizama i nežive tvari, između kojih se stvaraju, izmjenjuju i kruže tvari i energija. Pojam *ekosustav* prvi je spomenuo A.G. Tansley 1935. godine. Po važećem zakonu o zaštiti prirode (NN15/2018) *ekosustav* je dinamičan kompleks zajednica biljaka, gljiva, životinja, algi i mikroorganizama i njihova neživog okoliša koji međusobno djeluju kao funkcionalna jedinica.

Ekosustav se promatra kao skup biotskih i abiotskih elemenata i procesa koji imaju utjecaja na ponašanje i život određene jedinice u definiranom prirodnom okruženju. Biotski elementi obuhvaćaju sve živo i sastoje se od proizvođača i potrošača koji mogu biti biljojedi, mesojedi i svejedi te razlagača. Abiotski elementi sačinjavaju nežive sastavnice ekosustava kao npr. anorganske tvari, Sunčeva svjetlost, voda, atmosferski plinovi, voda, tlo... (slika 1.5.)

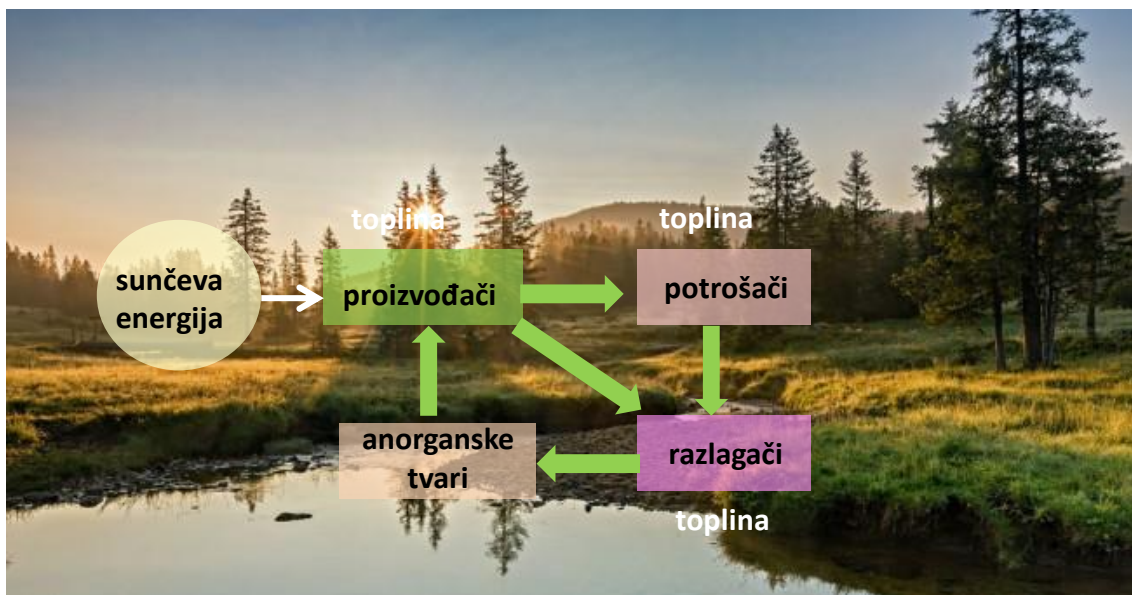
Svaki ekosustav ima svoje karakteristične biotske i abiotske elemente i svako dodavanje novih elemenata u taj sustav često zna imati vrlo negativne posljedice, a u ekstremnim slučajevima čak može doći do izumiranja pojedinih vrsta koje su živjele u tom ekosustavu.

Ekosustavi se sastoje od *biotopa* (zajedničkih fizičkih obilježja prostora) i *biocenoze* (organizama koji žive u biotopu). Biocenoze se sastoje od svih populacija različitih vrsta koje nastanjuju neko područje ili površinu u određenom vremenskom razdoblju. Nastale su kao rezultat ekoloških procesa i evolucijskog razvoja pojedinih populacija.

Ekosustavi su istodobno dio i cjelina, tako da je teško napraviti njihovu univerzalnu klasifikaciju. Postojeće klasifikacije uglavnom su napravljene prema potrebama ili razlozima klasifikacije, pri čemu se primjenjuju različiti kriteriji. Stoga je moguće izdvojiti različite ekosustave. Ukoliko se primjeni veličina kao kriterij, planet Zemlja predstavlja najveći ili globalni ekosustav, koji se još naziva ekosfera. Ekosustav Zemlja-Sunce, Sunce daje Zemlji energiju s kojom se nešto dešava na zemlji, te dolazi do kruženja tvari. U tom kružnom toku se stvara energija koja odlazi sa Zemlje. Zbog ulaska i izlaska energije stvara se raznolikost živih organizama i njihovih zajednica.

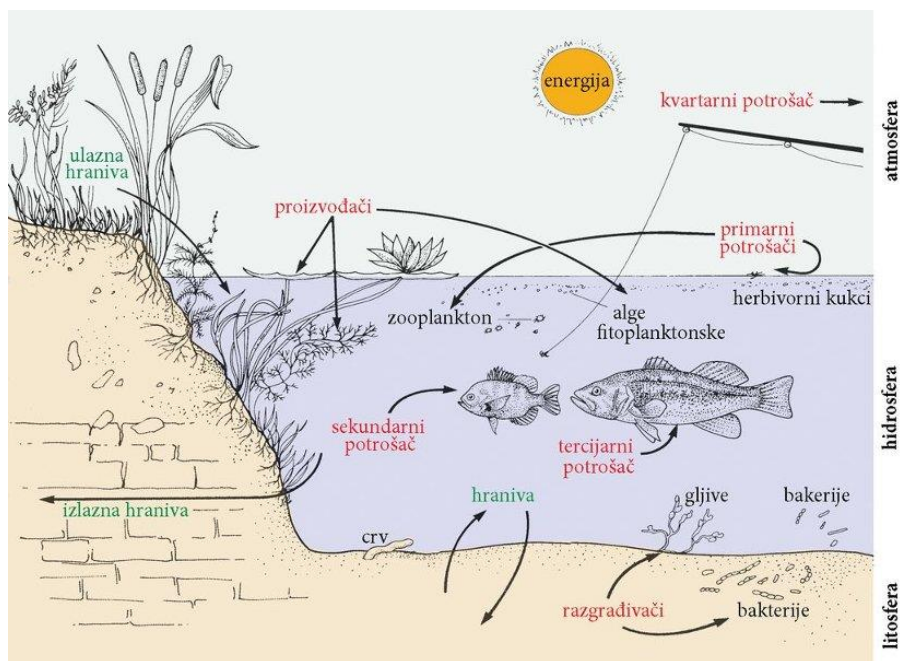
Ekosustavi se najčešće dijele prema prirodi biotopa ili prema sastavu biocenoze. Najčešća je podjela prema prirodi biotopa na:

- vodene ekosustave
- kopnene ekosustave.



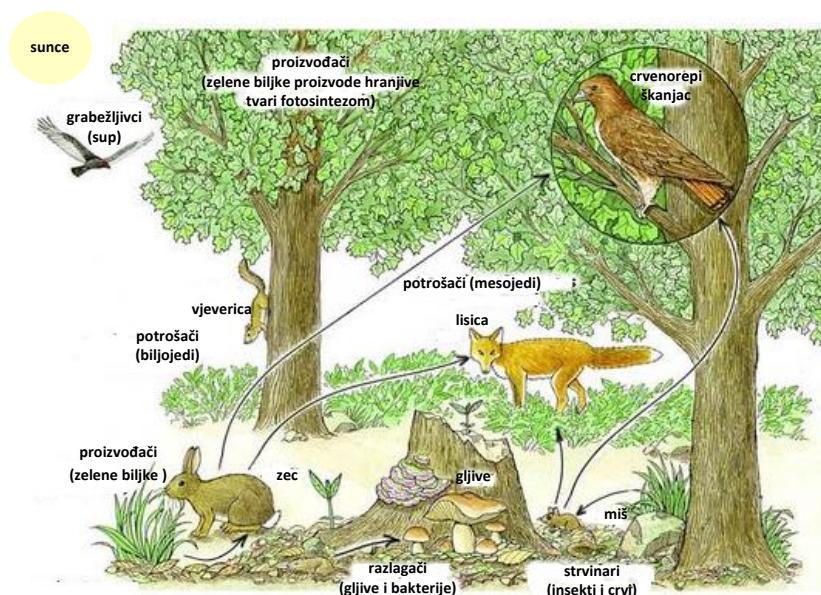
Slika 1.5. Biotski i abiotiski elementi ekosustava

Klasičan primjer vodenog ekosustava je bara (slika 1.6.). U njoj neživu sastavnicu čine: voda, kisik, ugljični dioksid, različite anorganske soli i mnoštvo organskih spojeva. Živu sastavnicu tvore: a) zelene biljke (pretežno alge), koje kao proizvođači sintetiziraju organske spojeve iz neorganskih; b) potrošači (kukci, njihove ličinke, različiti račići i ribe), koji se, kao primarni potrošači, ili hrane biljkama ili, kao sekundarni potrošači, jedu primarne; c) razlagači (gljive i bakterije), koji razgrađuju organske dijelove mrtve protoplazme i pretvaraju ih u neorgansku tvar, koju onda ponovno upotrebljavaju zelene biljke.



Slika 1.6. Ekosustav bara (preuzeto iz <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17383>)

Primjer kopnenog ekosustava je šuma (slika 1.7.). Abiotički dio šume se sastoji od kisika, ugljikovog (IV) oksida, Sunčeve energije, tla i hranjivih tvari. Biotička sastavnica se sastoji od zelenih biljki (listopadnih i vazdazelenih, trava, mahovina...), koji uz pomoć Sunčeve energije i hranjivih tvari iz tla sintetiziraju hranu za primarne potrošače, odnosno biljojede kojima se potom hrane sekundarni potrošači (mesojedi). Razlagači uz pomoć strvinara razgrađuju organske dijelove biljnih i životinjskih ostataka, te ih pretvaraju u hranjive tvari koje biljke koriste za proizvodnju hrane.



Slika 1.7. Ekosustav šume (preuzeto iz <https://www.exploringnature.org/db/view/1812>)

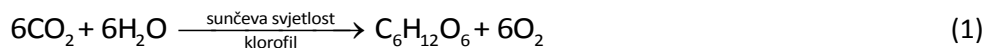
Način funkcioniranja ekosustava se temelji na principu kruženja tvari kao što su ugljik, dušik, voda, fosfor itd. Jedan od najvažnijih elemenata u kruženju tvari je ugljik. Ugljik (C) je po zastupljenosti u Svemiru četvrti element, a na Zemlji ga ima samo 0,32% (težinski). Ali ugljik ima izuzetno veliku

važnost na Zemlji, jer je sav život kakvog poznajemo zasnovan na ugljiku. U neživoj okolini ugljik se nalazi u obliku CO₂ u atmosferi i otopljen u vodi (uglavnom kao HCO₃⁻), u karbonatnim stijinama (vapnenac, koralji), u fosilnim gorivima (ugljen, nafta, prirodni plin, nastali iz nekoć živih bića), te u organskoj tvari u tlu. Udio ugljika u živoj tvari (18%-20%) je gotovo 100 puta viši nego u neživoj (oko 0,2%), što znači da živa bića mogu izdvajati ugljik iz nežive okoline, a kako bi se život mogao održati, potrebno je reciklirati ugljik. Stoga je poznavanje kruženja ugljika u prirodi od važnosti za život na Zemlji.

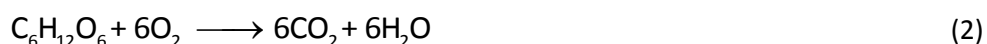
Kružni tok ugljika je ciklus u kojem se ugljik izmjenjuje između biosfere, litosfere (uključuje fosilna goriva), hidrosfere i atmosfere. Kruženje ugljika događa se zbog različitih kemijskih, fizičkih, geoloških i bioloških procesa. Ukupni kružni tok ugljika može se podijeliti na dva manja ciklusa - geološki i biološki. Geološki ciklus ugljika obuhvaća kretanje ugljika između stijena i minerala (litosfera), morske vode (hidrosfera) i atmosfere, a procesi u njemu odvijaju se tijekom milijuna godina. Biološki ciklus odvija se uglavnom između atmosfere i litosfere te se u njemu procesi odvijaju u puno kraćem vremenu (od jednog dana do više stotina godina). Ali ta dva ciklusa nisu sasvim odvojena, jer fotosinteza i respiracija imaju važnu ulogu i u geološkom ciklusu. Primjerice dio ugljika kojeg je fitoplankton u moru koristio za izgradnju ljušturica taloži se na dno oceana stvarajući sedimente. Tijekom milijuna godina geološke prošlosti organska tvar se polako pretvarala u naslage ugljena i nafte, tzv. fosilnih goriva. Dakle, u biološkim procesima korišten je CO₂ iz atmosfere, koji je nakon niza godina pohranjen u geološke spremnike.

U atmosferi se ugljik nalazi uglavnom u obliku CO₂. Iako u vrlo malom postotku (oko 0,03% vol.), ima vrlo važnu ulogu za održavanje života na Zemlji jer ga koriste biljke za proces fotosinteze. CO₂ se otapa u morskoj vodi (veća topivost u hladnijoj vodi), a i u vodi koja prolazi kroz tlo, stvarajući ugljičnu kiselinu, koja može otapati vapnenačke stijene. Ugljik se može vratiti u atmosferu disanjem biljaka i životinja, raspadanjem biljnog i životinjskog tkiva, spaljivanjem organskog materijala, oslobađanjem iz tople morske vode i vulkanskim erupcijama. Izgaranjem fosilnih goriva oslobađa se ugljik koji je milijunima godina bio spremljen u litosferi. Atmosfera je prije industrijske revolucije sadržavala oko 580 Gt ugljika, dok je danas u atmosferi oko 750 Gt i u porastu je.

Biosfera (biljke, životinje, organska tvar u tlu) sadrži oko 2200 Gt ugljika. Posebnu ulogu imaju autotrofni organizmi (biljke, fitoplankton), koji iz anorganskih tvari sami sintetiziraju organske komponente (glukozu i ostale ugljikohidrate) procesom fotosinteze (jedm. 1):



Heterotrofni organizmi hrane se autotrofnima (ili njihovim dijelovima – plodovima) te se tako ugljik prenosi biosferom. Biljke i životinje koriste ugljikohidrate nastale fotosintezom (i ostale kompleksnije produkte) kao hranu putem procesa respiracije (stanično disanje), te se CO₂ vraća u atmosferu ili vodu (jedm. 2).



Razgradnjom (dekompozicijom) mrtvog organskog materijala gljivicama i bakterijama u aerobnim ili anaerobnim uvjetima također nastaju CO₂ ili CH₄, kao i izgaranjem biomase (šumski požari, korištenje drva za ogrjev).

2. Onečišćenje okoliša

Pojavom čovjeka na Zemlji započinje i proces narušavanja ekološke ravnoteže. Za razliku od životinjskih i biljnih vrsta koje nisu mogle svjesno utjecati na proširenje granica svojega rasta, čovjek je svojim utjecajem, misaonim aktivnostima, razvojem novih tehnologija i znanja proširio granice rasta svoje vrste. Zbog relativno malog broja stanovnika u ranijim povijesnim etapama razvoja čovjeka i društva, negativan odnos čovjeka i njegova rada prema okolišu nije dovodio do bitnog narušavanja prirodnog okoliša. Tada se većina ljudi na Zemlji prehranjivala ubiranjem sjemenja, plodova, korijenja i lovom životinja. Zbog toga je i brojnost stanovništva, vjerojatno, bila ograničena količinom na taj način prikupljene hrane. Postupnim razvojem poljoprivrede čovjek je priskrbio veće količine hrane za održavanje brojnijeg stanovništva, održavajući ravnotežu između sebe i okoliša. Razvoj čovječanstva za posljedicu ima veću potrošnju energije. Gradnjom tvornica, kuća i gradova, čovjek stvara sve više nusproizvoda, sve više otpada koji prirodni okoliš nije mogao apsorbirati, a čimbenici koji ugrožavaju okoliš postali su mnogo kompleksniji. Od kraja 18. stoljeća do početka 20. počinje industrijalizacija koja dovodi do važnih promjena u alatima, tipovima upotrijebljene energije, tehnikama i materijalnim uvjetima proizvodnje općenito. Ljudi su u tom razdoblju bili aktivni dionici razvitka potpuno novih sredstava transporta i komunikacija. Pojavom industrijalizacije čovjek prestaje biti samo dio okoline kojoj se prilagođava i o čijim zakonitostima ovisi. Tako on postaje aktivan čimbenik koji tu okolinu radikalno mijenja i prilagođava svojim, sve većim potrebama stvarajući pri tome tehnosferu, ali ne sagledavajući posljedice koje ostavlja za sobom. Industrijama trebaju sve veće količine sirovina što dovodi do nekontrolirane eksploatacije prirodnih resursa. Svi navedeni faktori doveli su do onečišćivanja okoliša.

Onečišćenje (zagađenje) **okoliša** su nepoželjne promjene stanja okoliša koje štetno djeluju na žive organizme, njihove uvjete života, kulturno povijesne spomenike i dr., a **onečišćivač** (zagađivač) je štetna tvar ili štetni oblik energije koji ispušteni u okoliš, izazivaju degradaciju okoliša.

Onečišćenje možemo podijeliti prema podrijetlu onečišćenja, prema području kojeg zahvaća, te prema primarnom mjestu onečišćenja (tablica 2.1.).

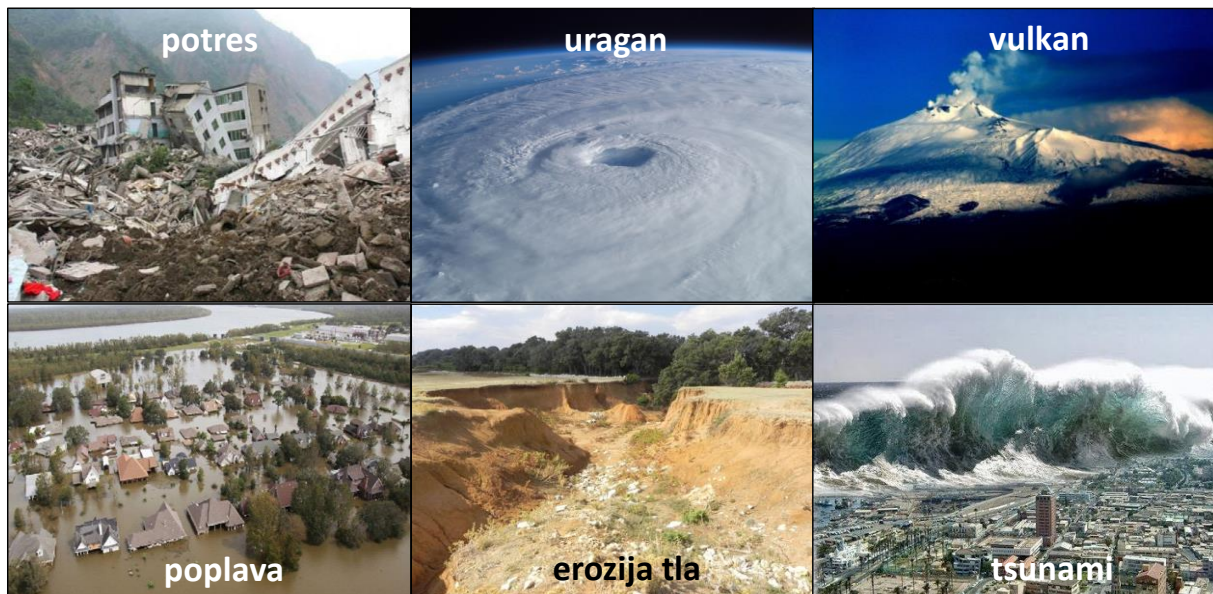
Tablica 2.1. Podjela onečišćenja

ONEČIŠĆENJE		
PREMA PODRIJETLU ONEČIŠĆENJA	PREMA PODRUČJU KOJEG ZAHVAĆA	PREMA PRIMARNOM MJESTU ONEČIŠĆENJA
-prirodni -antropogeni	- globalno - lokalno	- voda -zrak -tlo

2.1. Onečišćenje prema podrijetlu onečišćenja

O izvorima onečišćenja možemo govoriti u pogledu antropogenih i prirodnih izvora onečišćenja okoliša. Razvoj stanovništva i urbanizacija, razvoj industrije, prometa, poljoprivrede i dr. samo su neki od antropogenih izvora onečišćenja. Prirodne pojave također ugrožavaju okoliš i ljudsko zdravlje. Iako govorimo o prirodnim pojavama koje su samostalne, danas možemo sa sigurnošću reći da u novije vrijeme na prirodne pojave ima utjecaj i ljudska aktivnost.

Prirodni izvori onečišćenja koji djeluju na okoliš su: erozija tla, poplave, potresi, vulkanske erupcije, požari, suše, tajfuni, orkanski vjetrovi, itd. (slika 2.1.)



Slika 2.1. Prirodni izvori onečišćenja okoliša

Potres je endogeni proces do kojeg dolazi uslijed pomicanja tektonskih ploča, a posljedica je podrtavanje Zemljine kore zbog oslobađanja velike količine energije. Jačina potresa ovisi o više čimbenika kao što su količina oslobođene energije, dubina hipocentra, udaljenosti epicentra i građi Zemljine kore.

Tropski ciklon ili uragan je intenzivni poremećaj u atmosferi s izraženim spiralnim strujanjem zraka. Spada u najintenzivnije prirodne nepogode na Zemlji. Katrina i Rita su nedavni uragani (2005.) koji su pogodili naseljena područja. Neke od posljedica njihova djelovanja su slijedeće: potpuno razaranje obalnih područja, 560 km² kopna pretvoreno u vodenu površinu, a izgubljena površina bila je mjesto parenja morskih sisavaca, smeđih pelikana, kornjača i ribe, kao i selica poput crvenoglave patke, izlivanje nafte koja je ušla u ekosustave.

Vulkan je geološki oblik (najčešće planina, no također ima i podmorskih vulkana) gdje magma izlazi na površinu Zemlje. Vulkan bitno utječu na oblikovanje Zemljinog reljefa. Na Zemlji, njih najčešće susrećemo na rubovima litosfernih ploča. Vulkan može biti aktivan ili neaktivan, ovisno o njegovim erupcijama i tektonskoj aktivnosti u njegovoj blizini. Najistaknutiji dio vulkana je vulkanska kupola koja se neprestano povećava. Eksplozijom vulkana dolazi do kompletne promjene ekosustava na područje koje zahvati. Na Zemlji ima oko 700 aktivnih vulkana. Uz njih postoji više od 1000 privremeno ili trajno ugaslih vulkana. Brojne erupcije tijekom evolucije Zemlje, pa i danas, mogu poremetiti kemijski sastav atmosfere, i to lokalno u blizini vulkana, ali i na većim udaljenostima. Najčešći plinovi koje oslobađaju vulkani u atmosferu su: ugljikov (IV) oksid (CO₂), ugljikov (II) oksid (CO), sumporov (IV) oksid (SO₂), sumporovodik (H₂S), klor (Cl₂), vodik (H₂), metan (CH₄), amonijak (NH₃), vodene pare te pepeo i prašina.

Poplava je pojava neuobičajeno velike količine vode na određenom mjestu zbog djelovanja prirodnih sila (velike količine oborina, nagomilavanje leda u vodotocima, klizanje tla ili potresi...) ili drugih uzroka kao što su propuštanje brana, ratna razaranja i sl.

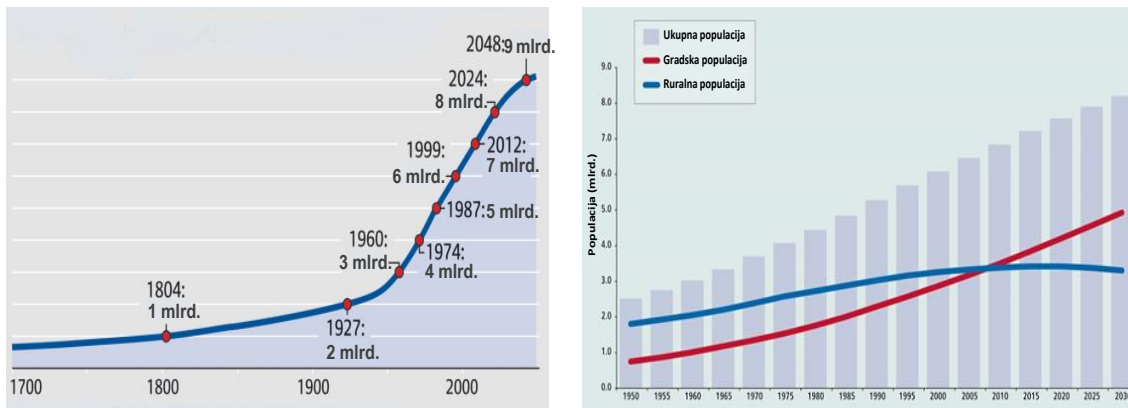
Erozija tla nastaje djelovanjem vode i vjetra. Kišne kapi udarajući u tlo pomažu drobljenju i omekšavanju tla. Otjecanje vode i vjetar odnose čestice tla. Što je tečenje brže, a vjetar jači odnose se veće čestice i više njih. Erozija je prirodni proces pomicanja krutih tvari (zemlje, blata, kamena, itd.) kroz utjecaj vjetra, vode, ili pomicanja koja su uvjetovana silom gravitacije.

Tsunami, (tsunami, jap. lučki val, visoka voda) su dugi valovi uzrokovani tektonskim pomicanjem ploča morskog dna, odnosno podmorskim potresima. Često ih se pogrešno naziva plimnim valovima, no nemaju nikakve veze s plimnim oscilacijama. U blizini epicentra visina potresnih valova može biti izuzetno visoka. S udaljavanjem od epicentra, te prilikom putovanja u dubokim oceanskim zaravnima, tsunami ima male amplitude no putuje velikim brzinama, u prosjeku oko 700 km/h. Približavajući se obali, oni se usporavaju te se, zbog očuvanja energije (energetskog toka vala), uzdižu ovisno o smanjenju dubine mora. Dolaskom na obalu njihove visine mogu dosegnuti od 20 do 30 metara. Uobičajeni periodi tsunamija iznose od 10 do 60 min, a ovisan je o prostorno-vremenskim karakteristikama pomicanja morskog dna u zoni epicentra.

Najvažniji **antropogeni uzroci onečišćenja** su porast broja stanovnika koji je doveo do nastanka velikih gradskih središta (urbanizacija), te potrošnja neobnovljivih izvora energije i industrijalizacija.

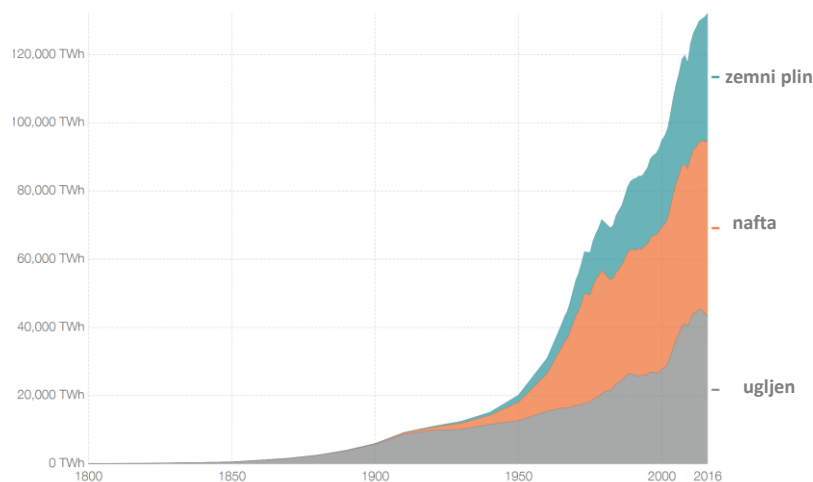
Porast broja stanovnika. Prve su se civilizacije sastojale od malih naselja s tek nekoliko tisuća ljudi. U srednjem vijeku veliki su gradovi imali 40 000 ili više stanovnika. Do 19. stoljeća nekoliko je gradova imalo oko milijun stanovnika, dok današnji najveći gradovi imaju i preko 20 milijuna. Broj stanovnika na Zemlji sve je veći (slika 2.2.). Prema izvješću UN-ova Fonda za stanovništvo za 2011. godinu prije dvije tisuće godina na svijetu je živjelo oko 300 milijuna ljudi, 1800. godine taj je broj dosegao milijardu, a 1927. na Zemlji je živjelo dvije milijarde ljudi. 1959. na svijetu je bilo tri milijarde, četiri milijarde 1974., pet milijardi 1987., šest milijardi 1999. te je 2011. godine broj ljudi dosegao sedam milijardi stanovnika. Samo Sjedinjene Američke Države, čine 5% od ukupne svjetske populacije, proizvode 30 % od ukupnog svjetskog otpada i koriste 25% od ukupnih svjetskih resursa. Proces urbanizacije započinje samim počecima civilizacije i stvaranja gradova (slika 2.2.). Nastaje kao rezultat ostvarenog napretka u civilizacijskom, kulturnom i gospodarskom pogledu te ga u tom pogledu možemo opisati kao pozitivan proces, dok negativna strana urbanizacije uključuje znatan pritisak na okoliš. Neracionalno korištenje prostora, poljoprivrednih površina, sječa šuma, zagađenje zraka, narušavanje prirodnih krajobraza, stvaranje velikih količina otpada, buka i ostali čimbenici predstavljaju negativne učinke procesa urbanizacije na okoliš. U 2011., preko 3.500 milijuna ljudi živi u urbanim dijelovima. 75% globalne energije i oko 80% emisija stakleničkih plinova u današnje vrijeme stvara se u gradovima, a neadekvatno instalirana javna rasvjeta pridonosi gotovo 40 %-tnoj nepotrebnoj potrošnji energije te uperenost svjetla u nebo tijekom noći zagađuje horizont i pridonosi dezorijentaciji i rastjerivanju ptičjih vrsta iz njihova staništa. Uporabom fosilnih goriva za zagrijavanje kućanstava i transport dovelo je do gomilanja štetnih plinova u atmosferi. Urbanizacija obuhvaća dvije komponente: rast gradskog stanovništva te povećanje broja gradova (slika 2.2.). Proces nije vezan samo uz širenje gradova nego i prelazak ruralnog u urbano stanovništvo. Urbanizacija uvelike utječe na životne uvjete u ruralnim i urbanim područjima. Širenjem poljoprivrede i šumarstva te drugih oblika razvoja, prirodnih je dobara sve manje. To je jedan od razloga zašto se ljudi koji su

nekada živjeli od zemlje sele u gradove u potrazi za poslom. Razvoj gradova ostavio je sve manje dobrih staništa za samonikle biljke i divlje životinje. Porast stanovništva u gradovima uzrokovao je niz ekoloških, socioloških, psiholoških i drugih problema. Učinkovitom i sveobuhvatnom akcijom međunarodne zajednice uz pomoć nacionalnih država, treba se osigurati ravnomjerniji rast stanovništva i velikih gradova, ulažući trud i novac u ispravljanje negativnih demografskih, ekonomskih i ekoloških trendova.



Slika 2.2. Porast broja stanovnika (izvor UN:The State of the World Population Report 2011: People and Possibilities in a World of 7 Billion) i promjena udjela gradskog i ruralnog stanovništva (preuzeto iz:<http://www.un.org/esa/population/publications/WUP2005/2005wup.htm>)

Potrošnja neobnovljivih izvora energije. Neobnovljivi izvori energije su ugljen, nafta i zemni plin, te ih još nazivamo fosilnim gorivima. Sva tri oblika su nastala prije stotine milijuna godina, prije vremena dinosaurus, te im odatle potječe ime. Fosilna goriva su jedini ostatak organizama koji su prije više milijuna godina iz atmosfere izvlačili ugljik. Prilikom paljenja drva, oslobađa se ugljik koji nekoliko desetljeća ne kruži atmosferom, no kad koristimo fosilna goriva, oslobađamo ugljik koji ne kruži već milijunima godina. Takvo oslobađanje ugljika osobito je štetno za živa bića. Fosilna goriva su osnovni izvor energije na Zemlji. Za nastanak fosilnih goriva potrebno je oko milijun godina, a rezerve se troše brže nego što nastaju, te njihova potrošnja progresivno raste (slika 2.3.).



Slika 2.3. Potrošnja fosilnih goriva na globalnom nivou (preuzeto iz: <https://cei.org/blog/climate-change-fossil-fuels-and-human-well-being>)

2002. godine prilikom izgaranja fosilnih goriva u atmosferu je ukupno ispušteno 21 milijarda tona CO₂, od čega ugljen sudjeluje sa 41 %, nafta 39 %, a plin sa 20 %. Energija koja se oslobađa prilikom izgaranja tih goriva potječe od ugljika i vodika. Budući da ugljik tj. CO₂ uzrokuje klimatske promjene, gorivo je opasnije za budućnost čovječanstva što se u njemu nalazi više ugljika. Plinovi povezani sa fosilnim gorivima utječu na okoliš tako što se zadržavaju u atmosferi prilikom čega se stvara staklenički efekt. Njihovo otapanje u vodi smanjuje pH-vrijednost zbog čega nastaju kisele kiše. Izgaranjem fosilnih goriva otpuštaju se onečišćivači zraka: dušikovi oksidi, sumporov (IV) oksid, teški metali. Osim toga fosilna goriva sadrže i radioaktivne tvari (uranij i torij) koji se svakodnevno ispuštaju u atmosferu.

Industrijalizacija. Prije industrijske revolucije u 18. stoljeću ljudi su za proizvodnju upotrebljavali uglavnom snagu vode, životinja i svojih vlastitih ruku, dok se trgovina najčešće odvijala lokalno. Današnja industrijska proizvodnja ima znatan negativan utjecaj na okoliš (slika 2.4.).



Slika 2.4. Utjecaj industrije na okoliš (preuzeto iz <https://www.greenandgrowing.org/which-practice-contributes-the-most-to-environmental-pollution/>)

Industrija je veliki potrošač sirovina i energije, te pridonosi povećanju otpada, onečišćenju zraka, tla i vode. Razne grane industrije opterećuju okoliš emisijama štetnih tvari te time negativno utječu na okoliš, biljke, životinje te ljude i njihovo zdravlje. Industrija crpi prirodna bogatstva te je kao takva veliki potrošač neobrađenih resursa odnosno sirovina. Potrebe svjetske industrije za sirovinama do danas su, u odnosu na 1950., porasle za 500 %, u čemu prednjače visokorazvijene zemlje, čiji udio u svjetskoj industrijskoj proizvodnji iznosi 74%. Veliki dio sirovina koje su industriji potrebne uglavnom pripadaju u skupinu neobnovljivih resursa koje se vremenom iscrpljuju, dok s druge strane korištenje obnovljivih izvora poput Sunčeve energije, vode, vjetra i biomase, i dalje je u manjoj mjeri za razliku od neobnovljivih resursa. Dodatno onečišćenje industrije čine emisijom različitih štetnih tvari u zrak, vodu i tlo, ugrožavajući na taj način biljni i životinjski svijet kao i čovjekovo zdravlje te kvalitetu života.

2.2. Onečišćenje prema području kojeg zahvaća

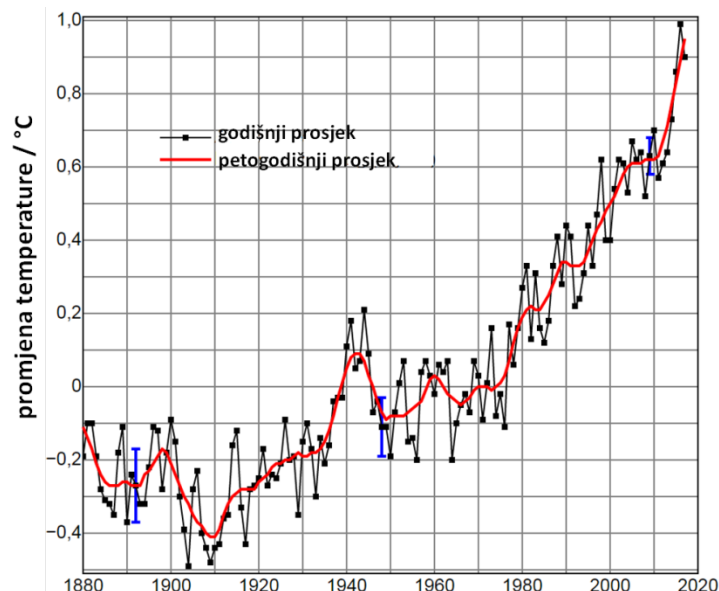
Ovisno o području kojeg su zahvatile posljedice onečišćenja u okolišu mogu biti globalne i lokalne.

Globalno onečišćenje utječe na cijeli planet Zemlju. Najznačajnije posljedice globalnih onečišćenja su

globalna promjena klime ili efekt staklenika, ozonske rupe i kisele kiše. **Lokalno onečišćenje** je onečišćenje koje je ograničeno na određeno područje i najčešće se koncentrira oko gusto naseljenih dijelova i industrijskih zona.

Globalna promjena klime. Uloga klime u oblikovanju ljudske povijesti je toliko složena da joj povjesničari često pripisuju odlučujuću ulogu u stvaranju ljudske povijesti. Klimatske promjene su najčešće izazvane evolutivnim promjenama na Zemlji ili velikim prirodnim katastrofama (erupcije vulkana), a u posljednjim desetljećima aktivnošću čovjeka.

Ekološki problem svjetskog razmjera je globalno zatopljenje (efekt staklenika). Plinovi koji utječu na učinak staklenika su vodena para, ugljikov (IV) oksid, metan (CH₄), didušikov oksid (N₂O), klorfluorugljik (CFC) i ozon (O₃) te ih zovemo stakleničkim plinovima. Efekt staklenika se temelji na principu zagrijavanja staklenika u poljodjelstvu. U staklenik kroz prozorsko staklo prodiru kratkovalne Sunčeve zrake te se odbijaju od tla u obliku infracrvenih toplinskih zraka koje se reflektiraju od staklene površine i ostaju zarobljene u stakleniku koji se na taj način zagrijava. Kad ne bi postojao prirodni efekt staklenika, temperature na Zemlji bile bi niže za oko 15 °C, pa život u današnjem smislu uopće ne bi bio moguć. No, porastom koncentracije CO₂ i ostalih stakleničkih plinova, prije svega djelovanjem čovjeka, jača i učinak staklenika, odnosno kao posljedica se javlja porast globalne temperature na planetu. Znanstvenici se uglavnom slažu da je porast koncentracije stakleničkih plinova kao posljedica ljudske aktivnosti (uglavnom potrošnja fosilnih goriva) pridonio globalnom zatopljenju i posljedično povišenju razine mora. Primarni proizvođači plinova koji uzrokuju efekt staklenika su prirodni, ali antropološki su puno značajniji. Udio CO₂ u plinovima koje se ispušta u atmosferu, tijekom vremena se povećava, da bi danas činio više od polovice plinova. Također su u porastu i koncentracije metana i didušikovitog oksida. 2000. godine ukupna svjetska godišnja emisija CO₂ je iznosila oko 7 milijardi tona, a već 2050. godine predviđa se da će doseći između 13 i 23 milijardi tona ovisno o stanju gospodarskog rasta i zakonodavstvu zaštite okoliša.



Slika 2.5. Globalno-prosječna promjena temperature na površini Zemlje u periodu 1880–2017 (preuzeto iz <http://berkeleyearth.org/global-temperatures-2017/>)

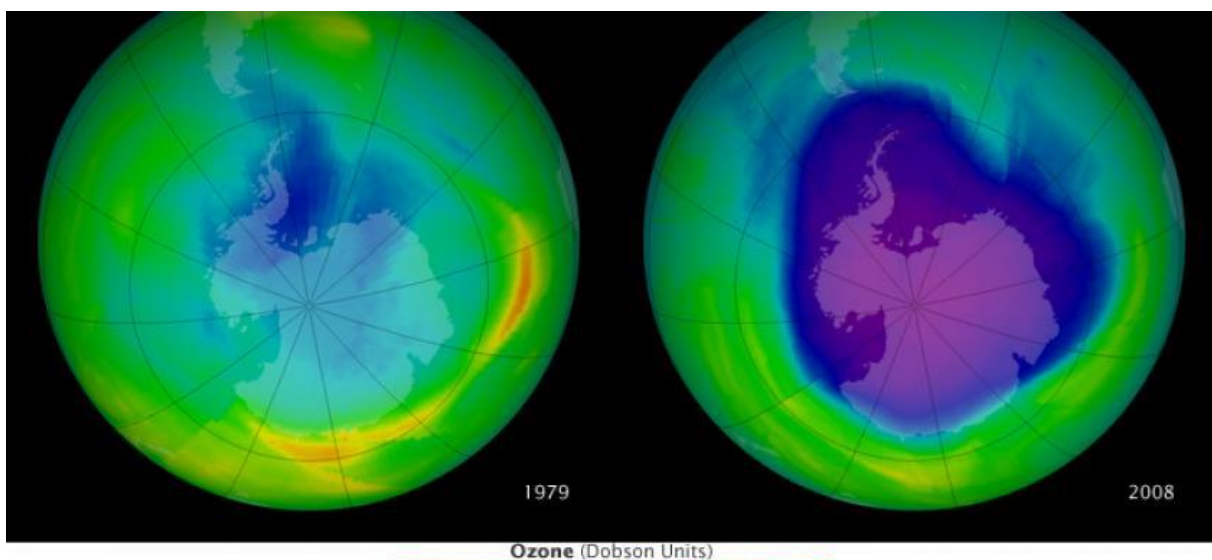
Srednja globalna temperatura Zemljine površine raste, a taj trend je posebno izražen u razdoblju korištenja fosilnih goriva. Srednja globalna prizemna temperatura je od početka 20. stoljeća porasla za više od 1°C (slika 2.5.). Linearni trend zagrijavanja u posljednjih 50 godina, koji iznosi 0,13°C po desetljeću, gotovo je 200% veći od onog za posljednjih 100 godina. Za 2007. godinu srednja globalna prizemna temperatura bila je 0,41°C viša od godišnjeg prosjeka za razdoblje od 1961-1990. godine koje iznosi 14,0°C. Očekuje se da bi u idućih 100 godina povećanje temperature Zemlje moglo iznositi 1,5-3°C. Posljedice klimatskih promjena uključuju topljenje ledenjaka, povećani rizik od poplava i suša, povećanje razine mora, gubitak bioraznolikosti, prijetnja ljudskom zdravlju i nanošenje štete ekonomskom sektoru, kao što su šumarstvo, turizam, poljoprivreda, osiguranje itd.

Ozonske rupe. Ozon je plin blijedoplave boje čija je molekula načinjena od tri atoma kisika. Ozon je sastavni dio Zemljine atmosfere. Iako ga u atmosferi ima tek 0,001%, od izuzetnog je značenja za zemlju i cjelokupni život na njoj. Znanstvenici su utvrdili da se oko 90 % ozona nalazi u višim slojevima atmosfere, u stratosferi, između 12 i 50 kilometara visine. Ostatak ozona, oko 10% nalazi se u nižim slojevima atmosfere, troposferi. Unazad pedesetak godina količina troposferskog ozona povećavala se u prosjeku 2 % godišnje. To je posljedica onečišćenja troposfere čovjekovim djelovanjem na okoliš, naročito ispuštanjem velikih količina ispušnih plinova vozila, te emisija iz drugih antropogenih izvora. Troposferski ozon je štetan ozon. Zbog vrlo reaktivnog djelovanja s drugim molekulama on ima neposredan i vrlo štetan učinak na rast šuma, prinos usjeva, na zdravlje ljudi i životinja, kao i na razne materijale.

Za razliku od troposferskog ozona, stratosferski ozon ima sasvim drugačiju ulogu. Kako je molekula ozona vrlo reaktivna i nestabilna, energijom vrlo jako sunčevo ultraljubičasto zračenje u višim slojevima atmosfere razara molekule ozona i isto tako stvara nove. Koncentracija ozona u atmosferi stoga ovisi o toj vrlo osjetljivoj ravnoteži i dinamičkom procesu stvaranja i razaranja ozona. Iako je ozon u atmosferi rijedak plin (tri molekule ozona dolaze na deset milijuna molekula zraka), najveću koncentraciju ima u stratosferi između 20 do 25 kilometara visine. Taj sloj ozona znanstvenici su nazvali "ozonskim omotačem".

Dokazano je da je ozonski omotač od izuzetnog značenja, jer apsorbira dio ultraljubičastog zračenja sa Sunca. Time omotač štiti Zemljinu površinu i cjelokupni život na njoj. Ultraljubičasto zračenje ima valne dužine nešto kraće od vidljivog dijela elektromagnetskog spektra. Kako su svojstva i djelovanje ultraljubičastog spektra zračenja na biljke, životinje i ljude različita, to je zračenje podijeljeno na tri dijela UV spektra: UV-C, valnih duljina 100-280 nm (nanometar - milijunti dio milimetra), UV-B, valnih dužina 280-315 nm i UV-A, valnih duljina od 315-400 nm. Ozonski omotač upija oko 77% štetnog, biološki vrlo aktivnog UV-B zračenja i potpuno nas štiti od UV-C zračenja koji uzrokuje veća patološka oštećenja od UV-B zračenja. Tako ozonski omotač predstavlja prirodni štit za život na Zemlji, i o njegovoj koncentraciji, tj. količini u stratosferi ovisi i količina štetnog UV zračenja koje će dospjeti do površine Zemlje. Dokazano je da pojačano UV-B zračenje dovodi do pojava malignih i benignih oboljenja kože, katarakta očiju, znatnog smanjenja poljoprivrednih uroda, oštećenja materijalnih dobara ljudi, kao i narušavanja zdravlja živog svijeta u cjelini. Zbog apsorpiranja ultraljubičastog zračenja u stratosferi ozon ujedno preuzima i dio topline u tom procesu, te tako neposredno utječe na raspodjelu temperature atmosfere, čime ima važnu ulogu u reguliranju Zemljine klime.

U tridesetim godinama 20. stoljeća kemičari su pronašli novu vrstu spojeva koji su ubrzo našli vrlo široku primjenu u industriji i domaćinstvima. Oni su zamijenili do tada korištene toksične plinove poput amonijaka i sumporovog dioksida. Zajedničkim imenom su se zvali klorofluorougljici (CFC), odnosno trgovačkim nazivom freoni. Bili su relativno jeftini, a smatrali su se inertnim i neškodljivim. Sedamdesetih godina utvrđeno je da freoni dovode do uništenja dragocjenih molekula ozona, u stratosferi nakon čega je svjetska javnost odlučila poduzeti sve kako bi bili povučeni iz upotrebe. Satelitska i balonska mjerenja nakon toga su pokazala da se od kraja 70-ih godina prošlog stoljeća nad Antarktikom koncentracija ozona tijekom rujna i listopada smanjila. Terenskim istraživanjima tijekom 1986. i 1987. godine došlo se do saznanja da je klor iz CFC-a glavni uzrok razgradnje ozona. Ozonska rupa je zapravo područje stanjenog ozonskog sloja, odnosno prostor smanjene koncentracije ozona visoko iznad zemljine površine, u stratosferi. Koncentracija ozona mjeri se Dobsonovim jedinicama, a granična vrijednost je 220 DU. U rujnu 2006. utvrđena je najprostranija ozonska rupa, čak i uz smanjenje elemenata koji pridonose njegovu uništenju (slika 2.6).



Slika 2.6. Nestajanje ozona u stratosferi (NASA's Earth Observatory) (preuzeto iz <https://earthobservatory.nasa.gov/images/7044/ozone-hole-reaches-record-size>)

Intenzitet stanjena ozonofere varira iz godine u godinu, poglavito zbog promjena temperature u polarnoj sferi. Gubitak ozona nije predodređen samo za polarna područja. Ozonski sloj se stanjuje i nad umjerenim širinama, ali u mnogo manjoj mjeri.

Kisele kiše. Emisija plinova kao što su sumpor dioksid (SO_2) i dušikovi oksidi (NO_x) u atmosferu uzrokuje ne samo onečišćivanje zraka koji koriste biljke, životinje i ljudi, nego se uz vodene pare stvaraju i kisele kiše (slika 2.7). Iako su glavni prirodni izvori onečišćenja atmosfere erupcije vulkana, na taj se način oslobađa samo oko 10 % sumporova dioksida (SO_2) i dušikovih oksida (NO_x). Ostalih 90 % proizvod su čovjekovog djelovanja. Sumporni dioksid i dušikovi oksidi su kemikalije koji se ispuštaju u velikom broju industrijskih procesa, izgaranjem ugljena, nafte i benzina.

Normalna kiša ima pH oko 5,6, te je slabo kisela zbog otapanja ugljikovog (IV) oksida, te nastajanja karbonatne kiseline. Kisela kiša obično ima pH između 4,2 i 4,4. Kad tako zakiseljene kiše ili snijeg dospiju u jezera i rijeke, njihove vode također s vremenom postaju kiseli (npr. pH = 5,0). Padom pH vrijednosti slabe, a zatim i propadaju brojne vodene životinje i biljke. Posebno su osjetljive neke vrste rakova, puževi, lososi, šarani i pastirve.



Slika 2.7. Nastajanje kiselih kiša (preuzeto iz <http://www.justscience.in/articles/what-is-acid-rain/2017/07/17>)

Tako dolazi do osiromašenja brojnosti vrsta, a nagle promjene u sastavu vodenih organizama pridonose propadanju vodenih ekosustava.

Kisele kiše djeluju štetno i na kopnene biljke, i to na dva načina: izvana i preko zakiseljenog tla, tj. preko korjenova sustava. Na lišću i iglicama pojavljuju se oštećenja. To dovodi do povećanog isparavanja vode iz lišća odnosno iglica te do postupnog sušenja i opadanja lišća.

2.3. Onečišćenje prema primarnom mjestu onečišćenja

Onečišćenje voda je promjena kakvoće voda, koja nastaje unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem u vode hranjivih i drugih tvari, toplinske energije, te drugih uzročnika onečišćenja, u količini kojom se mijenjaju svojstva vode s obzirom na njihovu ekološku funkciju i namjensku uporabu (NN91/2008). Od kada postoji živi svijet na Zemlji voda se koristila i pomalo onečišćivala biljnim, životinjskim i ljudskim ostacima (organsko onečišćenje). U početku je to malo utjecalo na sastav voda, jer se organski otpad razgrađivao, uglavnom na korisne materije što znači da je priroda tada bila sposobna sama pročistiti te količine vode. Međutim, razvojem ljudske zajednice, porastom broja stanovnika i njihovom koncentracijom u velikim gradovima, količina otpadnih voda se znatno povećala (slika 2.8). Njihovim koncentriranim ispuštanjem u rijeke, onemogućen je proces samopročišćavanja i prirodnog biološkog pročišćavanja. Osim toga, razvojem industrije krajem 19. i početkom 20. stoljeća, čovjek sve više koristi vodu, a kao rezultat industrijske proizvodnje, nastaje ne samo organsko, već i anorgansko zagađenje vode.

Voda onečišćena patogenim mikroorganizmima je uzročnik nastajanja brojnih bolesti kao što su epidemija kolere, kuge, tifusa, paratifusa i dizenterije. Voda također može biti i uzročnik brojnih drugih bolesti kod ljudi i životinja kao što su tularemija, tuberkuloza. Zbog toga je pitanje onečišćenosti voda jedan od najaktualnijih problema za zdravlje i život samog čovjeka. Potreba za

kvalitetnom vodom sve je veća. Današnjim brojnim propisima i preventivnim mjerama uvelike je smanjena mogućnost od zaraze.



Slika 2.8 Onečišćena rijeka (preuzeto iz: <http://water-purifiers.com/water-pollution-causes-effects-solutions/>)

Prema podacima Gradskog ureda za gospodarstvo energetiku i zaštitu okoliša u gradu Zagrebu, svaki građanin dnevno potroši prosječno 140-150 litara vode. U potrošnji vode gospodarstvo sudjeluje sa 35%, a kućanstva sa 65%. Vodene površine ne služe samo za opskrbu dovoljnih količina vode za potrebe čovjeka, industrijske i poljoprivredne proizvodnje, nego i za odstranjivanje otpadnih tvari, hlađenje postrojenja, kao otapalo, transportni mediji i drugo. Onečišćene i zagađene vode postaju problem i daleko od mjesta onečišćenja jer se vodotokom nizvodno prenose štetne tvari te se procjeđuju u podzemne vode i slijevaju u mora.

Kako na Zemlji ima samo oko 0,8 % kopnenih raspoloživih voda, u mnogim visokoindustrijaliziranim zemljama već prijete opasnost od oskudice vode. Uporaba vode sve je skuplja jer se često mora transportirati s udaljenih izvorišta ili, pak, zbog skupih postupaka pročišćavanja otpadnih voda. Problem nestašice vode posebno je izražen u zemljama nepovoljnog zemljopisnog položaja, s nepovoljnim hidrografskim prilikama, a malim količinama oborina.

Onečišćenje zraka može biti lokalno i globalno. Lokalno onečišćenje vezano je uz gradove i veća industrijska područja. Onečišćenje zraka (slika 2.9.) obuhvaća prisutnost u zraku jedne ili više tvari kao što su aerosoli (prašine, dimovi, magle), plinovi i pare takvih značajki i u takvim koncentracijama da mogu narušiti zdravlje, smanjiti kakvoću življenja i/ili štetno utjecati na bilo koju sastavnicu okoliša. Iako problem onečišćenja zraka i negativnih utjecaja tih onečišćenja na čovjeka postoji nekoliko stoljeća, tome se nije pridavala pozornost, sve dok nekoliko katastrofalnih epizoda takvih onečišćenja nisu istaknule to pitanje kao jedan od važnih problema javnog zdravstva današnjice. Prekomjerna onečišćenja iz zraka mogu dovesti do razvoja mnogih ozbiljnih zdravstvenih problema – astme, kronične opstruktivne plućne bolesti (KOPB), akutne respiratorne bolesti, kardiovaskularnih bolesti i karcinoma. Procjenjuje se da tri milijuna ljudi u svijetu umire od posljedica onečišćenja zraka, što predstavlja 5 % od ukupne smrtnosti godišnje. Također je poznato da je 30-40 % slučajeva astme i 20-30 % ostalih dišnih bolesti je povezano sa onečišćenjem.



Slika 2.9. Onečišćenje zraka (preuzeto iz: <https://www.fluenta.com/news/air-pollution-khuzestan/>)

Prema vrsti onečišćenja zraka, izvori onečišćenja se dijele na prirodne i antropogene.

Prirodni izvori onečišćenja zraka su prašina nošena vjetrom, aeroalergeni, čestice morske soli, dim, lebdeći pepeo, plinovi šumskih požara, plinovi iz močvara, mikroorganizmi (bakterije i virusi), magla, vulkanski pepeo i plinovi, prirodna radioaktivnost, meteorska prašina, prirodna isparavanja.

Antropogeni izvori onečišćenja zraka su grupa koja obuhvaća onečišćenje uzrokovano aktivnostima i procesima kojima upravlja čovjek. Čovjek je svojim djelovanjem počeo ozbiljno narušavati kemijski sastav atmosfere. U zrak se ispuštaju znatne količine različitih plinova, prašine i aerosola iz različitih izvora. Najčešći plinovi nastali djelovanjem čovjeka, a koji se oslobađaju u atmosferu su ugljikov (IV) oksid (CO_2), sumporov (IV) oksid (SO_2), dušikovi oksidi (NO_x), ozon (O_3), ugljikovodici (C_xH_x). Nabrojani plinovi nalaze se u dimnim plinovima kemijske industrije kao aerosol, plinovi i pare, a nastaju i u procesima spaljivanja fosilnih goriva u domaćinstvima te u prometu. U zrak se otpuštaju i fluorovodik (HF), klorfluorugljik (CFC), dim cigareta itd. Osim plinova, u atmosferu se otpuštaju i različiti oblici krutih čestica koje s plinovima i vodenim parama tvore različite smjese.

Onečišćenje tla je unos tvari, bioloških organizama ili energije u tlo koje rezultira promjenom kakvoće tla, te utječe na njegovu normalnu uporabu, zdravlje ljudi i ostalih organizama. Javlja se kao izravna posljedica čovjekova utjecaja, te brojnih prirodnih utjecaja, ali za razliku od vode i zraka onečišćenju i oštećenju tla se ne pridodaje tolika pozornost. Prema nekim istraživanjima gotovo 1/3 ukupnog tla je oštećena i to u tolikoj mjeri da se gotovo niti ne može popraviti. Pojava onečišćenih tala posljedica je razvoja modernog društva u svim sferama čovjekove djelatnosti pa se antropogeni uzroci onečišćenja tla obično nalaze u industriji, poljoprivredi, prometu, urbanim područjima, obradi i odlaganju otpada (slika 2.10), vojnoj djelatnosti itd. Prirodni uzroci oštećenja i degradacije tla su poplave, klizišta tla, jake kiše i vjetrovi, prirodno radioaktivno zračenje, sedimentacija vulkanskog pepela i dr. Ovisno o djelatnosti kojom se bavi pojedina industrija najčešće onečišćujuće tvari u tlu su: SO_2 , NO_x , NH_3 , H_2SO_4 , HCl, HF, HCN, H_2S , CO, CO_2 , CH_4 , teški metali (Hg, Pb, Cr, Ni, Zn, Cd, Cu, Tl, As, V) i njihovi spojevi, fluoridi, radioaktivne tvari itd. Od organskih spojeva najčešća onečišćivala su benzen, fenol, policiklički aromatski ugljikovodici, poliklorirani bifenili, poliklorirani dibenzofurani, cijanidi, ulja, masti itd.



Slika 2.10. Onečišćenje tla uzrokovano nekontroliranim odlaganjem otpada (preuzeto iz: <http://www.cbsenext.com/wp-content/uploads/soilpollution.jpg>)

Samo onečišćenje tla može nastati izravnim dodiranjem između objekta onečišćenja i tla ili neposrednim kontaktom preko posrednika tj. nositelja. Onečišćenje tla mijenja strukturu samog tla i uvelike utječe na razvoj biljnog i životinjskog svijeta. Također predstavljaju rizik za ljudsko zdravlje obzirom da neke onečišćujuće tvari, poput npr. teških metala mogu dospjeti u pitke vode i hranu. Velike količine otpada kao i intenzivna upotreba kemikalija u prošlosti su uzrokovali brojna onečišćenja tla, što i danas predstavlja okolišni problem i opasnost po vodene i kopnene ekosustave jer mogu uzrokovati značajne ekotoksikološke učinke. Ako se izuzmu onečišćenja poljoprivrednih tala, koja su posljedica ostataka primijenjenih mineralnih gnojiva i pesticida, onda se ostala onečišćena tla uglavnom nalaze u blizini odlagališta otpada, industrijskih i energetske postrojenja, vojnih baza i sl.

2.4. Otpad kao izvor onečišćenja okoliša

Otpad je jedan od ključnih problema moderne civilizacije i neizbježna posljedica našeg načina života. Povećanje blagostanja donosi brojne prednosti, ali i povećanje količina i štetnosti otpada. Samo u jednoj godini u Hrvatskoj nastaje 9 milijuna tona otpada. To su dvije tone po stanovniku i ta količina raste 2% godišnje. Svatko od nas proizvede godišnje oko 400 kg komunalnog otpada (AZO 2017). Otpad postaje problem broj jedan, prijeti izravno zdravlju ljudi, odnosno posredno onečišćuje tlo, vodu i zrak, jer čak 37% otpada završi na divljim odlagalištima.

Otpad je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Velika proizvodnja raznog otpada posljedica je neodržive pretpostavke da posjedujemo neiscrpane resurse za proizvodnju roba, a da će smetlišta i oceani, spremnici bez dna omogućiti rješavanje beskrajne količine otpada. Stoga je nužno moderno gospodarenje i zbrinjavanje otpada.

Otpad se dijeli prema različitim kriterijima:

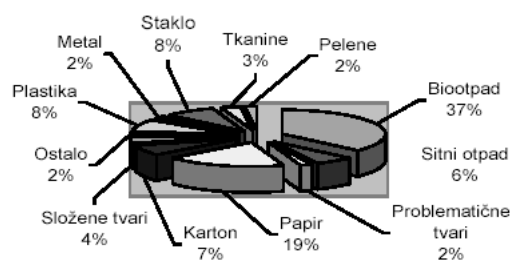
- prema svojstvima
- prema mjestu nastanka
- po mogućnosti razgradnje u okolišu

Otpad prema svojstvima :

- 1. Opasni otpad** - sve tvari koje nepovoljno utječu na zdravlje ljudi i okoliš, te imaju jedno od sljedećih svojstava: eksplozivnost, zapaljivost, štetnost, toksičnost, reaktivnost, nadražljivost, kancerogenost, infektivnost, mutagenost, teratogenost, ekotoksičnost, svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja i svojstvo otpuštanja otrovnih plinova bilo to kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom. Primjeri ove vrste otpada su sljedeći: otrovi (pesticidi, herbicidi, fungicidi), teški metali (svi koji sadrže živu, baterije, olovni akumulatori), zapaljive tvari (otapala, goriva, uljene boje), nagrizajuće tvari (kiseline, lužine, oksidativna sredstva), te motorna ulja, uljni filtri i antifriz zbog svoje masovne upotrebe i posebne štetnosti na vodene resurse.
- 2. Neopasni otpad** - je otpad koji nema niti jedno od svojstava opasnog otpada, odnosno otpad koji je po sastavu i svojstvima određen kao neopasni otpad, odnosno ne šteti ljudskom zdravlju i ne ugrožava okoliš.
- 3. Inertni otpad** - neopasni otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim ili biološkim promjenama. Inertni otpad je netopiv u vodi, nije goriv, niti na koji drugi način reaktivan, niti je biorazgradiv, pa ne ugrožava okoliš, npr. građevinski otpad . 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.

Otpad prema mjestu nastanka

- 1. Komunalni otpad** – otpad iz kućanstva i otpad sličan otpadu iz kućanstva, a nastaje u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima. Taj se otpad redovito prikuplja i zbrinjava u okviru komunalnih djelatnosti. Sastav komunalnog otpada (slika 2.12) je sljedeći:
 - biootpad (37%) – biorazgradivi otpad, približno trećina otpada iz kućanstva zeleni otpad (cvijeće, lišće, trava), ostaci hrane i dr.
 - papir i karton (26%) - oko četvrtine otpada iz kućanstva
 - složene i problematične tvari 6%
 - sitni otpad 6%
 - plastika 8%
 - staklo 8%
 - metal 2%
 - tkanina i pelene 5%
 - ostalo



Slika 2.11. Sastav komunalnog otpada

Teoretski se iz komunalnog otpada može iskoristiti oko 80 %. Ostatak od oko 20 % čini sitni otpad (prašina), ali i neke potencijalno iskoristive otpadne tvari kao npr. tekstil, guma i drvo.

Količina i sastav komunalnog otpada po stanovniku ovise o ekonomskom razvoju društva. Razvijenije društvo ima više otpada po stanovniku. Tako ekonomski razvijenije zemlje proizvode 0,8 – 2,2 kg otpada po stanovniku na dan, odnosno 0,3 – 0,8 tona otpada godišnje po stanovniku, dok se količina otpada u zemljama u razvoju znatno niža te iznosi 0,3 – 1,0 kg po stanovniku na dan tj. 0,1 – 0,36 tona otpada po stanovniku godišnje.

U Republici Hrvatskoj komunalni otpad je po sastavu sličan otpadu iz drugih Europskih gradova. Količina otpada u Hrvatskoj je u porastu, a očekuje se daljnji značajniji porast s obzirom na gospodarski razvoj, naročito u turizmu, te uslijed povećane potrošnje.

- 2. Proizvodni (tehnološki) otpad** –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. Za nadzor toka i zbrinjavanje tehnološkog otpada propisane su posebne procedure, kojih se mora pridržavati svaki proizvođač odnosno vlasnik tehnološkog otpada. Količina tehnološkog otpada ovisi o industrijskom razvoju zemlje. Godišnja količina industrijskog otpada po stanovniku u razvijenim zemljama iznosi i do nekoliko tona, a u nerazvijenim može biti čak manje od komunalnog. Sastav tehnološkog otpada ovisi o grani industrije koja ga proizvodi. Za gospodarenje s tehnološkim otpadom mogu se koristiti usluge specijaliziranih tvrtki.
- 3. Posebna kategorija otpada** - Zakonom o održivom gospodarenju otpadom definirano je 16 posebnih kategorija otpada, koje su važne bilo s aspekta njihove štetnosti po okoliš i zdravlje ljudi, bilo po količinama koje nastaju. Posebne kategorije su slijedeće: otpadna ambalaža, otpadne gume, otpadna ulja, otpadne baterije i akumulatori, otpadna vozila, otpadni električni i elektronički uređaji i oprema, otpad koji sadrži azbest, biootpad, otpadni tekstil i obuća, medicinski otpad, 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.

Otpad prema mogućnosti transformiranja u okolišu

- 1. Materijali koji su podložni biološkim transformacijama** - organski otpad (papir, karton, hrana)
- 2. Materijali koji su podložni kemijskim transformacijama** - metalni dijelovi i neki kemijski proizvodi koji se u okolišu mogu razgraditi procesom oksidacije (priroda ih razgrađuje, ali je proces veoma spor)
- 3. Materijali koji su podložni fizičkim transformacijama**- staklo, keramika, šljaka (proces je vrlo spor i zbiva se pod djelovanjem atmosferskih utjecaja: kiša, vjetar, sunce)
- 4. Materijali koji nisu podložni transformacijama** - plastika

2.4.1. Zbrinjavanje komunalnog otpada

Zavisno o vrsti i svojstvima otpada, mogući su sljedeći postupci njegove obrade odnosno zbrinjavanja:

- Odlaganjem
- Termičkom obradom
- Mehaničko biološka obrada otpada
- Recikliranjem

Odlaganje otpada je djelatnost kontroliranog, trajnog odlaganja otpada na građevine za odlaganje – odlagališta. Otpad na odlagalištu mora biti spremljen na siguran način, izoliran od okoliša tokom odlaganja, izoliran za dugi niz godina kad se prestane odlagati. Odlaganje otpada bi nužno trebala biti zadnja opcija u procesu zbrinjavanja otpada koji uključuje sav otpad koji se ne može prodati kao sekundarna sirovina, šljaka i pepeo dobiveni spaljivanjem (neki oblici), i tome slični produkti ostalih tehnologija za zbrinjavanje otpadnog materijala.

Na odlagalištu se događa niz fizikalno- kemijskih i bioloških reakcija. S obzirom da je otpad mješavina različitih tvari, te reakcije imaju nepredvidiv ishod. Oborine dodatno potiču biološku razgradnju, pa se može reći da je odlagalište veliki reaktor koji se mora kontinuirano kontrolirati i pratiti. Produkti biološko – kemijskih reakcija u odlagalištu su manje ili više mineralizirani čvrsti dijelovi otpada, procijedne vode, odlagališni (deponijski) plin-sastavljen najvećim dijelom od metana i ugljikovog (IV) oksida.

Prednosti odlagališta:

- Relativno niska cijena
- Širok raspon vrste otpada koji se može zbrinjavati
- Postoji mogućnost energetskega korištenja deponijskoga plina
- Nakon sanacije i uređenja, prostor odlagališta može se iskoristiti za rekreacijske aktivnosti

Nedostaci odlagališta:

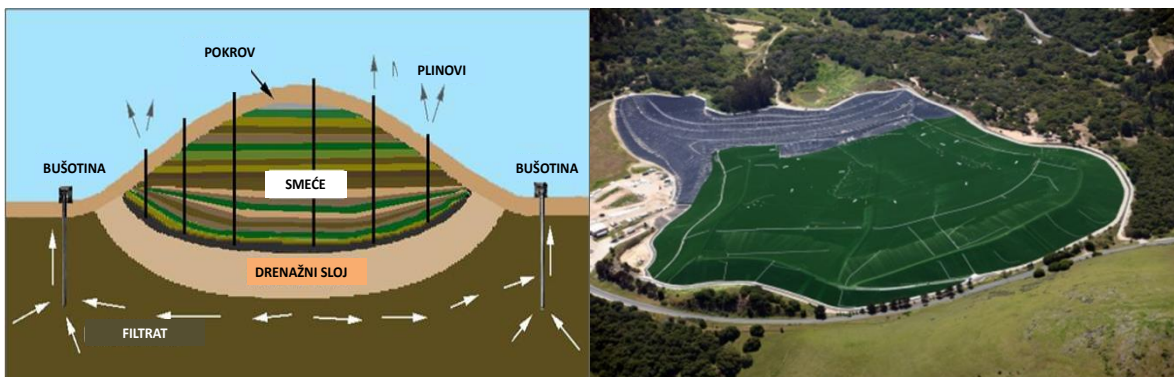
- Stara odlagališta, kod kojih nisu riješeni sustavi zbrinjavanja procjednih voda i deponijskoga plina, postala su izvor onečišćenja s nekontroliranim emisijama
- Postoji kontinuiran rizik od onečišćenja iz odlagališnih lokacija
- Na mnogim mjestima ne postoji odgovarajuća lokacija na prihvatljivoj udaljenosti od mjesta nastajanja otpada
- Odlagalište može stvoriti onečišćenje i oštećenje tla koje više nije prikladno za neke buduće namjene
- Odlagalište je izvorište buke, neugodnih mirisa, neželjenih pogleda, te uzrok dodatnoga onečišćenja okoliša zbog pojačanog kamionskog prometa

Prema stupnju uređenosti postoje sljedeće vrste odlagališta:

1. Dogovorna/nenadzirana/divlja odlagališta otpada su, uglavnom, neuređeni manji prostori za odlaganje otpada koji nisu predviđeni odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima i za koje nije proveden postupak procjene utjecaja na okoliš. Ona ne raspolažu nijednom od neophodnih dozvola (lokacijskom, građevinskom, uporabnom). Uglavnom nisu u sustavu

službeno organiziranog dovoza otpada ovlaštenih osoba. Nastaju neodgovornim odlaganjem i bacanjem otpada. U Hrvatskoj ima više od 500 ilegalnih odlagališta otpada.

2. Službena odlagališta otpada su, uglavnom, veći neuređeni prostori za (trajno) odlaganje otpada, predviđeni odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima, za koja nije proveden postupak procjene utjecaja na okoliš niti raspolažu ijednom od neophodnih dozvola (lokacijskom, građevinskom, uporabnom), a rade na temelju rješenja ili odluke nadležnog tijela lokalne uprave i samouprave te su u sustavu službeno organiziranog dovoza otpada ovlaštenih komunalnih poduzeća. Na njima se skuplja sav komunalni otpad, često i dio opasnog otpada, a ne primjenjuju se nikakve mjere zaštite okoliša. Tako neodgovorno odloženi otpad direktno ugrožava okoliš i zdravlje ljudi. Glodavci i insekti prenose razne bolesti, šire se neugodni mirisi, a mogući su požari i eksplozije. Raspadom organskih tvari nastaju staklenički plinovi, dolazi do zagađenja tla, vode i zraka. Naknadna sanacija takvih odlagališta je vrlo skupa.
3. Odlagališta otpada u postupku legalizacije su građevine za (trajno) odlaganje otpada, predviđene odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima za koja je započeo, ali još nije dovršen postupak procjene utjecaja na okoliš, odnosno, ishođenje potrebnih dozvola - lokacijske i građevinske, a za nova odlagališta i uporabne dozvole.
4. Legalna/nadzirana/sanitarna odlagališta (slika 2.12) otpada su građevine za (trajno) odlaganje otpada, predviđene odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima i izgrađene u skladu s važećim propisima, a rade uz odobrenje nadležnog tijela lokalne samouprave na temelju provedene procjene o utjecaju na okoliš te ishođenih dozvola - lokacijske, građevinske i uporabne. Odlagalište otpada "Doline" u Bjelovaru je prvo odlagalište u RH izgrađeno (1998 godine) prema svim važećim zakonskim propisima uvažavajući sve mjere zaštite.



Slika 2.12. A) Shematski prikaz sanitarnog odlagališta (preuzeto iz https://www.mtholyoke.edu/~hart22a/classweb/econ_203_waste/waste%20_management.html), B) Sanitarna odlagališta otpada nakon zatvaranja (preuzeto iz <http://svswa.org/government/special-projects/closure-of-crazy-horse-landfill-with-artificial-turf/#lightbox/0/>)

Prema službenim podacima Agencije za zaštitu okoliša, početkom 2015. godine ukupno je u RH bilo aktivno 141 odlagalište. Na njih 132 odlagao se komunalni otpad, od čega se na 74 lokacije u komunalni odlagao i proizvodni otpad, dok se na 9 lokacija odlagao isključivo proizvodni otpad. Do kraja 2014. godine zatvoreno je 169 odlagališta, a na 71 lokaciji više nema otpada. Od 2008. do kraja 2014. godine povećao se broj saniranih odlagališta otpada sa 63 na 126, u pripremi ili u tijeku je sanacija na 113 lokacija.

Termička obrada otpada. Termičkom obradom otpada se smatra toplinska obrada otpada s ciljem smanjenja volumena i štetnosti otpada te dobivanja inertnog produkta koji se može dalje zbrinuti. Ovim procesom se zbog visoke temperature organske tvari raspadaju, a anorganski dijelovi ostaju u mineraliziranom obliku.

Otpad iz kućanstva ima gotovo polovicu energetskega potencijala ugljena, pa je ekonomski i ekološki opravdano dobivanje energije iz dijela toga otpada koji se ne može reciklirati. U ukupnoj obradi komunalna otpada u razvijenim zemljama, cca 70 % otpada na termičku obradu. Oko 90 % ukupnih svjetskih kapaciteta uređaja za spaljivanje otpada izgrađeno je u razvijenim zemljama (EU, SAD, Japan)

Prednosti:

- smanjenje mase i volumena otpada – masa se smanjuje do 75 %, a volumen do 90 %,
- eliminacija bioloških onečišćivala – poput virusa, mikroba, bakterija i sl., što je najveća prednost toplinske obrade (većina ostalih metoda prerade otpada ne može uništiti ova onečišćivala),
- smanjenje emisija stakleničkih plinova – znatno se smanjuju emisije stakleničkih plinova u odnosu na emisije s odlagališta,
- izdvajanje anorganskih tvari – željezo, plemeniti metali i drugo,
- iskorištenje energije pohranjene u otpadu – zakonski uvjet bez kojega se ne može realizirati toplinska obrada otpada.

Nedostaci:

- relativno visoki troškovi investicija,
- emisija štetnih tvari putem dimnih plinova u atmosferu.

Mnogi znanstvenici i stručnjaci smatraju da su spalionice pogoni koji otpad pretvaraju u otrov. Naime, prilikom spaljivanja otpada dolazi do stvaranja različitih toksičnih spojeva koji izlaze iz dimnjaka spalionica i onečišćuju okoliš. Osim dioksina, nastaju i mnogi drugi vrlo otrovni policiklički aromatski ugljikovodici, te drugi toksični plinovi. U raspravama oko spalionica otpada ima više elemenata. Prihvatanje odnosno neprihvatanje od strane zajednice zbog emisija dioksina, pepela kao produkta, većeg priklanjanja materijalnoj nasuprot energetskej uporabi. Poseban problem svih spalionica otpada predstavlja kruti ostatak nakon spaljivanja. To je pepeo čija masa iznosi 10 do 20 % ukupne mase ulaznog otpada i čije zbrinjavanje nije povoljno riješeno. Taj pepeo predstavlja nusproizvod spaljivanja obogaćen toksičnim spojevima i teškim metalima koji lako mogu dospjeti u okoliš.

Mehaničko biološka obrada otpada (MBO, eng. *Mechanical Biological Treatment - MBT*) je koncept zbrinjavanja otpada koji se razvio u Njemačkoj kao posljedica težnje da se reducira količina biorazgradivog otpada koji je do tada odlagan na odlagalištima te da se sustavom automatske separacije omogući povrat korisnih sirovina iz otpada. Ubrzo se MBO tehnologija proširila i na ostale europske zemlje Austriju, Italiju, Švicarsku, Francusku, Veliku Britaniju i druge. MBO je proces obrade komunalnog otpada koji određene frakcije komunalnog otpada odvaja mehaničkim putem, dok druge obrađuje biološkim procesima, tako da smanjuje ostatnu frakciju, stabilizira ju i priređuje za moguće upotrebe. MBO tehnologija obuhvaća dva ključna procesa: mehaničku (M) i biološku (B) obradu

otpada. Na tržištu je prisutan veliki broj MBO tehnologija s različitim kombinacijama elemenata za mehaničku i biološku obradu, što omogućava odabir postrojenja kako bi se dobio širok raspon specifičnih ciljeva kao što su:

- ponovno iskorištanje sirovina (staklo, metali, plastika, papir, i dr.)
- proizvodnja komposta
- proizvodnja visoko kvalitetnog krutog goriva iz otpada (GIO) definiranih svojstava
- proizvodnja bio stabiliziranog materijala za odlaganje (biorazgradiva komponenta)
- proizvodnja bioplina za proizvodnju topline i/ili električne energije

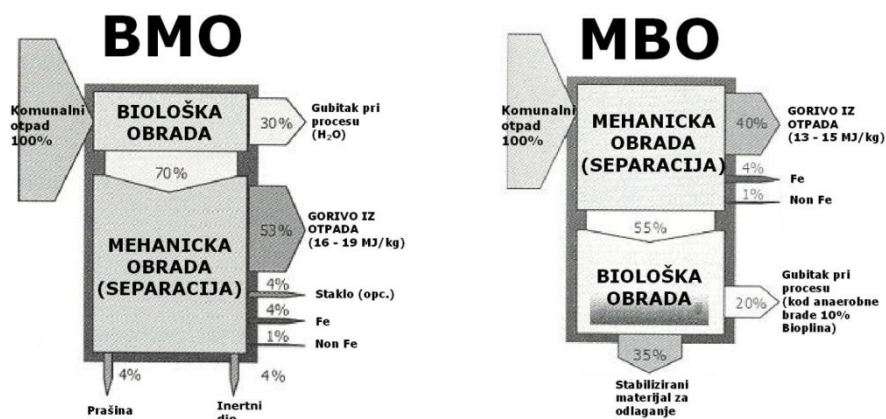
Postoje dvije varijante obrade otpada; potpuno spaljivanje ili MBO obrada, koja je jednostavnije, prihvatljivije rješenje iz sljedećih razloga:

- Smanjuje količinu otpada za odlaganje
- Smanjuje biorazgradivost otpada za odlaganje, a time i emisije bioplina, količine procjednih voda, neugodnih mirisa i ostale negativne deponijske efekte
- Smanjuje troškove rada i održavanja deponije
- Smanjuje proizvodnju metana
- Proizvedeni GIO se koristi za proizvodnju energije
- Separirani metali se koriste pri materijalnoj uporabi(reciklaži)

MBO se s obzirom na redoslijed obrade otpada dijeli na:

- MBO procese - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje mehaničkim, pa tek onda u biološkim procesom
- BMO procese - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje biološkim, pa tek onda u mehaničkim procesom.

Izlazne frakcije iz MBO postrojenja su metali koji se koriste u materijalnoj uporabi (recikliranje), gorivo iz otpada (GIO, SRF) proizvodnja energije, te biološki ostatak (bioplin)



Slika 2.13. Shema MBO procesa s obzirom na redoslijed obrade

Prema shemi MBO procesa prikazanog na slici 2.13 prethodno neobrađeni otpad najprije se šalje na mehaničku obradu gdje se provodi mehaničko odvajanje metala, plastike, stakla i potencijalno opasnih tvari. Ostatak otpada koji je većim dijelom biorazgradiv, odlazi na kompostiranje ili anaerobnu digestiju. Tijekom procesa biološke obrade materijal se komprimira i stabilizira te se nakon toga odlaže. Za razliku od MBO procesa, kod BMO procesa, cjelokupni ulazni otpad prvotno se odvodi na biološku obradu tijekom koje se organske tvari djelomično razgrađuju u aerobnim uvjetima (pri čemu se smanjuje udio vlage) te otpad postaje suši i podložniji kvalitetnom prosijavanju. Nakon biološke obrade slijedi mehanička separacija otpada, te se takav tip procesa naziva biološko-mehanička obrada (BMO). Za BMO proces je karakteristično da njime nastaju kruti gorivi produkti relativno visokih kalorijskih vrijednosti, koji se mogu koristiti kao gorivo (gorivo iz otpada - GIO ili eng. SRF).

Osnovne mane MBO-a su: veliki pogoni (preko 100 000 t/god.) koji prikupljaju otpad s velikog područja te su u kontradikciji s načelom blizine i racionalnosti korištenja resursa. Time se pojačava cestovni transport koji izaziva prekomjerno habanje prometnica i onečišćenje zraka kamionskim transportom (što je mana bilo kojeg centralnog pogona), te je česta pojava nedostatka dovoljne količine vode za vlaženje (koju često nije moguće osigurati bilo zbog lokacije, bilo zbog uvjeta rada).

Recikliranje otpada (*re + cycle* = ponovno kruženje) je proces prerade otpadnog materijala da bi se učinio pogodnim za ponovnu upotrebu i proizvodnju istog ili nekog drugog proizvoda. Uključuje i organsko recikliranje, kompostiranje. Cilj je učiniti otpad pogodnim za ponovnu upotrebu, ali ne i korištenje u energetske svrhe. Recikliranjem se smanjuje iskorištavanje sirovina iz prirodnih resursa, a štedi se i energija (npr. recikliranjem aluminijske konzerve uštedi se energija za rad TV-a u trajanju od 3 sata; svaka tona recikliranog papira spašava 17 stabala, 4000 kWh energije i oko 30 m³ prostora na odlagalištu). Karike u lancu recikliranja su:

1. Skupljanje i razvrstavanje otpada
2. Proizvodnja novog proizvoda
3. Kupovina recikliranog proizvoda

Na slici 2.14 je prikazan međunarodno priznati znak za proizvod napravljen od recikliranog materijala i za onaj koji se može reciklirati



Slika 2.14. Znak za proizvod napravljen od recikliranog materijala i za onaj koji se može reciklirati

Tri strelice označavaju faze recikliranja:

- Skupiti!
- Ponovo upotrijebiti!
- Ponovo preraditi!

U otpad koje se može reciklirati spadaju biootpad, papir i karton, plastika, staklo, metali.

Stopa recikliranog komunalnog otpada u Hrvatskoj je, prema podacima za 2014. samo 17 posto i od nje su lošije samo Rumunjska (16 posto), Malta i Slovačka po 12 posto. Europski prosjek je 44 posto. Veliki dio otpada, a posebno komunalnoga, pogodan je za recikliranje.

Tipičan sastav gradskoga komunalnog otpada pokazuje da se 30 – 40 % otpada može reciklirati, dok se 25 – 30 % otpada može kompostirati.

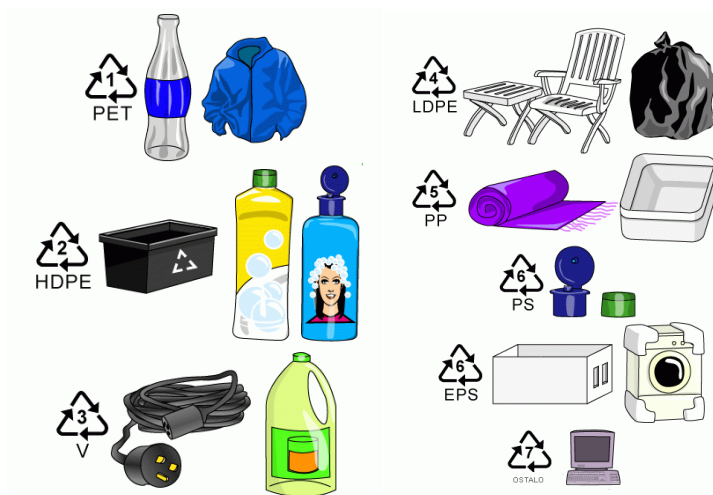
Recikliranje papira je vraćanje odbačenog papira u proizvod koji se može ponovo koristiti. Sirovina za proizvodnju papira je celuloza koja se dobiva iz drveta. Da bi drvo izraslo potrebno mu je u prosjeku 30 godina, kada se ono posiječe, dobije se malena količina papira, a kontinuiranom sječom šuma pogodujemo eroziji tla i smanjuje se kvaliteta tla. Upotrebom starog papira pri proizvodnji papira štedi se na drveću, kemikalijama, energiji, vodi, a nastaje i manje otpadnih voda.

Proces recikliranja započinje odvojenim sakupljanjem papira u domaćinstvu, na radnom mjestima i tvornicama. Papir koji se želi reciklirati treba biti čist, a ne onečišćen hranom, plastikom ili drugim tvarima. Papir koji se ne može reciklirati postaje otpad koji se spaljuje, kompostira ili odnosi na odlagališta smeća. Prikupljeni papir se drži u skladištima reciklažnih dvorišta dok ne bude potreban. Papir se može reciklirati 4 – 6 puta.

Recikliranje stakla je proces pretvaranja odbačenog stakla u koristan proizvod. Staro staklo je moguće pretaliti bezbroj puta, a da ne izgubi na kvaliteti. Odbačeno u ostali otpad staklo se razgrađuje 4 tisuće godina. Stakleni lom je najvažnija sekundarna sirovina kod proizvodnje stakla. Osnovni preduvjet recikliranja je odvojeno prikupljanje staklenog otpada, a ovisno o konačnoj upotrebi, ono često uključuje razdvajanje stakla prema boji. Onečišćeni stakleni lom, neprikladan za recikliranje, može se upotrijebiti na primjer u pripremi asfalta, proizvodnju staklenih vlakana za izolaciju itd. U hijerarhiji smanjenja otpada poželjnije je ponovno korištenje staklenih predmeta od reciklaže. Korištenje recikliranog stakla pridonosi štednji energije, pomaže u proizvodnji opeka i keramike, pridonosi očuvanju sirovina i smanjuje količinu otpada. Svaka tona stakla iskorištena za proizvodnju novog stakla sačuva oko 315 kg ispuštenog ugljičnog dioksida.

Recikliranje plastike je proces prerade odbačene i stare plastike u proizvod koji se može ponovno koristiti.

Postoji mnogo vrsta plastike. Najčešće vrste imaju identifikacijski kod (slika 2.15) koji je razvijen 1988. Prije recikliranja plastične materijale se grupira prema tom identifikacijskom kodu. Simbol koji se koristi za identifikacijski kod sastoji se od tri strelice koje čine trokut u kojem se nalazi broj (slika 2.15).



Slika 2.15. Identifikacijski kod različitih vrsta plastike

Recikliranje metala je postupak koji je jednostavniji od recikliranja drugog otpada. Metal se proizvodi od prirodnih sirovina, ruda, koje čine znatan dio prirodnog bogatstva. Radi se o neobnovljivim izvorima čije se zalihe nerazumnim trošenjem iscrpljuju, te ga je stoga nužno reciklirati. Na taj način će se sačuvati resursi, smanjiti potrošnja struje, kemikalija i vode pri proizvodnji, smanjiti količine otpada i sačuvati okoliš. Tako metali kao što su željezo, aluminij, bakar, čelik i drugi metali su posebno vrijedne vrste otpada. Postupak recikliranja se sastoji u pretaljivanju a primjese se uklanjaju redukcijom ili elektrolizom. Limenke za piće i konzerve su većinom od aluminija i mogu se preraditi kod proizvodnje aluminija. Željezni otpad zamjenjuje potrebu za sirovinom u proizvodnji željeza u visokoj peći.

Kompostiranje je najstariji i najprirodniji način recikliranja otpada, a obuhvaća razgradnju biootpada uz pomoć živih organizama u određenom vremenskom periodu. Približno trećinu kućnog otpada čini biološki organski otpad, kao što su trava, lišće, cvijeće, ostaci povrća i voća i sl. Prikupljeni ostaci biljaka nisu smeće već su visoko vrijedna sirovina za proizvodnju komposta.

Produkti kompostiranja su ugljikov dioksid, voda, toplina i kompost. Kompost je tamnosmeđi zrnati produkt sličan humusu. To je smjesa organskih otpadaka iz gospodarstva, kućanstva i naselja prerađena radom mikroorganizama, a služi kao organsko gnojivo. Ukoliko organski otpad iz našeg kućanstva i vrtova se ne kompostira, on se na odlagalištima otpada anaerobno razgrađuje, odnosno bez prisustva kisika pri čemu se oslobađa metan, jedan od glavnih stakleničkih plinova.

Uloga komposta je da:

- poboljšava kvalitetu tla i osigurava prozračnost tla, naročito u povrtlarstvu i cvjećarstvu
- efikasno hrani biljku i smanjuje potrebu za umjetnim gnojivima
- zadržava vodu i popunjava udubine u tlu
- prekriva otpad na sanitarnim odlagalištima
- sprečava eroziju tla
- uspostavljamo prirodni kružni tok tvari u prirodi

Proces kompostiranja odvija se u pet osnovnih stupnjeva:

1. *Prikupljanje i razvrstavanje biootpada* - iz otpada treba ukloniti sve ono što se ne može kompostirati.
2. *Prosijavanje i miješanje biootpada* - otpad treba usitniti na veličinu čestica 4-7 cm što omogućuje dobro prozračivanje, miješanje i prodor mikroorganizama.
3. *Biološka razgradnja otpada* - stvaranje komposta. Ako se kompostiranje provodi u kompostnim hrpama na otvorenom biološka razgradnja traje 4-6 tjedana, prozračivanje se obavlja ručnim miješanjem komposta. Ako je kompostiranje u zatvorenom sustavu, vrijeme biološke razgradnje je kraće, a miješanje je mehaničko.
4. *Zrenje komposta* - je završni stupanj stabiliziranja komposta, jer ako kompost nije dovoljno zreo mogao bi iz tla ukloniti dušik.
5. *Završna dorada komposta* - obuhvaća sušenje komposta. Za poljoprivredu i cvjećarstvo suši se kako bi imao manje od 30% vlage.

2.4.2. Temeljna načela gospodarenja otpadom

Suvremeno rješenje za sve veće količine, volumen i štetnost otpada je provedba Cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. Taj sustav obuhvaća skup aktivnosti, odluka i mjera koje obuhvaćaju ekonomski i po okoliš razumno upravljanje cjelokupnim ciklusom otpada od mjesta nastanka, skupljanja, prijevoza i obrade u skladu s zakonskim obvezama. Mora se provoditi tako da se ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i ne smije štetiti okolišu.

Cjelovito (suvremeno) gospodarenje otpadom obuhvaća slijedeće faze:

1. sprječavanje nastanka otpada,
2. priprema za ponovnu uporabu,
3. recikliranje,
4. drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba i
5. zbrinjavanje otpada.

Pravilno sustavno i cjelovito gospodarenje otpadom podrazumijeva primjenu koncepta tzv. "4R + 3E" mjera:

4 R princip:

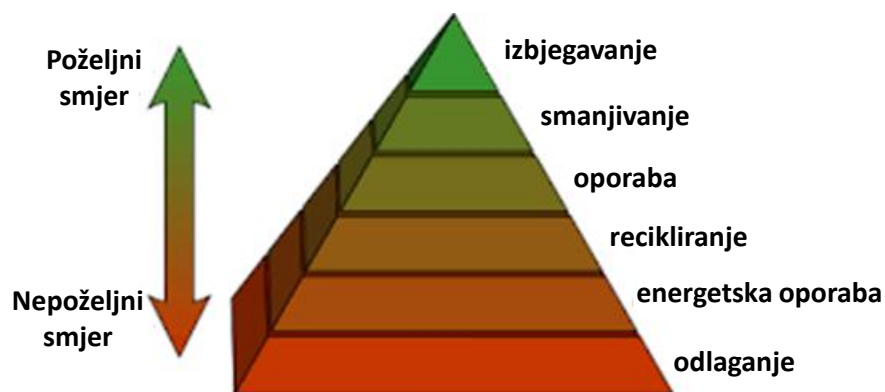
- *Reduction* – smanjenje i sprečavanje proizvodnje otpada postavljanjem tehnoloških standarda, uvođenjem tzv. čiste tehnologije, primjenom ekonomskih mjera, edukacijom i sl.
- *Reuse* – ponovna uporaba otpada na osnovu izravne upotrebe ambalaže ili drugim materijala
- *Recycling* – reciklaža, postupak ponovne upotrebe ambalaže ili materijala, ali neizravno, putem obrade različitim tehnološkim procesima
- *Recovery* – regeneracija materijala i energije, postupak koji se temelji na toplinskoj, kemijskoj ili fizikalnoj pretvorbi materijala kako bi se ponovno proizveo neki materijal ili energija.

3E princip:

- *Educate* – osvijestiti i educirati o odgovornom postupanju s otpadom te povećati razumijevanje važnosti i mogućnosti gospodarenja otpadom

- *Economise* – smanjiti troškove gospodarenja otpadom i uključiti troškove otpada u cijenu proizvoda/usluge po načelu "onečišćivač/zagađivač plaća"
- *Enforce* – primijeniti koncepte učinkovitog postupanja s otpadom u zakonodavstvu i praksi, te uključiti u procese planiranja, odlučivanja i upravljanja sve zainteresirane u zakonodavstvu i praksi

Sve navedene mjere čine cjelinu i međusobno su sustavno povezane. Dobro gospodarenje otpadom treba započinjati mjerama prevencije, odnosno izbjegavanjem stvaranja otpada. Kod već nastalog otpada treba odabrati optimalnu metodu postupanja s otpadom koja će proizvesti najmanji rizik za ljudsko zdravlje i okoliš. Na zadnjem mjestu bi trebalo biti samo odlaganje otpada. Takav način gospodarenja naziva se "hijerarhija otpada"- na vrhu su postupci koji su poželjniji, dok su manje poželjni postupci pri dnu (slika 2.16). Iako se danas najveći dio otpada odlaže na odlagališta, takav način zbrinjavanja otpada smatra se najmanje poželjnim, a treba mu pribjegavati kada se iscrpe sve ostale mogućnosti. Krajnji cilj cjelovitog sustava gospodarenja s otpadom je potpuno napuštanje odlaganja otpada, odnosno razvoj bezdeponijskog koncepta.

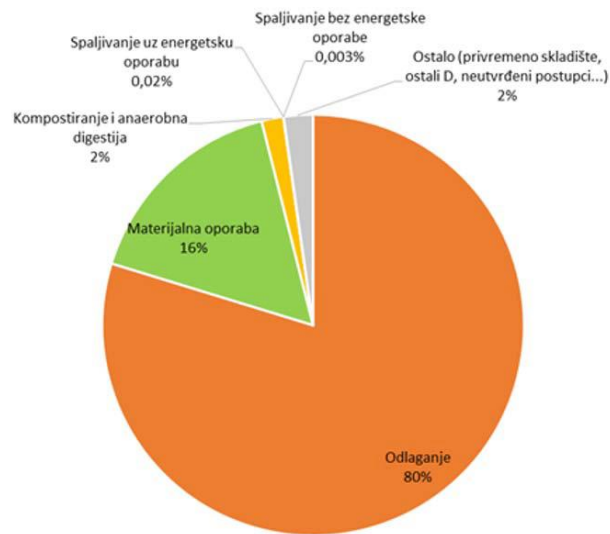


Slika 2.16. Hijerarhija gospodarenja otpadom

Gospodarenje otpadom je najveći problem zaštite okoliša u RH s najvećim zaostajanjem za standardima EU, prvenstveno zbog :

- nepoštivanja postojećih propisa RH
- nedostatne i neadekvatne kontrole nastanka i tokova otpada
- neadekvatnog odlaganja otpada u prošlosti, ali i danas
- niskog stupnja recikliranja otpada i zanemarive prerade otpada
- velikog broja zatečenih i neriješenih problema
- nedostatak uređaja za obradu otpada
- loše riješeno konačno odlaganje za sve vrste otpada, osobito opasnog i industrijskog
- proizvođači otpada ne snose realnu cijenu zbrinjavanja otpada – svaka tvrtka mora imati plan zbrinjavanja otpada

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj je u velikoj mjeri zakonski usklađeno s EU propisima. Stanje u Hrvatskoj danas je uglavnom posljedica nepoštivanja propisa i nedostatka financijskih sredstava. Da bi približili sustav gospodarenja otpadom standardima EU, potrebna su ulaganja u infrastrukturu gospodarenja otpadom te provedbu mjera za podizanje svijesti i dodatnom edukacijom građana. Zbog toga je donošenje Strategije i Plana gospodarenja otpadom od velike važnosti za RH. Iako se odlaganje otpada koje je najnepovoljnije rješenje u hijerarhiji gospodarenja otpada smanjuje još uvijek veliki postotak komunalnog otpada se zbrinjava upravo na taj način (slika 2.17). Stoga je očigledno da su nužna znatna ulaganja u ovom području zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj



Slika 2.17. Udio postupaka oporabe/zbrinjavanja komunalnog otpada u RH u 2015. godini (HAOP, 2016.)

3. Zaštita okoliša

Ljudska aktivnost, gledano kroz povijest, nije značajno utjecala na okoliš sve do razvoja industrije. U prvotnim gradovima i naseljima dolazilo je do biološkog i biokemijskog onečišćenja što je dovelo do epidemija zaraznih bolesti, a tek razvojem i stvaranjem društvenih zajednica počinje nagli utjecaj čovjeka na životni okoliš. Razvojem industrije i upotrebom ugljena u proizvodnji energije u 18. stoljeću, dolazi do povećanja ispuštanja ugljikovih sumporovih i dušikovih oksida, a novi val onečišćenja javlja se upotrebom nafte i naftnih derivata. Razvojem kemije i primjenom kemijskih tvari u industriji raste doprinos i drugih štetnih tvari u onečišćenju okoliša. U drugoj polovici 20. stoljeća zbog brzog razvoja tehnologije, naglog porasta stanovništva i urbanizacije, suvremena se civilizacija susreće s problemom otpada. Povećanje porasta stanovništva dovodi do nevjerojatnog porasta potrošnje. Potrošnja je pokazatelj gospodarskog razvoja nekog društva, no ona je praćena nastankom odgovarajuće količine otpada. Interes o zaštiti okoliša kroz povijest je bio malen i svodio se na sporadične slučajeve. Tokom industrijalizacije želja za profitom je bila iznad svijesti o potrebi očuvanja okoliša. Prvi koraci i ekološko osvješćivanje javlja se tek poslije 1945. godine kada se zapaža da se broj bolesnih od određenih bolesti znatno povećava u industrijskim središtima.

3.1. Održivi razvoj

Održivi razvitak je razvitak društva, koji kao temeljne kriterije uključuje ekološku, gospodarsku i socio-kulturnu održivost, i koji s ciljem unaprjeđenja kvalitete života i zadovoljavanja potreba današnjeg naraštaja uvažava iste mogućnosti zadovoljavanja potreba idućih naraštaja, te omogućuje dugoročno očuvanje kakvoće okoliša, georaznolikosti, bioraznolikosti te krajobraza.

Cilj je zadovoljiti potrebe sadašnjice, ne dovodeći u pitanje sposobnost budućih generacija da zadovolje vlastite potrebe, te na činjenici da planet Zemlju nismo naslijedili od svojih predaka nego posudili od svoje djece. Koncept održivog razvoja predstavlja novu strategiju i filozofiju društvenog razvoja. Održivi razvoj se najčešće dovodi u vezu sa zaštitom okoliša, odnosno nastojanjem da se zabrinutost za opstanak života na planeti Zemlji poveže sa očuvanjem prirodnih resursa i brojnim ekološkim izazovima koji stoje pred svakim društvom, državom i čovječanstvom u cjelini. Značaj samog pojma doprinosi ugroženost okoliša, koja se ogleda u ekološkim izazovima i problemima kao što su: globalno zagrijavanje, smanjivanje ozonskog omotača, efekt staklenika, nestanak šuma, pretvaranje plodnog zemljišta u pustinje, pojava kiselih kiša, izumiranje životinjskih i biljnih vrsta, dakle poremećaj ravnoteže opstanka na planeti Zemlja. Održivi razvoj označava poštivanje načela demokracije, ravnopravnosti spolova, socijalne pravde i solidarnosti, zakonitosti, poštivanje prava čovjeka te očuvanje prirodnih dobara, kulturne baštine i čovjekova okoliša pridonose očuvanju Zemlje za održavanje života u svojoj potpunoj raznolikosti. Na taj se način održivi razvoj ostvaruje kroz dinamično gospodarstvo s punom zaposlenošću, ekonomsku, socijalnu kao i teritorijalnu koheziju, visok stupanj obrazovanosti građana i visok stupanj zaštite zdravlja te očuvanje okoliša i očuvanja ekonomskim rastom kako bi se zadovoljile potrebe i uklonilo siromaštvo i glad s druge strane.

Održivi razvoj (slika 3.1) općenito se promatra kroz tri glavna aspekta: okolišni, ekonomski i socio-politički. Okolišni se aspekt odnosi na upravljanje prirodnim resursima i zaštitu okoliša, ekonomski se odnosi na razvoj, rast i uspjeh dok se socijalni odnosi na smanjenje siromaštva i postizanje jednakosti među ljudima. Ekonomski ciljevi (produktivnost, konkurentnost, gospodarski rast) optimiziraju se uz

uvažavanje ekoloških ciljeva (integritet ekosustava, globalna pitanja, biološka raznolikost) i socijalnih zahtjeva (humanizacija rada, motiviranje, zajedničko upravljanje, kulturni identitet, itd.) koji su u stalnoj međusobnoj interakciji.



Slika 3.1. Sastavnice održivog razvoja

3.2. Zaštita okoliša prema području onečišćenja

Zaštita okoliša je skup aktivnosti i mjera za sprečavanje opasnosti za okoliš, nastanka šteta i/ili onečišćivanja okoliša, smanjivanja i/ili otklanjanja šteta nanesenih okolišu te povrata okoliša u stanje prije nastanka štete. Zaštita okoliša neposredno je povezana s načinom proizvodnje i potrošnje, dinamikom ekonomskog rasta, jačanjem ekološke svijesti itd.

Pristup zaštiti okoliša, odnosno rješavanju problema onečišćena okoliša može biti **globalni** i **lokalni**. **Globalno onečišćenje** nijedna država na svijetu ne može sama riješiti. Zbog toga se na političkom nivou donose odluke na način da se iste formiraju u zakone na lokalnom i globalnom nivou koji se mora provoditi. **Lokalna onečišćenja** se rješavaju donošenjem zakona, propisa i pravila na nivou države, grada, zajednice, ustanove itd...

Početak devedesetih godina 20. stoljeća, intenzivirane su aktivnosti na međunarodnom planu po pitanju donošenja različitih ugovora i konvencija o zaštiti okoliša. Neke od njih odnose se na rješavanje lokalnih problema diljem svijeta, kao npr. Konvencija UN-a o borbi za sprečavanje širenja pustinjskih područja, dok se druge odnose na svjetske probleme, primjerice smanjenje emisije stakleničkih plinova u atmosferu, koji doprinose globalnom zatopljanju.

Potpisivanje Montrealskoga protokola 1987. i 1990. i Svjetski samit u Rio de Janeiro, koji je održan 1992. godine godine bili su važne prekretnice za razumijevanje značaja utjecaja štetnih plinova na ozonski omotač te utjecaja stakleničkih plinova na globalno zatopljenje, kao i druge moguće klimatske posljedice. *Montrealski protokol* o zabrani tvari koje razaraju ozonski omotač potpisalo je 175 zemalja svijeta, a njime je propisana zabrana ispuštanja freona, halona i drugih halogeniranih ugljikovodika, koji štetno utječu na ozonski omotač u gornjim slojevima atmosfere, do 2000. godine. Svjetskim samitom u Rio de Janeiro usvojena je tzv. Agenda 21, koja predstavlja opsežan plan

djelovanja na globalnom, regionalnom i lokalnom planu u svezi upravljanja i zaštite okoliša. Značajan dokument, koji je proizašao iz ovog samita je *Okvirna Konvencija UN-a o klimatskim promjenama* (engl. *United Nations Framework Conventions on Climate Changes*). Ova Konvencija je stupila na snagu 1994. godine, a preko 50 zemalja je do danas ratificiralo ovaj dokument. Dodatna važnost ovog samita je i činjenica da u svjetskom zakonodavstvu i praksi od tada sve više dominira princip usvajanja mjera opreza, što znači da se određene aktivnosti ili radnje ograničavaju ili potpuno zabranjuju, ukoliko postoji određena vjerojatnost da one mogu štetno djelovati na okoliš. Ovaj princip je naročito značajan za umanjivanje štetnih posljedica od tvari koje su otporne i imaju dugotrajne posljedice za okoliš. Nakon samita u Rio de Janeir-u, važan događaj za očuvanje okoliša u svjetskim okvirima bio je potpisivanje protokola u Kyotu 1997. godine. Osnovni sadržaj *Kyoto protokola* je obveza zemalja, a naročito industrijski najrazvijenijih zemalja, da smanje emisije stakleničkih plinova za 5,2 % u odnosu na količine emisija iz 1990. godine, u razdoblju od 2008 do 2012. godine. Naime, globalna emisija CO₂ od samita u Rio rasla je za nekoliko postotaka godišnje, tako da bi ukupno smanjenje trebalo biti daleko više od 5%. Neke zemlje, kao SAD, trebale bi tako smanjiti emisiju svojih stakleničkih plinova i preko 20%. U Montrealskom sporazumu i Kyoto protokolu nalazi se još jedan bitan princip tzv. zajedničke, ali različite odgovornosti zemalja za stanje u globalnom okolišu. Naime, ideja je da sve zemlje dijele globalni okoliš i imaju zajedničku odgovornost prema njegovom očuvanju, ali neke zemlje doprinose više onečišćenju i drugim negativnim utjecajima na okoliš, a neke imaju značajno više financijskih sredstava za razvoj alternativnih rješenja, koja bi bila manje štetna za okoliš. Na taj način, najveći onečišćivači bi trebali platiti više i brže. Krajem 2000. godine, potpisnici Kyoto protokola pokušali su donijeti sporazum o njegovoj implementaciji koji je trebao biti obvezujući. Problem vezan za implementaciju ovoga protokola nastao je većim dijelom od pokušaja nekih industrijski najrazvijenijih zemalja da smanjenje stakleničkih plinova u atmosferu riješe tako što će veći dio svojih plinova ispustiti u druge prirodne resurse, koji imaju sposobnost vezanja i neutralizacije štetnih posljedica plinova, kao što su oceani i šume. Nakon tjedana diskusija i ovi pregovori su propali i dogovor nije postignut. Tek 2004. godine, nakon što je Ruska Federacija prihvatila Kyoto protokol, dosegnuta je kritična masa da bi Kyoto protokol mogao stupiti na snagu.

3.3. Politika zaštite okoliša

Većina razvijenih zemalja i znatan broj zemalja u razvoju primjenjuju aktivnu politiku zaštite okoliša. Uspješna se politika zaštite okoliša može voditi samo u jedinstvu s gospodarskom politikom odnosno cjelokupnom društvenom politikom razvoja. Politika zaštite okoliša tako je postala sastavnim dijelom gospodarske i opće društvene politike razvoja. Politika zaštite okoliša prije svega utvrđuje ciljeve zaštite okoliša, a kakvi će ti ciljevi biti ovisi o mnogo čimbenika a prije svega o:

- razini gospodarskog i društvenog razvoja
- razvijenosti ekološke svijest
- utjecaju međunarodnog sustava zaštite okoliša
- dosadašnjoj ugroženosti ekoloških sustava i okoliša.

Vremenski gledano, ciljevi politike zaštite okoliša mogu biti dugoročni na temelju kojih se utječe na cjelokupni gospodarski i društveni razvoj, te kratkoročni i srednjoročni, godišnji na temelju kojih se najprije štite najugroženiji ekosustavi i utječe na izrazite onečišćivače okoliša.

Politika zaštite okoliša obuhvaća:

- NOSITELJE politike zaštite okoliša
- CILJEVE I NAČELA politike zaštite okoliša
- INSTRUMENTI za provedbu politike zaštite okoliša

Nositelji (provoditelji) politike zaštite okoliša su država, lokalna samouprava, gospodarstvo, nevladine udruge, međunarodna zajednica (na globalnoj razini, UN, EU, svjetska banka, radna zajednica Alpe - Jadran, i sl.)

Primjeri **ciljeva zaštite okoliša** u ostvarivanju uvjeta za održivi razvitak su slijedeći:

- zaštita života i zdravlja ljudi,
- zaštita biljnog i životinjskog svijeta, georaznolikosti, bioraznolikosti i krajobrazne raznolikosti te očuvanje ekološke stabilnosti,
- zaštita i poboljšanje kakvoće pojedinih sastavnica okoliša,
- zaštita ozonskog omotača i ublažavanje klimatskih promjena,
- zaštita i obnavljanje kulturnih i estetskih vrijednosti krajobraza,
- sprječavanje velikih nesreća koje uključuju opasne tvari,
- sprječavanje i smanjenje onečišćenja okoliša,
- racionalno korištenje energije i poticanje uporabe obnovljivih izvora energije,
- uklanjanje posljedica onečišćenja okoliša,
- poboljšanje narušene prirodne ravnoteže i ponovno uspostavljanje njezinih regeneracijskih sposobnosti,
- ostvarenje održive proizvodnje i potrošnje,
- napuštanje i nadomještanje uporabe opasnih i štetnih tvari,
- održivo korištenje prirodnih dobara,
- osiguranje i razvoj dugoročne održivosti,
- unaprjeđenje stanja okoliša i osiguravanje zdravog okoliša.

Navedeni ciljevi postižu se primjenom *načela zaštite okoliša i instrumenata zaštite okoliša* propisanih Zakonom o zaštiti okoliša i propisima donesenim na temelju spomenutog Zakona, te primjenom načela i instrumenata propisanih posebnim propisima kojima se uređuje zaštita pojedinih sastavnica, odnosno zaštita od pojedinih opterećenja okoliša.

Zaštita okoliša temelji se na uvažavanju općeprihvaćenih načela zaštite okoliša, poštivanju načela međunarodnog prava zaštite okoliša te uvažavanju znanstvenih spoznaja.

Načela zaštite okoliša donesena Zakonom o zaštiti okoliša u RH su slijedeća:

1. **Načelo održivog razvitka** - Prilikom usvajanja polazišta, donošenja strategija, planova i programa te propisa, i njihovoj provedbi, Hrvatski sabor, Vlada Republike Hrvatske, županije, Grad Zagreb, veliki gradovi, gradovi i općine, u okviru svog djelokruga, moraju poticati održivi razvitak. U svrhu poticanja održivog razvitka zahtjevi zaštite okoliša uređeni Zakonom o zaštiti okoliša i posebnim propisima moraju biti uključeni u pripreme i provedbu utvrđenih polazišta i aktivnosti na svim područjima gospodarskog i socijalnog razvitka.
2. **Načelo predostrožnosti** - Pri korištenju okoliša treba štedljivo koristiti sastavnice okoliša i njima upravljati vodeći računa o mogućnostima ponovnog korištenja prirodnih i materijalnih dobara, te vodeći računa o sprječavanju onečišćivanja okoliša, mogućem nastanku šteta po

okoliš i izbjegavanju stvaranja otpada, u najvećoj mogućoj mjeri. Radi izbjegavanja rizika i opasnosti po okoliš, pri planiranju i izvođenju zahvata treba primijeniti sve utvrđene preventivne mjere zaštite okoliša što podrazumijeva korištenje dobrih iskustava, kao i uporabu proizvoda, opreme i uređaja te primjenu proizvodnih postupaka i sustava održavanja projektiranih parametara postrojenja, koji su najpovoljniji po okoliš. U cilju preventivnosti, prilikom korištenja okoliša, primjenjuju se najbolje raspoložive tehnike i u svijetu priznati sustavi održavanja postrojenja. Operater, koji svojim djelovanjem ili propuštanjem djelovanja na koje je obavezan propisom ili odgovarajućim aktom, uzrokuje rizik po okoliš, ili nanosi štetu u okolišu, obavezan je, o svom trošku bez odgađanja poduzeti nužne mjere zaštite da se izbjegne rizik i šteta u okoliš. Kada prijeti opasnost od stvarne i nepopravljive štete za zdravlje ljudi i okoliš, ne smije se odgađati poduzimanje nužnih zaštitnih mjera, pa ni u slučaju kada ta opasnost nije u cijelosti znanstveno istražena. Odustat će se, odnosno neće se djelovati, obavljati djelatnost i/ili obaviti zahvat, koji imaju znanstveno dokazanu ili pretpostavljenu vjerojatnost štetnog i trajno štetnog utjecaja na okoliš, a osobito na sastavnice okoliša – bioraznolikost i krajobraz.

3. *Načelo očuvanja vrijednosti prirodnih dobara, bioraznolikosti i krajobraza* - Prirodna dobra i krajobrazne vrijednosti treba nastojati očuvati na razini obujma i kakvoće koji ne ugrožavaju zdravlje i život čovjeka i nisu štetni za biljni i životinjski svijet, te ih koristiti na održivi način tako da se ne umanjuje njihova vrijednost za buduće naraštaje. Zahvati u okoliš koji mogu imati štetni učinak na bioraznolikost i krajobraznu raznolikost i vrijednost, te očuvanje prirodnog genetskog sklada i sklada prirodnih zajednica, živih organizama i tvari, nisu dopušteni, ukoliko se u postupku u skladu s Zakonom o zaštiti okoliša i posebnim propisima ne odluči drukčije.
4. *Načelo zamjene i/ili nadomještaja* - Djelovanje, odnosno planirani zahvat koji bi mogao imati štetni utjecaj na okoliš potrebno je zamijeniti djelovanjem, odnosno zahvatom koji predstavlja znatno manji rizik za okoliš. Tvarima koje se mogu ponovno uporabiti, ili koje su biološki razgradive, treba dati prednost pri uporabi, pa i u slučaju većih troškova.
5. *Načelo otklanjanja i sanacije štete u okolišu na izvoru nastanka* - Ako je šteta u okolišu nastala kao rezultat djelovanja ili propuštanja propisanog obveznog djelovanja operatera, odnosno kao rezultat obavljanja djelatnosti fizičke ili pravne osobe, oni su dužni otkloniti, odnosno sanirati štetu u okolišu prvenstveno na izvoru nastanka.
6. *Načelo cjelovitog pristupa* - Svrha načela cjelovitog pristupa je sprječavanje i/ili svođenje rizika za okoliš na najmanju moguću mjeru rizika za okoliš u cjelini. Zahtjevi za visokom razinom zaštite okoliša i poboljšanjem kakvoće okoliša obvezni su sastavni dio svih polazišta kojima je cilj uravnoteženi gospodarski razvitak, a osiguravaju se sukladno načelu održivog razvitka. Kod izrade i donošenja dokumenata prostornog uređenja mora se posebno uzimati u obzir prikladnost zahvata s obzirom na poznate rizike od prirodnih nepogoda, pouzdanost postojećih i planiranih mjera za smanjivanje rizika od prirodnih nepogoda, osjetljivost okoliša na određenom prostoru, odnos prema skladu i vrijednostima krajobraza, odnos prema neobnovljivim i obnovljivim prirodnim dobrima, kulturnoj baštini i materijalnim dobrima, te ukupnost njihovih međusobnih utjecaja i međusobnih utjecaja postojećih i planiranih zahvata na okoliš. Strateškom procjenom okoliša ne dovode se u pitanje pojedinačni postupci procjene utjecaja na okoliš, niti drugi zakonom propisani postupci.
7. *Načelo suradnje* - Održivi razvitak sukladno Zakonu o zaštiti okoliša postiže se suradnjom i zajedničkim djelovanjem tijela državne uprave i jedinica lokalne samouprave i uprave, te svih

drugih dionika u cilju zaštite okoliša, svakoga u okviru svoje nadležnosti i odgovornosti. Država osigurava suradnju i solidarnost u rješavanju globalnih i međudržavnih pitanja zaštite okoliša, posebno kroz međunarodne ugovore, suradnjom s drugim državama i sklapanjem odgovarajućih sporazuma te obavješćivanjem drugih država o prekograničnim utjecajima na okoliš, o ekološkim nesrećama, kao i međunarodnom razmjenom informacija o okolišu. Tijela državne uprave i jedinica lokalne samouprave i uprave, u okviru svoga djelokruga, solidarno i zajednički sudjeluju u provedbi zaštite okoliša iz svoje nadležnosti, kako bi osigurale provedbu učinkovitih mjera zaštite okoliša na svom području.

8. *Načelo "onečišćivač plaća"* - Onečišćivač snosi troškove nastale onečišćavanjem okoliša. Troškovi obuhvaćaju troškove nastale u vezi s onečišćavanjem okoliša uključujući i troškove procjene štete, procjene nužnih mjera i troškove otklanjanja štete u okolišu. Onečišćivač snosi i troškove praćenja stanja okoliša i primjene utvrđenih mjera te troškove poduzimanja mjera prevencije od onečišćavanja okoliša, bez obzira na to da li su ti troškovi nastali kao rezultat propisane odgovornosti za onečišćavanje okoliša, odnosno ispuštanjem emisija u okoliš ili kao naknade utvrđene odgovarajućim financijskim instrumentima, odnosno kao obveza utvrđena propisom o smanjivanju onečišćavanja okoliša.
9. *Načelo pristupa informacijama i sudjelovanja javnosti* - Javnost ima pravo pristupa informacijama o okolišu kojima raspolaže tijelo javne vlasti i osobe koje tijelo javne vlasti nadzire te osobe koje informacije čuvaju za tijelo javne vlasti. Javnost ima pravo na pravodobno obavješćivanje o onečišćavanju okoliša, uključujući informacije o opasnim tvarima i djelatnostima, informacije o poduzetim mjerama i s tim u svezi pristup podacima o stanju okoliša. Javnost ima pravo sudjelovati u postupcima utvrđivanja polazišta, izrade i donošenja strategija, planova i programa, te izrade i donošenja propisa i općih akata u vezi sa zaštitom okoliša. Javnost ima pravo sudjelovati u postupcima koji se vode na zahtjev nositelja zahvata i operatera sukladno ovom Zakonu.
10. *Načelo poticanja* - Tijela državne uprave i jedinice lokalne samouprave i uprave, u skladu sa svojim nadležnostima, potiču djelatnosti i aktivnosti u svezi sa zaštitom okoliša koje sprječavaju ili smanjuju onečišćavanje okoliša, kao i zahvate u okoliš koji smanjuju uporabu tvari, sirovina i energije, te manje onečišćuju okoliš ili ga iskorištavaju u dopuštenim granicama.
11. *Načelo prava na pristup pravosuđu* - Svaka osoba (građanin i druga fizička, te pravna osoba, njihove skupine, udruge i organizacije) koja smatra da je njezin zahtjev za informacijom u pitanjima zaštite okoliša zanemaren, neosnovano odbijen, bilo djelomično ili u cijelosti, ili ako na njega nije odgovoreno na odgovarajući način, ima pravo na zaštitu svojih prava sukladno posebnom propisu o pravu na pristup informacijama.

Radi zaštite okoliša razvijeni su brojni **instrumenti zaštite okoliša** kojima se provodi politika zaštite okoliša. Koje će se instrumenti koristiti zavisi o tome za koju će se strategiju i opredijeliti.

Instrumenti (sredstva mjere) politike zaštite okoliša su razni zakoni, propisi, programi, porezi, norme te se mogu podijeliti u četiri osnovne skupine:

- regulacijski instrumenti
- ekonomski (tržišni) instrumenti
- samoregulacijski instrumenti
- institucionalni instrumenti

U idealnom smislu instrumenti politike zaštite okoliša trebali bi se temeljiti na kriterijima: političke realnosti, ekonomske i ekološke učinkovitosti, prilagodljivosti te pravednosti. Regulatorna je najviše korištena instrument politike zaštite okoliša. Šire definirana, regulatorna uključuje svaki pokušaj vlade da utječe na ponašanje poslovnih subjekata ili građana. Okolišni standardi utvrđuju granice ukupne koncentracije onečišćivača dopuštene na nekom području. Izbor instrumenata provedbe zaštite okoliša samo je djelomice tehničko pitanje za izbora instrumenata koji pruža najučinkovitije ili najkorisnije sredstvo za postizanje ciljeva zaštite.

Regulacijski instrumenti (zakoni, propisi, standardi) mogu se predstaviti kao pravna regulatorna kojoj je cilj izravno utjecati na zaštitu okoliša tako da sankcionira nepridržavanje propisa i zakona. Zakonskom regulatornom se utvrđuju:

1. ciljevi i strategije zaštite okoliša
2. standardi kakvoće ambijenta (zraka, vode, tla)
3. ograničenja u emisijama ili odlaganju otpadnih tvari,
4. standardi u procesu proizvodnje i standardi proizvoda
5. uspostava monitoringa na nacionalnom, lokalnom ili posebnom području

Ekonomski instrumenti definiraju se kao: naknade/porezi na emisije/ispuštanje onečišćujućih tvari u okoliš (na onečišćenja); korisničke naknade; naknade/porezi na proizvode; subvencije; utržive dozvole; prava ili kvote za onečišćenja; sustav povrata pologa i povrata sredstava i drugo. Uobičajeno korišteni instrumenti su: porezi, takse, naknade, naplate, tržišne kreacije (trgovanje dozvolama), pogodnosti i razni poticaji na smanjenje onečišćenja i druge.

Samoregulacijski instrumenti i ugovori zaštite okoliša su relativno novi čimbenici u politici zaštite okoliša. Kako bi se izbjegli problemi primjene naredbodavno-nadzornih i ekonomskih instrumenata, industrija i javne vlasti su kreirale dobrovoljne sporazume. Postoje brojni nazivi za njih kao što su: dobrovoljne inicijative, programi, kodeksi, smjernice, načela itd. Cilj dobrovoljnih sporazuma je poticanje pojedinih poduzeća, grupa i kompanija na poboljšanje njihove resursne učinkovitosti te na ekološko ponašanje i okolišne performanse kojima se ide dalje od pukog udovoljavanja postojećim ekološkim propisima i zakonodavstvu. Ovisno o stupnju interakcije kompanija i dionika, postoje 3 osnovna tipa dobrovoljnih sporazuma.

1. *Jednostrano opredjeljenje industrije* je vrsta sporazuma u kojoj je industrija "vlasnik" inicijative, ima isključivu odgovornost za upravljanje, uključujući monitoring, verifikaciju i funkciju javnog izvještavanja. Javne vlasti mogu službeno ili neslužbeno priznati dobrovoljne sporazume dok se nevladine organizacije ili javne grupe mogu konzultirati, ali sve odluke donose kompanija ili industrijsko udruženje.
2. *Dobrovoljne inicijative/programi koje donose vlade* su vrsta sporazuma u kojoj javne vlasti određuju što je potrebno mijenjati/poboljšati za okolišno djelovanje i postavljanje ciljeva koje industrija mora ispuniti. One pružaju nužnu strukturu i poticaje za sudjelovanje pojedinih tvrtki. Oni nisu zakonski obvezujući ili provedivi, i ne podrazumijevaju prijetnju uvođenja propisa ukoliko ciljevi nisu ostvareni.
3. *Sporazumi između industrije i javnih vlasti* obično uključuju neki oblik pregovaranja i podjelu odgovornosti upravljanja poput monitoringa i evaluacije. Sporazum se obično sastoji od određenih ciljeva koji se moraju ostvariti unutar određenog vremenskog okvira. Industrija se sporazumima i ugovorima obvezuje da će ostvariti dogovorene ciljeve i metode, a vlast se

može obvezati da će odgoditi uvođenje novih propisa ili zakonskih mjera, pružiti informacije, poticaje, tehničku pomoć te otkloniti tržišne barijere koje sprječavaju troškovnu učinkovitost.

Institucionalni instrumenti su prijeko potrebni za uspješnu provedbu cjelovite i sveobuhvatne politike zaštite okoliša, kao tehničko i organizirano sredstvo za osiguranje djelotvornosti. Za provedbu politike zaštite okoliša najvažnija je organizacija državne uprave, odnosno razgranata i stručno uspostavljena mreža organa vlasti odgovornih za upravljanje okolišem. Glavni institucionalni instrumenti su: organizirana mreža praćenja onečišćenja i stanja okoliša, adekvatan sustav ekološke informatike i statistike, ekološka edukacija stručnjaka i stanovništva, ekološka istraživanja antropogenih procesa i čistih tehnologija, mreže ekoloških organizacija građana, prostorno planiranje i međunarodna ekološka suradnja.

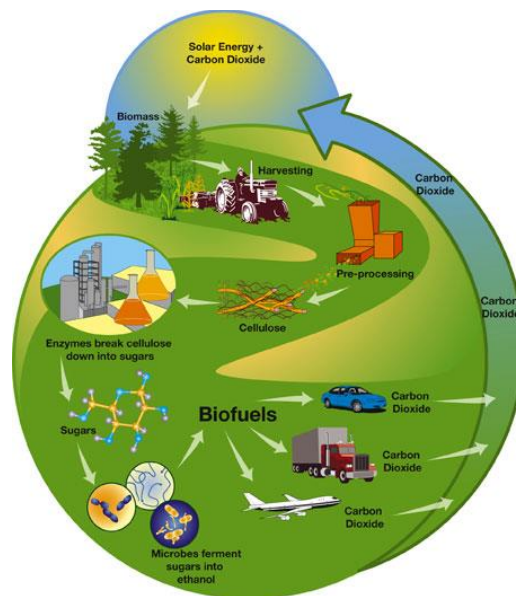
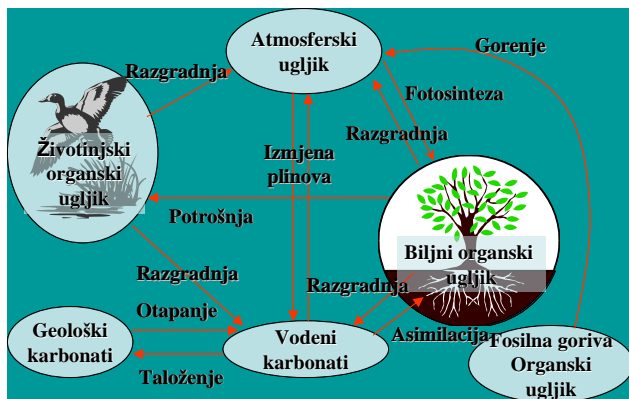
4. Ekoinženjerstvo i ekotehnologije

4.1. Ekoinženjerstvo kao znanstvena disciplina

Otkad su ljudi prvi put prepoznali da je njihovo zdravlje vezano uz kvalitetu svog okruženja, primijenili su principe u pokušaju poboljšanja kvalitete njihove okoline. Drevna indijska civilizacija koristila je kanalizaciju u pojedinim gradovima prije više od 5000 godina. Civilizacija doline Indus imala je naprednu kontrolu nad vodom. Javne strukture pronađene na određenim mjestima na ovom području uključuju bušotine, javne kupke, spremnike, sustav za pitku vodu i sustav gradnje kanalizacijskih sustava diljem grada. Imali su i raniju verziju sustava za navodnjavanje kanala koji su bili potrebni za njihovu veliku poljoprivrednu proizvodnju. Rimljani su izgradili akvadukte kako bi spriječili sušu i stvorili čistu, zdravu vodu za rimsku metropolu. U 15. stoljeću, Bavarska je napravila zakone kojima se ograničava razvoj i degradacija alpske zemlje koja je bila vodoopskrba regije.

Ekoinženjerstvo se pojavilo kao zasebna disciplina tijekom druge trećine 20. stoljeća kao odgovor na široku javnu zabrinutost zbog vode i onečišćenja, te sve veće degradacije kakvoće okoliša. Međutim, njegovi se korijeni vraćaju na rane napore u inženjerstvu javnog zdravstva. Moderno ekoinženjerstvo započelo je u Londonu sredinom 19. stoljeća kada je osmišljen prvi glavni kanalizacijski sustav koji je smanjio učestalost bolesti uzrokovanih vodom, poput kolere. Uvođenje obrade pitke vode i tretmana otpadnih voda u industrijskim zemljama smanjile su vodene bolesti od vodećih uzroka smrti. U mnogim slučajevima, kada je populacija rasla, akcije koje su bile namijenjene za postizanje dobrobiti za ta društva imaju dugoročni učinak koji smanjuje ekološke kvalitete. Jedan primjer je široko rasprostranjena primjena DDT pesticida za kontrolu poljoprivrednih nametnika u godinama nakon Drugog svjetskog rata. Dok su učinci za poljoprivrednu bili izvanredni, a prinosi usjeva dramatično su se povećavali, čime se znatno smanjila glad u svijetu, a malarija je bila kontrolirana bolje nego ikad, brojne su vrste bile na rubu izumiranja zbog utjecaja DDT-a na njihove reproduktivne cikluse. Priča o DDT-u, smatra se rođenjem modernog ekološkog pokreta i modernog polja ekoinženjerstva.

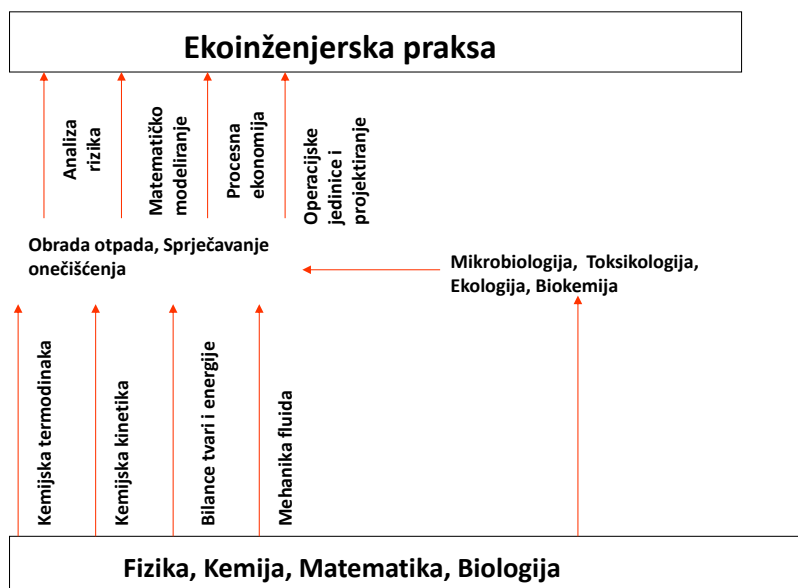
Ekoinženjerstvo je primjena znanstvenih i inženjerskih (tehničkih) načela, u svrhu smanjivanja štetnog utjecaja ljudskih aktivnosti na okoliš. Područje djelovanja ekoinženjerstva je razvoj i primjena "čistih"- za okoliš prihvatljivih tehnologija i rješenja, ne samo s minimalnim izlazom otpada nego s proizvodnjom biokompatibilnih nusprodukata i glavnih produkata. Samo tako je moguće spriječiti onečišćenja, a održati kvalitetu života čovjeka i drugih živih vrsta. Osnovno načelo ekoinženjerstva je održivi razvitak, a vizija ekoinženjerstva je kako mudrost biosfere primijeniti na nivo čovjekovih aktivnosti u tehnosferi (svjesna čovjekova tehnološka aktivnost). Na slici 4.1 je dan primjer kruženja ugljika u prirodi i kruženja CO₂ u industriji prilikom proizvodnje bioetanol. Naime sirovina za proizvodnju biogoriva je biljnog porijekla koja za svoj rast troši ugljični dioksid. Korištenje više procesa sirovina se obrađuje, te proizvodi biogorivo koji se koristi u prometu. Prilikom proizvodnje energije is tog biogoriva dobiva se CO₂ kojeg biljke koriste za rast. Na taj način kružni tok CO₂ je zatvoren.



Slika 4.1. Kružni tok CO₂ u prirodi i u industriji (preuzeto iz <https://whyfiles.org/2010/biofuel-advance/index.html>)

4.1.1 Znanja potrebna ekoinženjeru

Ekoinženjerstvo zahtijeva interdisciplinarno obrazovanje koje uključuje opća i posebna područja inženjerstva, te prirodne znanosti koje su nužne kao temelj tehnologiji, a obuhvaćaju znanja iz matematike, fizike, kemije i biologije (slika 4.2).



Slika 4.2. Interdisciplinarno obrazovanje potrebno ekoinženjeru

Koristeći interdisciplinarni pristup, ekoinženjer primjenjuje osnovna načela zakona očuvanja mase i energije na procese koji se odvijaju u interakciji s okolišem i u okolišu. Ekoinženjer primjenjuje i prati propise u zaštiti okoliša, za uspostavljanje i održavanje radne prakse i procedure prema važećim propisima iz specifičnog područja poslovanja i zaštite okoliša. To uključuje identifikaciju opasnosti i

procjenu rizika te razvijanje odgovarajućih procedura i modifikacije radne prakse s ciljem smanjenja rizika za zdravlje ljudi. U svrhu monitoringa sastavnica okoliša, analize ekoloških pokazatelja i kontrolu emisija onečišćujućih tvari u zrak, vodu i tlo razvija i koristi suvremene analitičke metode. Integriranim pristupom i korištenjem znanja iz područja kemije i kemijskog inženjerstva, ekoinženjer analizira procese te predlaže i primjenjuje inženjerska rješenja usmjerenih ka sprječavanju, smanjenju ili uklanjanju šteta u okolišu. Također razvija održive tehnologije što uključuje izbor materijala uzimajući u obzir smanjenje korištenja sirovina iz primarnih izvora, korištenje sekundarnih i obnovljivih sirovina, zamjenu opasnih tvari manje štetnima, a time i smanjenje štetnosti emisija.

U nastavku ovog poglavlja biti će dan opis pojedinih znanstvenih disciplina čija su osnovna znanja nužna za uspješan rad ekoinženjera.

Ekologija je znanstvena disciplina o raspodjeli i broju vrsta organizama. Cilj ekologije je proučavanje povezanosti između biljaka i životinja sa njihovom fizičkom i biološkom okolinom a ekologija se kao zasebna znanost razvila kao grana biologije. U tu svrhu proučava i definira sve faktore koji mogu utjecati ili utječu na život živih organizama u njihovoj prirodnoj okolini. Ekologija je kompleksna disciplina te usko surađuje s drugim disciplinama poput hidrologije, klimatologije, oceanografije, kemije, geologije i mnoge druge kako bi istražila svoje ciljeve. Početak moderne ekologije obično se povezuje sa Charlesom Darwinom i njegovom teorijom evolucije i prirodne selekcije gdje je između ostalog ukazao na čvrstu povezanost između životinja i njihovog prirodnog staništa. Ta čvrsta povezanost se često narušava od strane ljudi koji smatraju da zemlja ima jedinu svrhu da služi njima u udovoljavanju njihovih potreba, a u čije planove obično ne ulazi i briga za životinje i biljke koje su prije živjele na mjestima koje su ljudi zauzeli i prilagodili svojim potrebama

Haeckel je poznat kao osnivač ekologije te je definira kao ekonomiju prirode, istraživanje totalnih odnosa organizama prema organskoj i neorganskoj okolini i kao učenje o kompleksnim međuodnosima koji su uvijek borbe za opstanak.

Ekologija ne rješava probleme u okolišu, ona ih samo detektira. U tu svrhu se bavi slijedećim bitnim problemima:

- veličinskim i vremenskim odnosima među živim organizmima
- prijenosom tvari i energije unutar i između ekosustava
- interakcijama i granicama rasta populacija i životnih zajednica u kompeticiji za resursima
- pojavom i brojnost vrsta, populacija i zajednica
- heterogenošću populacija i biodiverzitetom u odnosu na vrijeme i na prostor
- strukturom bioloških zajednica
- tokovima i posljedicama evolucije uslijed specijskih interakcija
- evolucijom životnih ciklusa i drugim pojavama u ekosustavima

Toksikologija je znanost koja se bavi štetnim utjecajima kemikalija na organizme i s interakcijom tih tvari na organizme, te se popularno naziva i "znanost o otrovima". "Biti otrovan" znači da je tvar narušila fiziološku ravnotežu do te mjere da stanje organizma više nije zdravo, tj. "organizam postaje bolestan". Otrov je za neko živo biće svaka tvar ili smjesa tvari koja kod određene jednokratne doze ili kod kroničnog uzimanja određenih doza tijekom nekog perioda, izaziva bilo kakva štetna, prolazna ili neprolazna, oštećenja tog organizma.

Ciljevi toksikologije su:

- odrediti toksična svojstva kemikalija
- provoditi znanstvena istraživanja u cilju povećanja znanja o toksičnim svojstvima kemikalija
- istražiti rizik kemikalija na organizme u odnosu na koncentracije u kojima su te tvari prisutne u okolišu (*risk estimation*)
- ukazati društvu na potrebu stalne kontrole i zaštite od štetnih utjecaja kemikalija

Toksičnost je osobina neke tvari da izazove neki učinak u organizmu. Najjednostavnije je odrediti smrtnost, ali to je najgrublji parametar.

Subletalni učinak se definira kao biološki, fiziološki, demografski ili bihevioralni učinak na pojedince ili populacije koji preživljavaju izloženost otrovima u određenim dozama. Subletalni učinci mogu se očitovati kao smanjenje životnog vijeka, stope razvoja, rast populacije, plodnost, promjene u omjeru spolova, deformacije, promjene ponašanja itd. Subletalni učinak izazivaju mikro količine otrovnih tvari, koje neprekidno, duže vrijeme, u malim količinama dospijevaju u organizam iz biosfere, kao npr. otpadne vode, dimovi iz industrije, sagorijevanje goriva, otpaci iz kućanstva...

Akutna oralna toksičnost tvari mjeri se za određivanje učinaka na zdravlje koji se mogu pojaviti nakon jednog unošenja tvari. Ako je tvar akutno toksična nakon unosa oralnim putem, može izazvati ozbiljne učinke na zdravlje, uključujući smrt. Postoje različiti stupnjevi akutne oralne toksičnosti prema masi tvari potrebne da izazovu smrtni učinak:

- "ekstremno toksični" spojevi – nekoliko $\mu\text{g}/\text{kg t.m}$
- "vrlo toksični" spojevi – nekoliko $\text{mg}/\text{kg t.m}$.
- "umjereno toksični" spojevi – par stotina $\text{mg}/\text{kg t.m}$.
- "slabo toksični" spojevi – nekoliko $\text{gr}/\text{kg t.m}$.
- "ne toksični" spojevi – 5 gr i više / kg t.m

Najčešće toksične tvari su lijekovi, aditivi hrane, industrijske kemikalije, zagađivači okoliša, prirodni toksini i otrovi u kućanstvu

Toksikologija se dijeli na kliničku toksikologiju (humana, veterinarska, farmaceutska - pronalaze adekvatne protuotrove; homocidi - podskupina pesticida - ubijaju ljude), koja se bavi akutnim trovanjem ljudi ili životinja, toksikologiju u medicini rada (uvjeti na radnom mjestu - loša zaštita na radu: majke u tvornici olovnih akumulatora; kemijska industrija; kemijska izrada pesticida i bojnih otrova), toksikologiju hrane (sanitarna inspekcija za konzerviranje; aditivi u hrani; pesticidi) i ekotoksikologiju (okolišna toksikologija).

Ekotoksikologija se bavi malim (subtoksičnim) koncentracijama onečišćivala u okolišu, koje su prije smatrane nevažnima, tako da se radi o relativno mladoj znanosti. U kasnim 60-tim, Rene Truhaut je upotrijebio izraz *ekotoksikologija* za opis istraživanja toksičnog djelovanja kemijskih tvari na okoliš. Truhaut je definirao ekotoksikologiju 1977. kao granu toksikologije koja je usredotočena na istraživanje toksičnih učinaka nastalih kao posljedica prisutnosti prirodnih ili umjetno stvorenih štetnih tvari (zagađivala) na ljude, životinje, biljke, mikroorganizme i sve ostale sastavne dijelove ekosustava, u jednom cjelovitom kontekstu. Ekotoksikologija je multidisciplinarna znanost koja

proizlazi i uključuje brojna područja drugih znanosti kao što su kemija, toksikologija, farmakologija, epidemiologija, ekologija i druge.

Ekotoksikologija se bavi proučavanjem kako se u organizmu metaboliziraju otrovne kemikalije, kako se kreću kroz hranu i ekosustave, te smrtonosne i subletalne učinke koje imaju na vrste. U tu svrhu provode ispitivanja na laboratorijskim životinjama i ljudskim stanicama kako bi se odredili toksični učinci. Također prati promjene u populaciji na svim razinama ekosustava koji su bili izloženi zagađivačima. Provodi testiranja ekotoksičnosti i procjenu rizika na nove kemikalije prije puštanja na tržište, kako bi se osiguralo da neće uzrokovati nepovoljne učinke. Ekotoksikolozi okoliša također surađuju s lokalnim i državnim tijelima, te razvijaju i provode zakone koji reguliraju proizvodnju, uporabu i odlaganje kemikalija.

Kemija okoliša je znanost o kemijskim i biokemijskim pojavama koje dešavaju u prirodi. Proučava izvore, utjecaje i reakcije kemijskih spojeva koji se dešavaju u zraku, tlu i vodi i kako na njih utječu ljudske aktivnosti. Kemija okoliša je znanost povezana sa okolišem i drugim područjima znanstvenog svijeta. Kemija okoliša je interdisciplinarna znanost koja uključuje atmosfersku kemiju, te kemiju voda i tla pri čemu se uvelike oslanja na analitičku kemiju i usko je povezana sa ekologijom kao i drugim područjima znanosti.

Kod kemije okoliša moramo prvo utvrditi kako nezagađeni okoliš funkcionira. Koje kemikalije i u kojim koncentracijama su prirodno prisutne, kao i koja je njihova svrha u prirodi. Bez tog znanja nemoguće je utvrditi koji učinak ima djelovanje čovjeka na okoliš prilikom ispuštanja kemikalija. Za navedeno je nužno poznavanje cijelog raspona znanja od kemije do različitih znanosti o okolišu da bi se utvrdilo što se dešava sa kemijskim spojevima u okolišu.

Kemičar okoliša kao pojmove razlikuje onečišćenje i zagađenje koje uzrokuju onečišćivači odnosno zagađivači. *Onečišćivač* je tvar koja se nalazi u prirodi zbog ljudske aktivnosti, ali bez štetnog utjecaja na nju, dok je *zagađivač* onečišćivač koja ima štetan utjecaj na okoliš u kojem se nalazi. Ponekad toksična ili štetna svojstva nekih onečišćivača izađu na vidjelo puno kasnije.

Zagađivači se dijele u tri skupine:

1. jednostavni ili složeni spojevi koji se mogu biološki razgraditi do osnovnih netoksičnih spojeva
2. spojevi koji se u biosferi ne mogu razgraditi ili se sporo razgrađuju
3. otrovne tvari (metali, pesticidi, radioaktivne tvari, spojevi koji se koriste u industriji i poljoprivredi)

Jedan od glavnih izazova kemije okoliša jest određivanje prirode i količine onečišćujućih tvari u okolišu. Dakle, kemijska analiza je ključni prvi korak u istraživanju kemije okoliša. Analize mnogih zagađivača okoliša može biti izrazito zahtjevna. Naime značajne razine onečišćivača zraka mogu se sastojati od manje od mikrograma po kubičnom metru zraka. Za mnoge onečišćivače vode, jedan ppm (1 miligrama po litri) je vrlo visoka vrijednost. Ekološki značajne razine nekih onečišćujućih tvari mogu biti samo nekoliko dijelova po trilijunu. Dakle, očito je da kemijske analize koje se koriste za proučavanje nekih sustava zaštite okoliša zahtijevaju vrlo nisku granicu detekcije. Međutim, kemija okoliša nije isto što i analitička kemija, koja je samo jedna od mnogih poddisciplina koje su uključene u kemiju okoliša.

Važni opći koncepti koje kemičar okoliša mora poznavati su sastav okoliša, te kemijske reakcije i fizičke promjene koje se dešavaju u prirodi.

Tako je za *kemiju voda* potrebno znanje kemijskog sastava i fizikalnih svojstava vode, uključujući ulogu vezanja vodika, gustoće, saliniteta u temperature u upravljanju vodenim sustavima. Također je bitan ciklus ugljika u vodi, oksidacijske / redukcijske reakcije, adsorpcijski procesi, te procesi taloženja, te razumijevanje kružnog toka vode između površinskih i podzemnih voda, te kemijsko/fizikalne interakcije koje se dešavaju između njih.

Za *kemiju zraka* bitno neophodno poznavanje atmosferskih slojeva, osnove fotokemije, te informacije o transportu, transformaciji i izmjeni procesa između atmosfere i biosfere. Pored navedenog u okviru kemije zraka istražuju se atmosferski zagađivači kao i njihovi izvori, te reakcije koje uzrokuju u zraku kao npr. mehanizam stvaranja ozona, te heterogene atmosferske reakcije koje isti uzrokuje.

Kemije tla se bavi proučavanjem kemijskih svojstava čvrste i tekuće faze tla, odnosno mineralnog i organskog sastava tla. Ispituje ulogu pH i organskih tvari i kako bi se objasnila adsorpcija i transport određenih onečišćenja.

Organska kemija. Ekoinženjer mora imati temeljna znanja iz područja organske kemije. U tom smislu nije nužno da usvoji načine pripreme organskih spojeva, te iskorištenja. Mora poznavati kako organski spojevi reagiraju u atmosferi, tlu, vodi, reaktorima za obradu, pogotovo kada služe kao izvor energije za žive organizme.

Organska kemija bavi se spojevima ugljika. Smatra se da je znanost organske kemija potekla iz 1685. godine s objavom kemijske knjige koje klasificiraju tvari prema njihovom podrijetlu kao mineral, povrće ili životinje. Spojevi izvedeni iz biljaka i životinja postali su poznati kao *organski*, dok oni izvedeni iz neživih izvora bili su *anorganski*. Do 1828. vjerovalo se da se organski spojevi formiraju isključivo živim organizmima. Navedena hipoteza o životnoj sili u tvarima dobivenima iz živih organizama i u samim organizmima, tzv. vitalistička teorija je ograničila razvoj organske kemije. 1828. je slučajno otkriveno da se zagrijavanjem amonijev cijanat koji je anorganski spoj, transformira u ureu, spoj koji se smatra prirodnim. Ovo otkriće je pobilo vitalističku teoriju te je do 1850. moderna organska kemija postala važna znanstvena disciplina. Danas je poznato oko 13 milijuna organskih spojeva. Mnogi od njih su proizvodi sintetičke kemije, a slični spojevi nisu poznati u prirodi. Oko 70.000 organskih spojeva je u komercijalnoj uporabi.

Kako bi se razumjelo djelovanje organskih spojeva u okolišu nužno je poznavati građevne jedinice organskih molekula. Navedeno uključuje atome i kemijske veze koje ih povezuju. Većina poznatih prirodnih i sintetičkih (umjetnih) organskih spojeva kombinacija je samo nekoliko elemenata, ugljika (C), vodika (H), kisika (O), dušika (N) sumpora (S), fosfora (P) i halogena kao što su fluor (F), klor (Cl), brom (Br) i jod (I). Glavni razlog za gotovo neograničen broj stabilnih organskih molekula koje se mogu graditi iz ovih nekoliko elemenata je sposobnost ugljika da tvori četiri stabilne veze ugljik-ugljik. To omogućuje različite vrste trodimenzionalnih ugljikovih struktura, čak i kada su atomi ugljika vezani za heteroatome (tj. na elemente koji nisu ugljik i vodik). Unatoč iznimno velikom broju postojećih organskih kemikalija, poznavanje nekoliko ključnih pravila o prirodi elemenata i kemijskih veza prisutnih u organskim molekulama omogućava razumijevanje važnih odnosa između strukture određenog spoja i njegovih svojstava i reaktivnosti, te određuju ponašanje spoja u okolišu.

Svojstva organskih spojeva općenito se značajno razlikuju od anorganskih spojeva, a najvažnije razlike su slijedeće:

1. Organski spojevi su obično zapaljivi.
2. Organski spojevi imaju niže talište i točke vrenja.
3. Organski spojevi su uglavnom slabo topivi u vodi.
4. Organski spojevi mogu imati istu kemijsku formulu, a različitu strukturu. Ovakvi spojevi se nazivaju izomeri.
5. Reakcije organskih spojeva obično su molekularne, a ne ionske, te su kao takve često vrlo spore.
6. Molekulske mase organskih spojeva mogu biti vrlo visoke, često i preko 1000.
7. Većina organskih spojeva može poslužiti kao izvor hrane za bakterije.

Organski spojevi se generalno dobivaju na tri načina:

1. Prirodnim biokemijskim procesima: vlakna, biljna ulja, životinjska ulja i masti, alkaloidi, celuloza, škrob, šećeri itd.
2. Organska sinteza: širok spektar spojeva i materijala pripremljenih kemijskim proizvodnim procesima.
3. Fermentacija: alkoholi, aceton, glicerol, antibiotici, kiseline i slični proizvodi koji su dobiveni djelovanjem različitih mikroorganizama koji kao supstrat koriste organske spojeve.

Otpad koji nastaje preradom prirodnih organskih materijala, te iz sintetske organske i fermentacijske industrije čine značajan dio problema industrijskog i opasnog otpadom kojeg inženjeri i znanstvenici iz područja zaštite okoliša moraju riješiti.

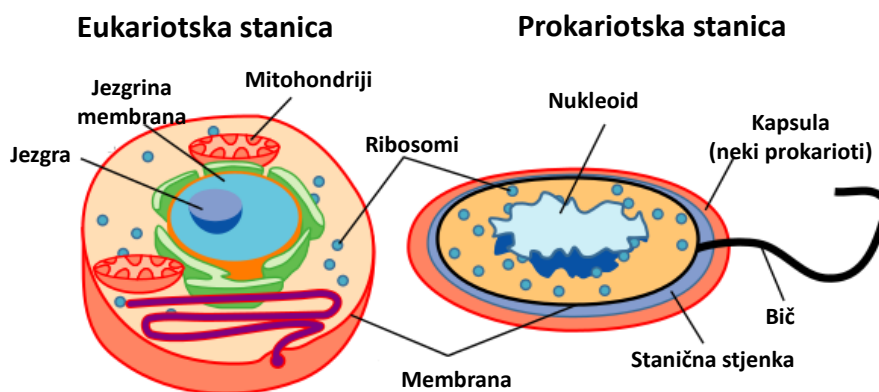
Mikrobiologija je grana biologije koja se bavi proučavanjem mikroorganizama, u koju spadaju jednostanični i višestanični organizmi. Mikroorganizmi nisu vidljivi bez pomoći mikroskopa jer su manji od 70-100 μm . Kao jedna od bioloških znanosti mikrobiologija se odvojila od biologije u zasebnu znanstvenu disciplinu i za svoj predmet izučavanja uzela je mikroorganizme, kao ravnopravne članove životne zajednice na našoj planeti, koju sačinjavaju biljke, životinje i mikroorganizmi. Ona se bavi proučavanjem materijala, životne aktivnosti, uvjeta razvoja i drugih pojava i zakona na kojima počiva život mikroorganizama u prirodnom i umjetnom okruženju. Mikrobiološke znanosti, kao što su industrijska mikrobiologija, medicinska mikrobiologija, veterinarska mikrobiologija, poljoprivredna mikrobiologija i mikrobiologija okoliša, određene su ciljevima istraživanja. Mikrobiologija okoliša istražuje mikroorganizme u svim dijelovima biosfere tj. u litosferi, hidrosferi i atmosferi. Mikrobiologija sustava zaštite okoliša traži praktične ciljeve kao što su:

- Razvoj biotehnologija za mikrobiološku obradu vode, otpadnih voda, krutog otpada, tla i plina.
- Razvijanje metoda za sprječavanje epidemija zaraznih bolesti uzrokovanih onečišćenje vode, tla i zraka.
- Razvoj metoda za praćenje i kontrolu sustava zaštite okoliša.

Postizanje takvih praktičnih ciljeva nije moguće bez proučavanja nekih općih značajki mikrobiologije okoliša kao što su:

- Klasifikacija i identifikacija mikroorganizama.
- Fizičke, kemijske i biološke interakcije između mikroorganizama i makroorganizama.
- Fizičke i kemijske interakcije mikroorganizama i okoliša.
- Biokemijske, fiziološke i stanične prilagodbe, kao i sustavi regulacije u mikrobiološkim sustavima.

Mikroorganizmi kojima se bavi mikrobiologija su bakterije (prokarioti), mikroskopske gljive, mikroskopske alge, protozoe i drugi mikroskopske organizme kao što su virusi. Svi živi organizmi sastavljeni su od stanica. Prokariotske (slika 4.3) stanice su relativno jednostavne u strukturi, te nemaju jezgru omotanu membranom. Najčešći oblici stanice su sferni i štapićasti. Eukariotska struktura stanica (slika 4.3) je složenija jer sadrži organele koji služe kao dijelovi za posebne metaboličke funkcije.



Slika 4.3 Prokariotska i eukariotska stanica (preuzeto iz <https://www.thoughtco.com/types-of-cells-1224602>)

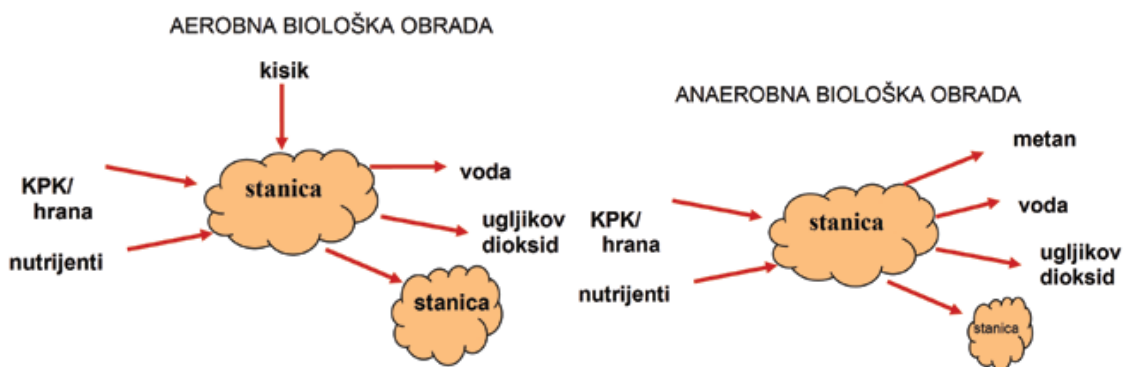
Cilj mikrobiologije u ekonženjerstvu je razvoj procesa pročišćavanja voda, otpadnih voda, krutog otpada, tla i plina korištenjem mikroorganizama. Mikrobiološke sinteze odnosno biosintetički procesi su također predmet izučavanja u ekonženjerstvu. Oni obuhvaćaju fermentacijske procese odnosno procese pretvorbe šećera u korisne proizvode pomoću mikroorganizama. U kontroliranim uvjetima moguće je korištenjem mikroorganizama proizvesti širok spektar proizvoda od jeftinih organskih do vrlo skupih finih kemikalija: etanol, L-glutaminska kiselina, limunska kiselina, L-lizin, mliječna kiselina, vitamin C, glukonska kiselina, antibiotici, dekstran, vitamin B12 itd.

Značajna primjena mikrobiologije u ekonženjerstvu je u biološkoj obrada voda koja obuhvaća biološke postupke u kojima se djelovanjem mikroorganizama uklanjaju otopljeni organske i anorganske tvari, te suspendirane čestice. U tu svrhu, ovisno o podrijetlu otpadnih tvari, za njihovo uklanjanje primjenjuju se biološki aerobni i anaerobni postupci temeljeni na različitom odnosu mikroorganizama prema otopljenom kisiku. Mikroorganizmi se svrstavaju u grupe, ovisno o potrebi za kisikom:

- aerobni mikroorganizmi - rastu uz prisustvo kisika iz zraka
- anaerobni mikroorganizmi - ne mogu rasti u prisustvu kisika iz zraka
- fakultativno anaerobni mikroorganizmi- mogu rasti u prisustvu ili odsustvu kisika iz zraka
- mikroaerofilni mikroorganizmi - mogu rasti pri vrlo niskim koncentracijama kisika iz zraka

S obzirom na takvu podjelu mikroorganizama razlikujemo aerobne i anaerobne biološke postupke obrade otpadne vode (slika 4.4). Biološki postupci uklanjanja sastojaka iz otpadne vode su:

- biooksidacija - biološki postupak u kojem mikroorganizmi uz prisutnost kisika razgrađuju otopljene organske sastojke, koje koriste kao hranjive tvari za rast i razmnožavanje, a kao produkt razgradnje nastaje voda i ugljikov dioksid.
- nitrifikacija - dvostupanjski aeroban postupak obrade u kojem se odvija oksidacija amonijaka u nitrat preko nitrita. Ugljikov dioksid i amonijak nastaju u otpadnoj vodi hidrolizom složenih organskih spojeva, kao što su bjelančevine ili aminokiseline ili je amonijak produkt samog procesa respiracije stanične biomase.
- denitrifikacija - anaeroban proces redukcije nitrata u plinoviti dušik
- postupci uklanjanja fosfata - mikroorganizmi u aerobnom uvjetima akumuliraju fosfor u obliku polifosfata. U anaerobnim uvjetima ih, zatim, otpuštaju, koji se, pri dovoljno visokim vrijednostima pH talože.
- anaerobna obrada nastalog mulja - otpadnog mulja je nusprodukt biološke obrade otpadnih voda. Svrha obrade mulja je smanjenje njegove količine i troškova zbrinjavanja. Anaerobnom razgradnjom pomoću mikroorganizama se stabilizira otpadni mulj i proizvodi bioplin, obnovljivi izvor energije.



Slika 4.4. Princip i produkti kod aerobne i anaerobne biološke obrade otpadnih voda

Bilance tvari i energije se temelje na zakonu o održanju mase i energije. *Zakon o održanju mase* glasi da se masa ne može proizvesti ni uništiti - to jest, masa je sačuvana. Jednako je temeljni *zakon o očuvanju energije*. Iako se energija može promijeniti u obliku, ne može se stvoriti niti uništiti. Ovi zakoni omogućavaju da se unutar bilo kojeg ekosustava može izračunati protok mase i energije unutar i iz tog sustava.

Zakon o održanju mase je važan alat u kvantificiranju onečišćivala koje se odlaže u okoliš, te je ujedno i važan podsjetnik da onečišćivalo mora negdje otići te da moramo biti oprezni pristupima koji ih samo prenose iz jednog medija u drugi. Na isti način zakon o održanju energije je važan računalni alat sa specijalnim utjecajem na okoliš. Kada ga se udruži sa drugim termodinamičkim principima, može biti izrazito koristan za mnoge primjene, kao što su studije globalne klimatskih promjena, termalna onečišćenja i disperzija onečišćivala zraka. Ova dva zakona fizike pružaju osnovu za dva alata koji se rutinski koriste u ekoinženjerstvu – bilanci tvari i energije.

Kod procjene količine onečišćenja načelo očuvanja mase je iznimno korisno. To znači da ako se količina onečišćivala negdje (npr. u jezeru) povećava, onda to povećanje mora imati i uzrok.

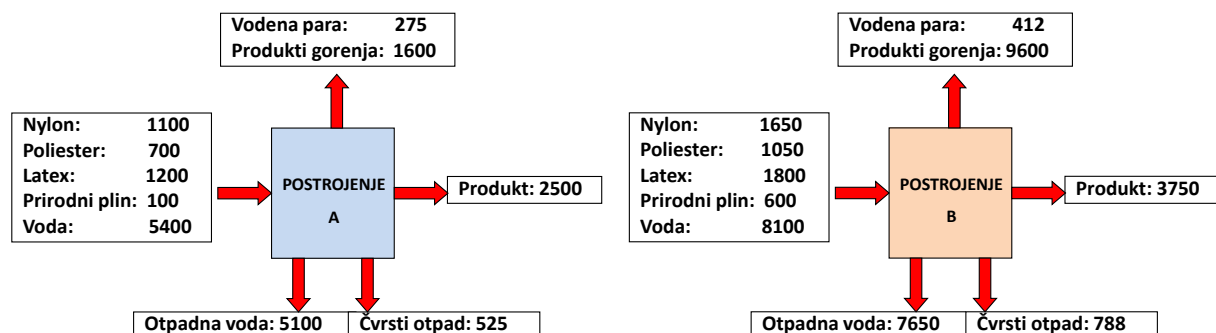
Onečišćivač je morao biti unesen u jezero ili proizveden kemijskom reakcijom iz drugih spojeva koji su već bili u jezeru. A ako su kemijske reakcije dovele do porasta masenog udjela određenog onečišćivala, one su također morale uzrokovati odgovarajuće smanjenje mase nekih drugih spojeva. Dakle, očuvanje mase omogućuje da se napravi proračun mase onečišćivala u jezeru. Pomoću ovakvih proračuna moguće je pratiti količine onečišćivala koje se unose u jezero, ostaju u jezeru ili količinu koja se stvara ili reagira kemijskom reakcijom. Taj se proračun može uravnotežiti za određeno vremensko razdoblje.

Suvremeno društvo ovisi o korištenju energije. Takva uporaba zahtijeva transformacije u obliku energije i kontrole protoka energije. Na primjer, kada se ugljen spali u elektrani, kemijska energija prisutna u ugljenu pretvara se u toplinu koja se zatim u generatorima postrojenja pretvara u električnu energiju. Na kraju, električna energija se vraća natrag u toplinu ili se koristi za okretanje motora. Međutim, tokovi energije i njezine transformacije također su uzrok problema okoliša. Toplinska energija iz elektroenergetskih postrojenja može rezultirati povećanjem temperature u rijekama koje se koriste za hlađenje vode; staklenički plinova u atmosferi mijenjaju energetska ravnotežu zemlje i mogu uzrokovati značajno povećanje globalnih temperatura u budućnosti; i mnoge od naših načina korištenja energije su same povezane s emisijama onečišćujućih tvari. Kretanje energije i promjene u svom obliku se računaju pomoću bilance energije, kojoj je temelj zakon o očuvanju energije koji kaže da energija ne može biti niti proizvedena niti uništena. Ovaj zakon se naziva i prvim zakonom termodinamike .

Bilance tvari i energije su vrlo važne u industriji. Bilanca tvari je temelj za kontrolu procesa, posebno u kontroli iskorištenja na željenom produktu. U razvoju procesa određuju se prve bilance tvari, te se poboljšavaju tijekom izrade pilot postrojenja i testiraju kako bi omogućili kontrolu procesa u velikom mjerilu. Ukoliko dođe do bilo kakvih promjena u procesu nužno je ponovno postaviti bilancu tvari.

Sve veći trošak energije izazvao je industrije da istražuju načine za smanjenje potrošnje energije u procesu. Bilance energije koriste se postavljaju za različite faze procesa, za cijeli proces, te za ukupni proizvodni sustav koji uključuje korake od sirovine do gotovog proizvoda.

Na slici 4.5. je dan prikaz dva procesa za proizvodnju polimera. Na temelju postavljenih bilance tvari izračunate su mase produkta, te sporednih produkata i energije. Svaki proces na izlazu ima određenu količinu otpadnih voda i čvrstog otpada. U procjeni koji proces je prihvatljiviji za okoliš pored otpada se treba uzeti obzir i količina nastalog produkta.



Slika 4.5. Prikaz dva industrijska procesa za proizvodnju polimera

4.2. Ekotehnologije

Tehnosfera je rezultat tehnologije koja uključuje postupke koje ljudi koriste za stvaranjem novih stvari korištenjem materijala i energije. Tehnologije su ovisno o sadržaju:

- oruđa i strojevi (mašine) koje pomažu rješavanju problema;
- tehnike (znanja) koja uključuju metode, materijale, oruđa i procese za rješavanje problema (npr. tehnologije građenja ili medicinske tehnologije);
- aktivnosti koje tvore kulturu (npr. proizvodne tehnologije, infrastrukturne tehnologije (ceste), ili svemirske tehnologije
- primjena postojećih informacija u rješavanju problema (znanje, vještine, procesi, načini, oruđa, sirovine)

U suvremenom dobu, tehnologija je u velikoj mjeri proizvod temeljen na znanstvenim načelima. Znanost se bavi otkrivanjem, objašnjenjem i razvojem teorija koje se odnose na međusobno povezane prirodne pojave energije, materije, vremena i prostora. Temeljem temeljnog znanja o znanosti, tehnologija pruža planove i sredstva za postizanje konkretnih praktičnih ciljeva.

Tehnologija ima dugu povijest te seže u prapovijest do vremena kada su ljudi koristili primitivne alate izrađene od kamena, drveta i kostiju. Naseljavanjem ljudi u gradove tehnologija se počinje ubrzano razvijati. Tehnološki napredak kojem prethodi rimsko doba uključuje razvoj metalurgije, počevši od bakra oko 4000 godina prije Krista, pripitomljavanje konja, otkriće kotača, arhitektura kako bi se omogućila izgradnja zgrada, kontrola vode za kanale i navodnjavanje, te pisanje za komunikaciju. Grčki i rimski period obilježili su razvoj strojeva poput vitla, remena, vijaka, katapulta za bacanje raketa i vodeni vijak za pokretanje vode. Kasnije se razvio vodeni kotač pomoću kojeg se dobivala snaga. Mnoge tehnološke inovacije poput tiskanja korištenjem drvenih blokova počinju oko 740. godine, te stoljeće kasnije otkriće baruta u Kini. Dalji razvoj tehnologije je bio obilježen tehnološkim razvojnim fazama, u kojima su nastajali mnogobrojni oblici proizvodnih snaga, a takva razdoblja nazivamo tehnološkim revolucijama, jer su obilježene nastankom posebnih, specifičnih, novih tehnologija koje imaju veliku važnost u svim područjima ljudskog života. Otkrićem parnog stroja i nafte počeo je ubrzani tehnološki razvoj u svijetu, a zadnjih dvjesto godina u skladu s tim i broj ljudi na Zemlji se povećao za oko sedam puta. Postoji pet tehnoloških revolucija koje imaju svoja obilježja. U prvoj tehnološkoj revoluciji najznačajniji je bio izum parnog stroja, kojeg je izumio James Watt 1764. godine te su: željeznice, konzerve, automati, Davyeva svjetiljka, Brailleovo pismo, parobrod, bicikl s pedalama, telegraf itd. neka od dostignuća ovog perioda. U drugoj tehnološkoj revoluciji uvodi se masovna proizvodnja, primarno mjesto imaju stručnjaci koji sudjeluju u svim fazama složenih sredstava za rad. Širenje željeznica, izum aviona, telefon, i mehanizacija značajna su dostignuća druge tehnološke revolucije. U proizvodnji se pojavljuju prvi strojevi na električni pogon, a mobilnost ljudi dovodi do pojave prve globalizacije. Treća tehnološka revolucija naziva se još i digitalna revolucija, a značajna je upravo po izumu računala, mikroskopa, robota, televizora, elektronike. Ona je započela 1950. godine i još uvijek traje. Najvažnija obilježja četvrte tehnološke revolucije su umjetna inteligencija, umjetna goriva, umjetne sirovine, biočip, a ona nam i prije 2020. godine donosi napredne robote i biotehnologiju. Smatra se da smo danas u procesu nastanka pete tehnološke revolucije.

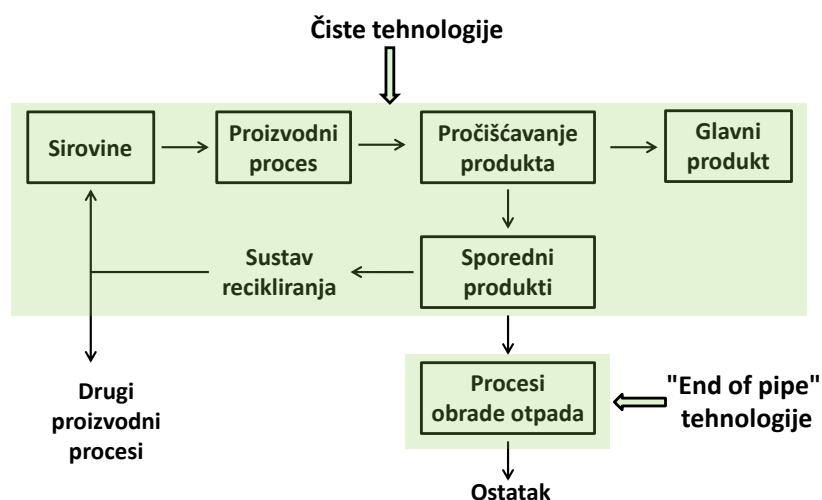
Do nedavno, tehnološki napredci su u velikoj mjeri napravljeni bez pozornosti na utjecaj na okoliš. Sada, međutim, najveći tehnološki izazov je pomiriti tehnologiju s posljedicama po okoliš. Opstanak

čovječanstva i planeta sada zahtijeva da uspostavljena dvosmjerna interakcija između znanosti i tehnologije postane trostrani odnos, uključujući zaštitu okoliša.

Tehnologije zaštite okoliša, **ekotehnologije**, su tehnološka rješenja ekoloških problema i ublažavaju utjecaj proizvodnje na okoliš. Tehnologije zaštite okoliša koriste se u sektorima kao što su industrija, poljoprivreda, usluge i transport.

Općepoznato je da su preventivne mjere za sprječavanje nepoželjnih posljedica najsigurnije, najefikasnije i na kraju, cjelovito gledajući, najjeftinije. Stoga kod zaštite okoliša treba već na početku tehnološkog procesa primjenjivati suvremena tehnološka rješenja koja onemogućuju nastajanje otpada i štetnih emisija, te umanjenu količina otpada nastalog u procesu proizvodnje vraćati u proizvodni proces procesom recikliranja. Tehnologije koje omogućuju takvu integralnu zaštitu okoliša zovu se **nezagađujuće, čiste ili bezotpadne** tehnologije (slika 4.6).

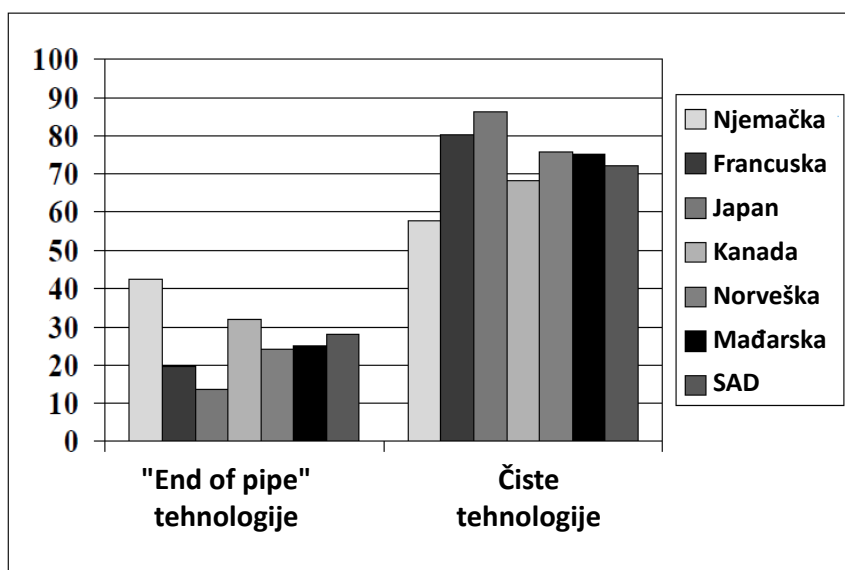
Takav način zaštite okoliša ne karakterizira većinu današnje tehnologije, već se štetne emisije nastale u proizvodnim tehnološkim procesima uklanjaju nakon što su nastale korištenjem dodatnih uređaja za pročišćavanje. To se naziva aditivna zaštita okoliš, a tehnologije koje se koriste "**end of pipe**" tehnologije (slika 4.6). Nedostaci takvog načina zaštite okoliša su djelomična zaštita okoliša te neracionalno korištenje prirodnih energetske i sirovinskih resursa.



Slika 4.6. Shematski prikaz ekotehnologija u kemijskoj procesnoj industriji

Tehnološka unaprjeđenja u svrhu zaštite okoliša u kemijskoj industriji ovise o izvoru onečišćivača koji može biti glavni produkt ili sporedni produkt. U slučaju kada glavni produkt uzrokuje degradaciju okoliša, sam produkt mora biti promijenjen. Jedan od primjera su freoni koji su zamijenjeni sa drugim kemijskim tvarima. Kada je sporedni produkt proizvodnog procesa uzrok zagađenja postoje općenito dva tehnološka pristupa: čiste tehnologije i "end of pipe" tehnologije. Tradicionalno je uzrok onečišćenja okoliša u kemijskoj procesnoj industriji je u većini slučajeva sporedni produkt. "End of pipe" tehnologije imaju za cilj ukloniti ili transformirati otpad nastao u proizvodnom procesu. U osnovi to su tehnologije pročišćavanja kontaminiranog plina, vode i krutih tvari koje se samo nadodaju na kraju proizvodnog procesa te se bave isključivo sporednim produktima, bez uplitanja u glavni proizvodni proces, te ne utječu na sastav glavnog produkta. Ove tehnologije imaju široku primjenu u kemijskoj industriji te se uglavnom koriste za obradu otpadnog zraka i vode i čvrstog

otpada. Obzirom da "end of pipe" tehnologije ne utječu na glavni proces, te su instalirane isključivo na kraju postojećeg proizvodnog postrojenja, njihovi operativni troškovi se jednostavno nadodaju izlaznim proizvodnim troškovima, što u konačnici rezultira porastom ukupnih troškova. Čista tehnologije su procesi u kojem se gotovo ne proizvodi otpad, te sve sirovine ugrađene u krajnji proizvod. Karakteristike čiste tehnologije su slijedeće: minimalna upotreba vode, bez otpadnih voda, minimalna potrošnja energije, ekonomična upotreba sirovina i nema otpada. Cilj čistih tehnologija je eliminirati stvaranje onečišćivača unutar proizvodnog procesa, što iziskuje promjenu glavnog proizvodnog procesa. To prvenstveno uključuje istraživanje na novim rutama u kojima je spriječeno nastajanje onečišćivala. Promjenom sirovina okolišno neprihvatljivi sporedni produkti mogu postati druge korisne tvari ili sirovine za druge proizvodne procese. Različiti tipovi čistih tehnologija se razvijaju i koriste u industrijskoj proizvodnji. U kemijskoj industriji razvoj čistih tehnologija zahtjeva intenzivna istraživanja na novim reakcijama sirovinama i katalizatora. Naime još uvijek za većinu procesa upotreba čistih tehnologija rezultira izrazito visokim troškovima glavnog produkta. Tehnička unaprjeđenja ovisna o istraživanju i razvoju te iskustvo mogu doprinijeti postepenom smanjenju troškova. Navedeno nije slučaj kod "end of pipe" tehnologija obzirom da one ne mijenjaju tijekom glavnog procesa. S druge strane obično postoji više izbora čiste tehnologije koje mogu zamijeniti postojeću tehnologiju opterećenu zagađenjem. S velikim stupnjem nesigurnosti o tehnološkim i ekonomskim posljedicama alternativne tehnologije nije lako odabrati koja će tehnologija biti najpogodnija kroz duže vrijeme. Također u novim procesima se mijenjaju kemijske reakcije, pa tako i reakcijski uvjeti. Navedeno zahtjeva promjene postojećih industrijskih postrojenja što postavlja veće investicijske troškove za čistiju tehnologiju u odnosu na "end of pipe" tehnologiju.



Slika 4.7 Udio čistih i "end of pipe" tehnologija u razvijenim državama (OECD baza podataka)

"End of pipe" tehnologije su prilagodljive velikom broju procesa, te su njihova tehnička rješenja dobro poznata, dok su s druge strane čiste tehnologije novi inovacijski procesi koji utječu na cijeli proizvodni proces, te navedeno uključuje velike nesigurnosti u budućem napretku. Bez obzira na nesigurnost i visoke investicijske troškove sve više industrija prelazi na zamjenu tehnologija (slika 4.7) sa čistijim tehnologijama, te je udio čistih tehnologija stoga u određenim državama znatno veći nego onih sa tradicionalnim tehnologijama koje koriste "end of pipe" tehnologije. Razlog tome su sve veći zahtjevi za kontrolom i obradom otpada te snižavanje granica ispuštanja onečišćenja u okoliš. Za

posljedicu vrlo često se i "end of pipe" tehnologije moraju značajno unaprjeđivati što opet dovodi do poskupljenja procesa.

U razvoju čistih za okoliš prihvatljivih tehnologija u kemijskoj industriji, biotehnologija dobiva sve više na važnosti. **Biotehnologija** je iskorištavanje mogućnosti biosustava (mikroorganizmi, stanice, kulture tkiva, kao i njihovi dijelovi) u industriji (prehrambenoj, farmaceutskoj, kemijskoj i poljoprivrednoj) i zaštiti okoliša, koje je omogućeno povezanom upotrebom prirodnih (biologija i kemija) i tehničkih znanosti (kemijsko inženjerstvo, elektrotehnika i strojarstvo).

Industrijska biotehnologija je skup znanja koje koriste žive stanice (poput bakterija, kvasca, algi) ili dijelove stanica poput enzima, kako bi se razvili novi proizvodi i procesi. Temelji se na biokatalizi tj. upotrebi stanica ili dijelova stanica (enzimi) kao katalizatora, te na modernim fermentacijskim tehnologijama u kojima se iskorištavaju metabolički putevi mikroorganizama za dobivanje željenih produkata.

Industrijska biotehnologija može se koristiti za:

- Stvaranje novih proizvoda, poput biorazgradive plastike na bazi biljaka
- Zamjenom naftne sirovine u biomasu u biorafinerijama za proizvodnju električne energije, goriva ili kemikalija
- Mijenjanje i razvijanje novih industrijskih procesa, kao što je upotreba enzima smanjila količine toksičnih kemikalija kao u industriji tekstila ili celuloze i papira
- Smanjenju utjecaja proizvodnje na okoliš; primjerice biološkim tretiranjem industrijskih otpadnih voda

Iz navedenog se vidi da je biotehnologija našla primjenu za proizvodnju proizvoda koji su korisni širokom rasponu industrijskih sektora, uključujući kemijsku i farmaceutsku, ljudsku i životinjsku prehranu, celulozu i papir, tekstil, energiju, materijale i polimere, koristeći obnovljive sirovine. Korištenje biotehnologije za zamjenu postojećih procesa čini mnoge od tih industrija učinkovitijim i ekološki prihvatljivijima, te pridonosi industrijskoj održivosti na različite načine.

Ekološke prednosti industrijske biotehnologije su korištenje obnovljivih sirovina čime se izravno podupire poljoprivredni sektor, što rezultira smanjenim negativnim utjecajem na efekt staklenika. Također produkti koji se proizvode biološkim putem su biorazgradivi. Zbog visoke selektivnosti biokatalizatora nastaje manje otpada, a isto tako značajno je manja upotreba toksičnih kemikalija i otapala nego u klasičnim kemijskim procesima. Ekonomske prednosti industrijske biotehnologije su postizanje visokih konverzija u kemijskim reakcijama, što rezultira proizvodnjom produkata visoke čistoće. Reakcije se obično odvijaju na sobnoj temperaturi i atmosferskom traku, te se u ovakvim procesima ostvaruju znatne uštede energije. Iz svega navedenog može zaključiti procesi katalizirani biokatalizatorima u velikoj mjeri odgovaraju načelima zelene kemije koja je ujedno i temelj za razvoj kemijske industrije u budućnosti.

Klimatske tehnologije imaju za cilj smanjiti utjecaj tehnoloških procesa na klimatske promjene, odnosno reducirati emisije stakleničkih u atmosferu. U ove tehnologije spadaju i čiste i "end of pipe" tehnologije.

Tehnologije obnovljivih izvora energije se ubrajaju u klimatske tehnologije. Razvoj ovih tehnologija je važan zbog nekoliko razloga:

- obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO₂) u atmosferu.
- povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetske održivosti sustava.
- da postanu ekonomski konkurentni obnovljivim izvorima energije

Obnovljivi izvori energije se dijele u dvije glavne kategorije: tradicionalne obnovljive izvori energije poput biomase i hidroelektrana, te na takozvane "nove obnovljive izvori energije" poput energije sunca, energije vjetra, geotermalne energije itd. Tehnologije kao što su energija vjetra, male hidrocentrale, energija iz biomase i sunčeva energija su ekonomski konkurentne tehnologijama iz obnovljivih izvora energije. Glavni problem ovih tehnologija su visoki investicijski troškovi zbog kojih je cijena dobivene energije u prvih nekoliko godina neisplativa. U današnje vrijeme veliki udio u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora rezultat je ekološke osviještenosti stanovništva, te poticajima koje lokalne i državne zajednice daju za ugradnju ovakvih izvora energije.

Energija sunca. Sunce je nama najbliža zvijezda te, neposredno ili posredno, izvor gotovo sve raspoložive energije na Zemlji. Sunčeva energija potječe od nuklearnih reakcija u njegovom središtu, gdje temperatura doseže 15 milijuna °C. Radi se o fuziji, kod koje spajanjem vodikovih atoma nastaje helij, uz oslobađanje velike količine energije. Pod optimalnim uvjetima, na površini Zemlje može se dobiti 1 kW/m², a stvarna vrijednost ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima itd. U Europi je direktno iskorištavanje sunčeve energije u velikom porastu zbog subvencija. Osnovni problemi su iskorištavanja su mala gustoća energetske toka, velike oscilacije intenziteta zračenja i veliki investicijski troškovi.

Energija vjetra je transformirani oblik sunčeve energije. Sunce neravnomjerno zagrijava različite dijelove Zemlje i to rezultira različitim tlakovima zraka, a vjetar nastaje zbog težnje za izjednačavanjem tlakova zraka. Postoje dijelovi Zemlje na kojima pušu takozvani stalni (planetarni) vjetrovi i na tim područjima je iskorištavanje energije vjetra najisplativije. Iskorištavanje energije vjetra je najbrže rastući segment proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Kao dobre strane iskorištavanja energije vjetra ističu se visoka pouzdanost rada postrojenja, nema troškova za gorivo i nema zagađivanja okoline. Loše strane su visoki troškovi izgradnje i promjenjivost brzine vjetra (ne može se garantirati isporučivanje energije).

Energija vode (hidroenergija) je najznačajniji obnovljivi izvor energije, a ujedno i jedini koji je ekonomski konkurentan fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji. Energija vode, odnosno hidroenergija se ne može koristiti posvuda jer podrazumijeva obilje brzo tekuće vode, a poželjno je i da je ima dovoljno cijele godine, jer se električna struja ne može jeftino uskladištiti. Da bi se poništio utjecaj oscilacija vodostaja grade se brane i akumulacijska jezera. To znatno diže cijenu cijele elektrane, a i diže se razina podzemnih voda u okolici akumulacije. Razina podzemnih voda ima dosta utjecaja na biljni i životinjski svijet, pa prema tome hidroenergija nije sasvim bezopasna za okoliš. Veliki problem kod akumuliranja vode je i povećani rizik od potresa.

Bioenergija. Biomasa je obnovljiv izvor energije, a čine ju brojni proizvodi biljnog i životinjskog svijeta. Može se izravno pretvarati u energiju izgaranjem te tako proizvesti vodena para za grijanje u industriji i kućanstvima te dobivati električnu energiju u malim termoelektranama. Fermentacija u alkohol zasada je najrazvijenija metoda kemijske konverzije biomase. Bioplin nastao fermentacijom bez prisutnosti kisika sadrži metan i ugljik te se može upotrebljavati kao gorivo, a ostali suvremeni postupci korištenja energije biomase uključuju i pirolizu, rasplinjavanje te dobivanje vodika. Glavna je

prednost biomase u odnosu na fosilna goriva manja emisija štetnih plinova i otpadnih voda. Dodatne su prednosti zbrinjavanje i iskorištavanje otpada i ostataka iz poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije, smanjenje uvoza energenta, ulaganje u poljoprivredu i nerazvijena područja i povećanje sigurnosti opskrbe energijom.

Geotermalna energija odnosi se na korištenje topline unutrašnjosti Zemlje. Da bi se ta energija iskoristila, razvijene su mnoge tehnologije, ali pojednostavljeno možemo izdvojiti dva osnovna načina: izravno i neizravno. Izravno korištenje znači korištenje vruće vode koja izbija (ili se ispumpa) iz podzemlja. Ono može biti raznoliko: od korištenja u toplicama, za grijanje kuća ili staklenika, za pojedine postupke u industriji (npr. pasterizacija mlijeka). Indirektno korištenje geotermalne energije znači dobivanje električne struje. Ovdje se princip rada ne razlikuje bitno od klasičnih termoelektrana na ugljen ili mazut - razlika je samo u načinu na koji se dobiva vodena para. Ovisno o temperaturi vode (ili pare) u podzemlju razvijeno je nekoliko različitih tehnologija. Prednost ovog izvora energije je to da je jeftin, stabilan i trajan izvor, nema potrebe za gorivom, u pravilu nema štetnih emisija, osim vodene pare, ali ponekad mogu biti i drugi plinovi. Slabosti proizlaze iz činjenice da je malo mjesta na Zemlji gdje se vrela voda u podzemlju ne nalazi na prevelikoj dubini.

Energija plime i oseke dolazi od gravitacijskih sila Sunca i Mjeseca. Zasad još nema većih komercijalnih doseg na eksploataciji te energije, ali potencijal nije mali. Ta se energija može dobivati tamo gdje su morske mijene izrazito naglašene (npr. ima mjesta gdje je razlika između plime i oseke veća od 10 metara). Princip je jednostavan i vrlo je sličan principu hidroelektrane. Na ulazu u neki zaljev postavi se brana i kad se razina vode digne propušta se preko turbine u zaljev. Kad se zaljev napuni brana se zatvara i čeka se da razina vode padne. Tad se voda po istom principu propušta van iz zaljeva. Glavni problemi kod takvog iskorištavanja energije plime i oseke su nestalnost (treba čekati da se razina vode digne dovoljno, ili da padne dovoljno) i mali broj mjesta pogodnih za iskorištavanje takvog oblika energije. U svijetu postoji zasada vrlo mali broj primjera korištenja ovakvog tipa energije (Francuska, Kina, Rusija, Kanada), te još ima jako puno prostora za razvoj novih tehnologija.

4.2.1. Industrijska ekologija

Robert Ayres je 1989. postavio "koncept industrijskog metabolizma" kao temelj za razvoj područja industrijske ekologije. Njegova ideja je bila da idealan industrijski sistem treba funkcionirati kao ekosistem odnosno da bude analogan prirodnim ekosistemima. Prema ovoj teoriji industrijski sustavi su efikasniji ukoliko oponašaju ekoustave. Polazna točka ove teorije je kontrola (praćenje) kretanja materijala i energije u industrijskim sustavima kao i kontrola njihove transformacije. Uspostaviti *industrijski metabolizam* znači upravljati tokovima materijala i energije a to znači lako identificirati i reducirati neefikasne proizvode i procese čiji je rezultat u industrijskom otpadu i zagađenju okoline. Također, to znači da se otpad različitih vrsta i agregatnog stanja dalje koristi kao ulazna sirovina za neku drugu industriju ili kao energent.

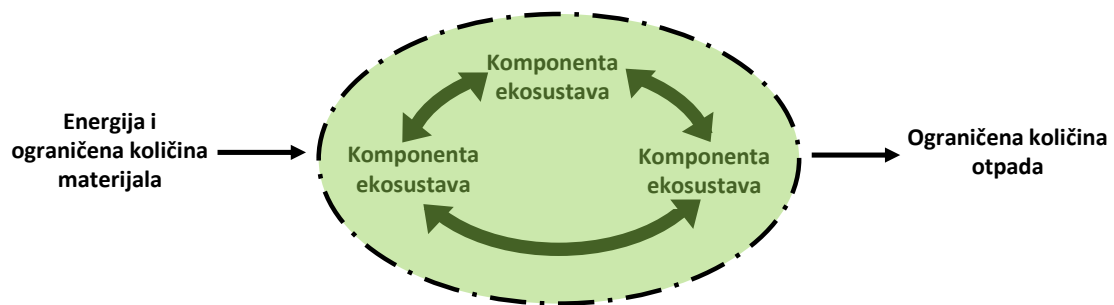
Industrijska ekologija je nastojanje da se smanji utjecaj industrijskih sustava na okoliš prijelazom sa linearnih sustava proizvodnje na ciklički (otpad jednog procesa je ulazni materijal u drugi proces).

Razvoj industrijske ekologije je pokušaj pružanja novog konceptualnog okvira za razumijevanje utjecaja industrijskih sustava na okoliš. Taj novi okvir služi za identifikaciju, a zatim i implementaciju strategija za smanjenje utjecaja proizvoda i proizvodnih procesa na okoliš, uz krajnji cilj održivog razvoja.

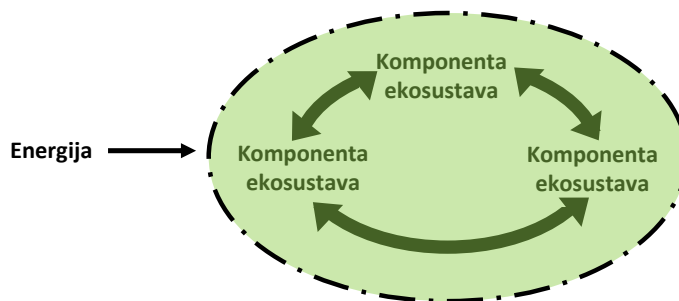
Da bi se razumio koncept industrijske ekologije potrebno je razmišljati o ciklusima materijala koji su uključeni u najranije životne oblike na Zemlji. Tada su potencijalno korisni resursi bili toliko veliki i količina života toliko malena da postojanje životnih oblika nije bitno utjecao na raspoložive resurse. Taj proces pojedinačnih komponenti može se opisati kao linearni - to jest kao onaj u kojem je tok materijala iz jedne faze u drugi nezavisan od svih drugih tokova. Ova vrsta ekologije tipa I je prikazana na slici 4.8.



Slika 4.8. Linearni tok tvari – tip I



Slika 4.9. Djelomično ciklički tok tvari – tip II



Slika 4.10. Ciklički tok tvari – tip III

Drugačiju sliku ima ekosustav u kojem su resursi ograničeni. U takvom sustavu, različiti oblici života postaju međusobno povezani i tvore složene mreže koje danas poznajemo kao biološke zajednice. U tom sustavu, tokovi materijala unutar jedne uske domene mogu biti prilično veliki, ali tokovi unutar i izvan nje (tj. iz resursa i otpada) su prilično mali. Shematski, takav tip II sustava može se prikazati kao na slici 4.9. Sustav tipa II je učinkovitiji od prethodnog, ali nije dugoročno održiv jer su tokovi u jednom smjeru. Da bi bili dugoročno održivi, biološki ekosustavi u prirodi su postali potpuno ciklički, te su "resursi" i "otpad" postali nedefinirani, budući da otpad za jednu komponentu sustava predstavlja resurse drugoj (tip III). Izuzetak od cikličke cjelovitosti sustava je energija u obliku sunčevog zračenja koja je dostupna kao vanjski izvor. Ovakav tip sustava III je prikazan na slici 4.10. Važno je prepoznati da ciklusi unutar sustava imaju tendenciju da funkcioniraju pri vrlo različitim vremenskim i prostornim mjerilima, ponašanje koje uvelike komplicira analizu i razumijevanje sustava. Idealna antropogena upotreba materijala i resursa dostupnih industrijskim procesima bi

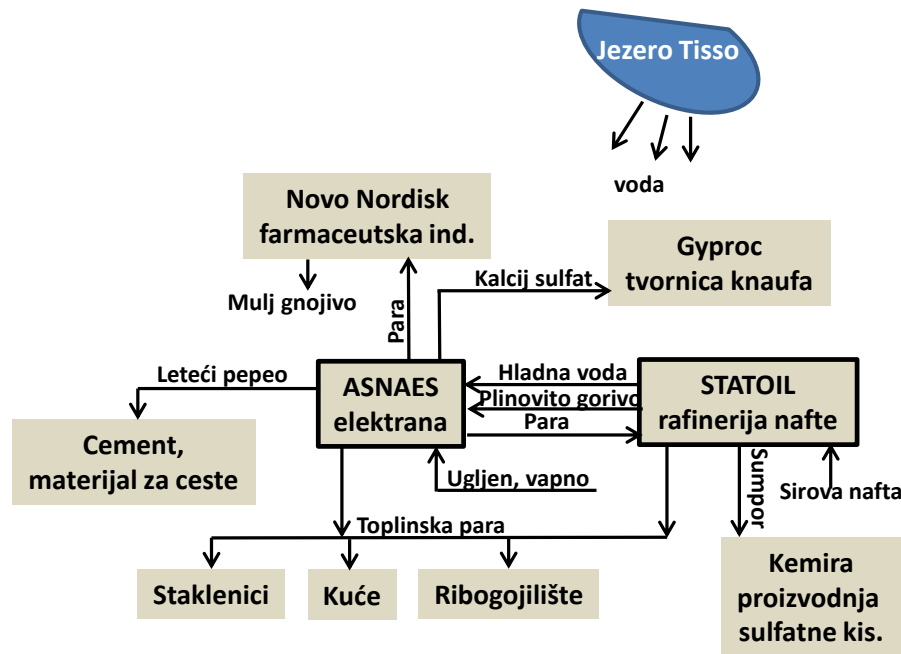
trebala biti slična biološkom modelu. Međutim, mnoge su primjene materijala pogotovo u prošlosti bile značajno disipativne. To znači da su materijali degradirani, raspršeni i izgubljeni tijekom jedne normalne uporabe, oponašajući model tipa I. Taj se trend može povezati s razvojem industrijske revolucije 18. stoljeća, koji je, zajedno s eksponencijalnim povećanjem broja ljudi i poljoprivredne proizvodnje, koristio raspoložive obilne količine energije i sirovina. No u današnje vrijeme zbog ograničenih resursa, onečišćenja okoliša uzrokovanim ispuštanjem ugljičnog dioksida, velike količine otpada koji se mora prikladno zbrinjavati, linearni sustav tip I nije održiv. Ekološki model tipa 2, koji predstavlja značajan dio današnje proizvodnje, pretpostavlja da se oporabljuje dio otpada (vraća ga se na početak ciklusa), dok se ostatak emitira u okoliš.

Ekološki Model tipa 3 (slika 4.9) je ono čemu teži industrijska ekologija i što se danas provlači kroz vrlo bitan i uvriježen pojam "kružnog gospodarstva". U takvom sustavu teoretski nema disipacije materijala, već se cjelokupna količina otpada ponovno koristi, odnosno vraća na ulaz sustava. Materijal bi u takvom idealnom sustavu trajno kružio, te bi takav sustav bio idealno održiv. U praksi takav sustav nije moguće postići zbog degradacije materijala (većinu materijala je moguće reciklirati određeni broj puta, nakon toga gube bitna svojstva). Također treba uzeti u obzir i činjenicu da u svakom procesu postoji disipacija energije, te je stoga u svakom slučaju potrebna i kontinuirana opskrba energijom. Ovaj model se u današnje vrijeme naziva kružno gospodarstvo

Industrijska ekologija kao novo multidisciplinarna područje ima za zadatak stvaranje industrijskih ekosustava u cilju održivosti života na Zemlji i u cilju postizanja maksimalne produktivnosti uz minimalan utrošak materijala i energije kao i minimalnu proizvodnju otpada i zagađivača.

Jedan od najpoznatijih primjera praktične primjene industrijske ekologije je ekoindustrijski park u Kalundborgu u Danskoj. Različite komponente industrijskog ekosustava Kalundborg prikazane su na slici 4.11. Do određenog stupnja, sustav Kalundborg razvio se spontano, a nije bio posebno planiran kao industrijski ekosustav. Temelji se na dva glavna proizvođača energije u Danskoj, elektrani na ugljen i Statoilove naftne rafinerije. Električno postrojenje prodaje procesnu paru rafineriji nafte, a od nje dobiva plin i gorivo za hlađenje. Kemira, tvornica koja proizvodi sulfatnu kiselinu kao sirovinu koristi sumpor koji se uklanja iz nafte. Toplina kao sporedni produkt dvaju generatora energije koristi se za grijanje kućanstava i komercijalnih objekata, kao i za zagrijavanje staklenika i ribogojilište. Paru iz elektrane upotrebljava farmaceutsko postrojenja Novo Nordisk, tvrtke koja proizvodi industrijske enzime i 40 % svjetske proizvodnje inzulina. Ovo postrojenje generira biološki mulj koji okolne farme koriste kao gnojivo. Kalcijev sulfat koji je sporedni produkt elektrane, koristi tvrtka Gyproc za izradu knaufa. Proizvođač knaufa kao gorivo koristi plin koji čisti gorivo iz rafinerije nafte. Leteći pepeo nastao izgaranjem ugljena se koristi za proizvodnju cementa i popravljavanje cesta. Jezero Tisso služi kao izvor svježe vode. Ostali primjeri učinkovitog korištenja materijala povezani s Kalundborgom uključuju mulj iz postrojenja za obradu vodu i otpad iz postrojenja za preradu ribe za gnojivo koji se miješaju s viškom kvasca od proizvodnje inzulina (Novo Nordisk) te koriste kao dodatak prehrani svinja. Razvoj kompleksa Kalundborg dogodio se tijekom dugog vremenskog razdoblja, počevši od šezdesetih godina prošlog stoljeća, i daje korisne smjernice za način na koji industrijski ekosustav može narasti prirodno. Prvi od mnogih sinergističkih (obostrano povoljnih) aranžmana bio je kombiniranje upotrebljive pare zajedno s električnom energijom od strane elektrane ASNAES. Para je najprije prodavana naftnoj rafineriji Statoil, a potom su prednosti centralizirane proizvodnje pare u velikom mjerilu postale vidljive, te se para počela koristiti u kućanstvima, staklenicima, farmaceutskoj industriji i ribogojilištu. Potreba za čistom proizvodnjom električne energije koju nije bilo moguće

izvesti spaljivanjem ugljena s visokim udjelom sumpora rezultiralo je s još dvije sinergije. Ugradnja jedinice za uklanjanje sumpora s vapnom uzrokovalo je proizvodnju velikih količina kalcijevog sulfata koji je potom postao sirovina za proizvodnju gipsanih ploča. Također je utvrđeno da bi se plin koji se koristi za rafiniranje nafte mogao zamijeniti dijelom za ugljen koji izgara u elektrani, što dodatno smanjuje onečišćenje.



Slika 4.11. Shema industrijskog ekosustava u Kalundborg-u

Do implementacije industrijske ekologije u Kalundborg je došlo zbog dobre suradnje menadžera različitih objekata u relativno bliskoj društvenoj i profesionalnoj mreži tijekom dugog vremenskog razdoblja. Svi ugovori temelje se na zdravim poslovnim temeljima i bilateralni su. Svaka je tvrtka djelovala po svojim osobnim interesima, i nije postojao glavni plan za sustav u cjelini. Regulatorne agencije su bile kooperativne, ali nisu nikog prisiljavale na suradnju u promicanju sustava. Industrije uključene u sporazume dobro se međusobno preklapaju. Fizičke udaljenosti između dionika sustava su male i upravljive jer nije ekonomski moguće isporučivati robu kao što su pare ili gnojiva na velike udaljenosti.

4.2.2. Mjere održivosti procesa

Mjere održivosti procesa se koriste kako bi se moglo usporediti i kvantificirati koje je tehnologija okolišno prihvatljivija. U svrhu ekološke ocjene prihvatljivosti cjelokupnog procesa važno je ispitati sve njegove komponente. Jedan od najčešćih i najspominjanijih mjera održivosti procesa je faktor utjecaja na okoliš ili *E*-faktor (jedn. 4.1). Ovaj faktor se računa kao omjer mase nastalog otpada i mase produkta. Koristan je alat za brzu ocjenu procesa na temelju nastalog otpada.

$$E = \frac{\sum_{i=1-n} m_{i, \text{otpada}}}{m_{\text{produkta}}} \quad (4.1)$$

U otpad je potrebno uzeti u obzir sve reagense, sva procesna pomagala, te čak i gorivo. Voda se obično isključuje iz proračuna, ali se računaju sve anorganske soli i organski spojevi koje ona sadrži.

Naime uključivanjem vode u proračune može dovesti do izuzetno visokih *E*-faktora što u konačnici može izazvati probleme prilikom usporedbe procesa. Viši *E* faktor znači više otpada i posljedično, veći negativan utjecaj na okoliš. Idealni *E*-faktor je nula. Potrebno je naglasiti da se ovaj mjerni podatak jednostavno primjenjuje u industriji, jer proizvodni pogon može mjeriti koliko materijala, tj. sirovine ulazi na proizvodno mjesto i koliko izlazi kao proizvod, tj. kao otpad, čime izravno daje točan izračun *E*-faktora za pojedinu procesnu jedinicu.

U tablici 4.1 je dan prikaz *E*- faktora za različite segmente kemijske industrije.

Tablica 4.1 Približni izračun *E*-faktora za različite segmente kemijske industrije

Industrija	Produkti [tona]	<i>E</i> - faktor
Rafinerije	10^6 - 10^8	~ 0.1
Osnovne kemikalije	10^4 - 10^6	< 1 – 5
Posebne kemikalije	10^2 - 10^4	5-50
Lijekovi	10^1 - 10^3	25-100

Vidljivo je da rafinerije nafte proizvode manje otpada od farmaceutske industrije. Navedeno je posljedica profitne politike u naftnoj industriji koja zahtijeva minimiziranje otpada te iznalaženje upotrebe za proizvode koji bi se normalno odbacivali kao otpad kako bi se povećao profit. Nasuprot tome, farmaceutski sektor je više usmjeren na proizvodnju i kvalitetu molekula. Visoke profitne marže u ovom sektoru znači da postoji više prostora za manju zabrinutosti zbog relativno velikih količina proizvedenog otpada (posebno s obzirom na količine koje se koriste). Treba napomenuti da, unatoč visokom *E*-faktoru, farmaceutska industrija proizvodi mnogo manju količinu otpada od bilo kojeg drugog sektora zbog relativno male mase konačnih produkata. Ova tablica potaknula je niz velikih farmaceutskih tvrtki da počnu s uvođenjem programa "zelene kemije" u svoje tehnologije. Uključivanje mjera održivosti procesa je stoga neophodno za promjenu od tradicionalnih koncepata procesne učinkovitosti i optimizacije koji se isključivo usredotočene na količinu željenog proizvoda na onaj koji dodjeljuje ekonomsku vrijednost za uklanjanje otpada i izbjegavanje uporabe toksičnih i / ili opasnih kemikalija.

Vrijednost *E*-faktora je ograničena obzirom da ne uzima u obzir svojstva i utjecaj na okoliš generiranog otpada, već samo masu otpada. Međutim, ono što je važno je utjecaj ovog otpada na okoliš, a ne samo njegova količina, tj. svojstva otpada se moraju uzeti u obzir. Jedan kilogram natrijevog klorida nema isti utjecaj na okoliš kao i jedan kilograma kromove soli. Ova mjera se računa kao umnožak *E*-faktora sa *Q* odnosno faktorom neprihvatljivosti (jedn. 4.2).

$$EQ = \frac{\sum_{i=1}^n m_{i, \text{otpada}} \cdot Q_i}{m_{\text{produkta}}} \quad (4.2)$$

Na primjer, može se proizvoljno dodijeliti *Q* vrijednost od 1 za NaCl koji nije štetan za okoliš, te 100-1000 za soli teških metala, kao što je krom, ovisno o toksičnosti, jednostavnosti recikliranja itd.

Veličina Q je često podložna raspravama i teško je kvantificirati, ali važno je da je kvantitativna procjena utjecaja kemijskih procesa na okoliš u načelu moguća.

Literatura

1. Aken, K.V., Strekowski, L., Patiny, L. EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and ecological parameters, *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 2006, 2, 3.
2. Allenby, B. *Industrial Ecology: The Material Scientist in an Environmental Constrained World*, MRS, Boston, 1992.
3. Andrews JE, Brimblecombe P, Jickells TD, Liss PS, Reid B. *An Introduction to Environmental Chemistry*, Blackwell Science Ltd., UK. 2004
4. Benac, Č. *Zaštita okoliša*, Građevinski fakultet, Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2013.
5. Cornwell, D. *Introduction to environmental engineering*, WCB/McGraw-Hill, Singapur, 1998.
6. Crittenden, B., Kolaczowski, S. *Waste minimization, A practical guide*, Institutions of Chemical engineers, Velika Britanija, 1995.
7. Črnjar, M. *Ekonomija i zaštita okoliša*, Školska knjiga Zagreb i Glosa Rijeka, Zagreb-Rijeka, 1997.
8. Črnjar, M., Črnjar, K. *Menadžment održivog razvoja*, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu u Opatiji Sveučilišta u Rijeci i Glosa Rijeka, Rijeka, 2009.
9. Dobrović, S., Schneider, D. R. *Energija iz otpada*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
10. Filipčić, A. *Ozonski sloj; Suncobran za život na Zemlji*, Meridijani, Samobor, 2012, 167, 32-38.
11. Gupta, R.S. *Environmental engineering and science, An introduction*, Government institutes, SAD, 1997.
12. Hanrahan G. *Key Concepts in Environmental Chemistry*, Elsevier Inc., SAD. 2012
13. Herceg, N. *Okoliš i održivi razvoj*, Synopsis d.o.o., Zagreb, 2013.
14. Jelinski L W, Graedel TE, Laudise RA, Mccall DW, Patel CKN (1992) *Industrial ecology: Concepts and approaches*, *Proc. Nati. Acad. Sci. USA*, 1992, 89, 793-797.
15. Krajcar Bronić, I. *Kruženje ugljika i vode u prirodi praćeno izotopima // Fizika u ekologiji - 23. ljetna škola mladih fizičara / Ban, Tacijana ; Vučić, Zlatko (ur.). Zagreb, Hrvatska: Hrvatsko fizikalno društvo, 2007, 50-59.*
16. Leblanc, G.A. *Basics of Environmental Toxicology, A Textbook of Modern Toxicology*, 3rd Edition, ed: Hodgson E, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2004.
17. Manahan, S.E. *Environmental Chemistry*, CRC Press LLC, Boca Raton, 2000.
18. Masters, G.M. *Introduction to environmental engineering and science*, Prentice-Hall Inc., SAD, 1998.

19. Potočnik, V. Obrada komunalnog otpada, Svjetska iskustva, Zagreb, 1997.
20. Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F. Chemistry for Environmental Engineering and Science, McGraw-Hill Education Singapore, 2002
21. Schaller, A., Subašić, D., Kufrin, J., Kučar Dragičević, S. Odlaganje i stanje odlagališta otpada u Republici Hrvatskoj - pokazatelji brige lokalne zajednice za okoliš, Proceedings of VIII International Symposium "Waste Management - Zagreb 2004" / Milanović, Zlatko - Zagreb : ZGOS d.o.o. Zagreb, 2004
22. Sheldon, R.A. The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability, *Green Chemistry*, 2017, 19, 18–43.
23. Soetaert, W., Vandamme, E. The impact of industrial biotechnology, *Biotechnology Journal*, 2006, 1, 756–769
24. Sofilić, T. Onečišćenje i zaštita tla, 2014, interna skripta Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, 2014.
25. Sofilić, T. Zdravlje i okoliš, interna skripta Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet. 2015.
26. Springer, D., Springer, O.P., Otrovani modrozeleni planet, Meridijan Zagreb, 2008.
27. UN, The State of the World Population Report 2011: People and Possibilities in a World of 7 Billion, 2011
28. Vrček, V. Druga strana potrošačkog raja, Školska knjiga, Zagreb, 2010.
29. Willis, A. J. Forum, *Functional Ecology*, 1997, 11, 268–271.