

# **UVOD V OKOLJSKE TEHNOLOGIJE**

VISOKOŠOLSKI UČBENIK PRI PREDMETU UVOD V OKOLJSKE TEHNOLOGIJE

Maja Zupančič Justin

Velenje, Ljubljana, 2010

Izdajatelja:

**Visoka šola za varstvo okolja, Velenje in  
Limnos, Podjetje za aplikativno ekologijo d. o. o.**

Avtorica:

**dr. Maja Zupančič Justin**

Recenzenta:

**prof. dr. Danijel Vrhovšek**

**prof. dr. Drago Vuk**

Jezikovni pregled:

**Manca Mirnik**

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

502:62(075.8)(0.034.2)

ZUPANČIČ Justin, Maja

Uvod v okoljske tehnologije [Elektronski vir] : visokošolski učbenik pri predmetu Uvod v okoljske tehnologije / Maja Zupančič Justin. - El. knjiga. - Velenje : Visoka šola za varstvo okolja ; Brezovica pri Ljubljani : Limnos, 2010

Način dostopa (URL): [http://www.limnos.si/files/uvod\\_v\\_okoljske\\_tehnologije.pdf](http://www.limnos.si/files/uvod_v_okoljske_tehnologije.pdf)

ISBN 978-961-92734-2-5 (Visoka šola za varstvo okolja)

250613248

# Kazalo vsebine

<b>1</b>	<b>OKOLJSKI PROBLEMI</b>	<b>7</b>
1.1	SEGREVANJE OZRAČJA IN PODNEBNE SPREMEMBE	8
1.2	TANJŠANJE OZONSKE PLASTI	11
1.3	KISLE PADAVINE	13
1.4	IZSEKAVANJE DEŽEVNEGA GOZDA	14
1.5	ŠIRJENJE PUŠČAV	15
1.6	NENADZOROVAN TRANSPORT NEVARNIH ODPADKOV	16
1.7	OBREMENJEVANJE MORJA	18
1.8	PRENASELJENOST	19
1.9	OBREMENJEVANJE ZRAKA	20
<b>2</b>	<b>TRAJNOSTNI RAZVOJ</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>OPREDELITEV OKOLJSKIH TEHNOLOGIJ</b>	<b>27</b>
3.1	OKOLJSKE TEHNOLOGIJE PRIHODNOSTI	31
<b>4</b>	<b>REALIZACIJA OKOLJSKIH TEHNOLOGIJ V KONTEKSTU OKOLJSKE ZAKONODAJE</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>UPRAVLJANJE Z OBREMENJEVANJEM OKOLJA – ODSTRANJEVANJE ONESNAŽENJA</b>	<b>38</b>
5.1	ČIŠČENJE ODPADNIH VODA	39
5.2	ODSTRANJEVANJE PLINASTIH NEČISTOČ IN DELCEV IZ ODPADNIH PLINOV IN ZRAKA	42
5.3	RAVNANJE S TRDNIMI ODPADKI	46
5.4	ČIŠČENJE ONESNAŽENIH TAL	50
5.5	VARSTVO PRED HRUPOM IN VIBRACIJAMI	55
5.6	VARSTVO PRED IONIZIRAJOČIMI SEVANJI	55
5.7	PREPREČEVANJE SVETLOBNEGA OBREMENJEVANJA OKOLJA	56
<b>6</b>	<b>ČISTE (INTEGRIRANE) TEHNOLOGIJE IN PRODUKTI</b>	<b>57</b>
6.1	INTEGRIRANE TEHNOLOŠKE VERIGE NA PRIMERU PREDELAVE BIOMASE – BIORAFINERIJA	59
<b>7</b>	<b>PRIDOBIVANJE IN UPORABA OBNOVLJIVIH VIROV ENERGIJE</b>	<b>62</b>
7.1	BIOMASA	64
7.2	VODNA ENERGIJA	67
7.3	SONČNA ENERGIJA	68
7.4	VETRNA ENERGIJA	70
7.5	GEOTERMALNA ENERGIJA	71
7.6	ENERGIJA OCEANOV	72
7.7	VODIK	73
<b>8</b>	<b>EKOREMEDIACIJE: EKOLOŠKI INŽENIRING IN OBNOVA EKOSISTEMOV</b>	<b>76</b>
8.1	EKOREMEDIACIJE ZA ZMANJŠANJE ALI REŠITEV PROBLEMOV OBREMENITEV OKOLJA	85
8.2	EKOREMEDIACIJE V VLOGI IMITACIJE ALI POSNEMANJA EKOSISTEMOV – IZGRADNJA NADOMESTNIH EKOSISTEMOV	99
8.3	EKOREMEDIACIJE KOT PODPORA OBNOVI EKOSISTEMOV	100

8.4	EKOREMEDIACIJSKI UKREPI ZA SPREMEMBNO OBSTOJEČIH EKOSISTEMOV V SMERI VZPOSTAVITVE EKOLOŠKEGA RAVNOVESJA .....	104
8.5	UPORABA EKOSISTEMOV V KORIST ČLOVEKU, NE DA BI S TEM PORUŠILI EKOLOŠKO RAVNOTEŽJE .....	105

## Kazalo tabel

TABELA 1:	PODATKI O EMISIJAH CO <sub>2</sub> (KG/LETO) ZA POSAMEZNE GOSPODINJSKE APARATE (MILLER, 2009).	10
TABELA 2:	POTENCIALNA NEVARNOST PRI NEPRAVILNI RAZGRADNJI ELEKTRONSKIH NAPRAV NA PRIMERU OSEBNEGA RAČUNALNIKA (CARROLL, 2008).	17
TABELA 3:	TEMELJNA NAČELA OKOLJSKE POLITIKE EU.	28
TABELA 4:	OKOLJSKI AKCIJSKI PROGRAM EU.	28
TABELA 5:	KAJ POJMUJEMO POD POJMOM OKOLJSKE TEHNOLOGIJE?	29
TABELA 6:	DELITEV EKO-INDUSTRIJ PO DEJAVNOSTIH.	30
TABELA 7:	NAPRAVE ZA IZLOČANJE PLINASTIH ONESNAŽEVAL.	44
TABELA 8:	NAPRAVE ZA IZLOČANJE ONESNAŽEVAL V OBLIKI DELCEV IZ ODPADNIH PLINOV.	45
TABELA 9:	PREGLED ANGLEŠKIH POJMOV NA PODROČJU OBNOVE DEGRADIRANIH TAL.	52
TABELA 10:	Z NAMENOM, DA POSTANE INDUSTRIJSKA PROIZVODNJA SKLADNEJŠA Z OKOLJEM IN SOCIALNIMI POTREBAMI, JE POTREBNO UPOŠTEVATI ŠTIRI GLAVNE STRATEGIJE:	58
TABELA 11:	PRIMERJAVA PROIZVODNJE, STROŠKOV, ENERGIJSKE BILANCE IN EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV BIOGORIV V PRIMERJAVI Z BENCINOM (BOURNE JR., 2007).	66
TABELA 12:	DEFINICIJE IN RAZLIČNA POIMENOVANJA CELOSTNEGA NAČINA REŠEVANJA OKOLJSKIH PROBLEMOV, KI TEMELJI NA UPOŠTEVANJU NARAVNIH EKOSISTEMSKIH ZAKONITOSTI.	78
TABELA 13:	EKOSISTEMSKE STORITVE.	82
TABELA 14:	VLOGA DREVES V URBANEM OKOLJU:	83
TABELA 15:	PRIMERI UPORABE EKOREMEDIACIJ ZA KOPENSKO IN VODNE EKOSISTEME GLEDE NA NJIHOVO FUNKCIJO.	85
TABELA 16:	SAMOČISTILNI PROCESI V KOPENSKIH IN VODNIH EKOSISTEMIH.	87
TABELA 17:	VLOGA RASTLIN V RASTLINSKI ČISTILNI NAPRAVI.	89
TABELA 18:	VLOGA MIKROORGANIZMOV V RASTLINSKI ČISTILNI NAPRAVI.	89
TABELA 19:	VLOGA SUBSTRATA V RASTLINSKI ČISTILNI NAPRAVI.	90
TABELA 20:	MOŽNOSTI OBNOVE DEGRADIRANIH TAL Z EKOREMEDIACIJSKIMI PRISTOPI.	96
TABELA 21:	FITOREMEDIACIJA IN NAČINI ODSTRANJEVANJA ONESNAŽEVAL.	98
TABELA 22:	PRIMERI OBNOVE VODOTOKOV.	102

## Kazalo slik

SLIKA 1:	POŠKODBA IGLIC ZARADI KISLIH PADAVIN .....	14
SLIKA 2:	TRAJNOSTNI RAZVOJ: VHODNO IN IZHODNO PRAVILO.....	23
SLIKA 3:	VPLIV UKREPOV VAROVANJA OKOLJA NA POVEČANJE ŠTEVILA DELOVNIH MEST. ....	25
SLIKA 4:	GLAVNI PRISTOPI K TRAJNOSTNEMU RAZVOJU. ....	26
SLIKA 5:	STRATEGIJA RAVNANJA Z ODPADKI.....	47
SLIKA 6:	VZROKI IN POSLEDICE ONESNAŽEVANJA TAL IN STRATEGIJE NJIHOVE ZAŠČITE. ....	54
SLIKA 7:	SHEMA NAČRTA TEHNOLOŠKIH POSTOPKOV IN INTEGRACIJE PROCESOV. FURFURAL JE INDUSTRIJSKA KEMIJSKA SPOJINA, KI JO LAHKO PRIDOBIMO IZ RAZLIČNIH RASTLINSKIH ODPADKOV (KORUZNI STORŽI, SLAMA ŽITARIC, ŽAGANJE ...) GRE ZA AROMATSKI ALDEHID S KEMIJSKO FORMULO C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> V OBLIKI BREZBARVNEGA OLJA. VIR: GRAVITIS, 2007. ....	61
SLIKA 8:	NAČRT POVEZOVANJA TEHNOLOGIJE PRIDOBIVANJA FURFURALA, VPLINJEVANJA BIOMASE IN NOVIH TEHNOLOŠKIH POSTOPKOV KARBONIZACIJE V INDUSTRIJSKI GROZD, KI NE PROIZVAJA EMISIJ V OKOLJE. VIR GRAVITIS, 2007.....	61
SLIKA 9:	ELEKTRIČNA ENERGIJA, KI BI JO LAHKO V SVETOVNEM MERILU PRIDOBILI IZ OBNOVLJIVIH VIROV: 975.010 TERAVATNIH UR. (TERAVATNA URA = 1000 GIGAVATNIH UR = MILIJARDA KILOVATNIH UR. KILOVATNA URA ZADOŠČA, DA 100-VATNA ŽARNICA SVETI DESET UR.) VIR: JOHNSON, 2009. ....	62
SLIKA 10:	ELEKTRIČNA ENERGIJA, PRIDOBLENA NA ZEMLJI LETA 2006: 19.015 TERAVATNIH UR (TWH). VIR: JOHNSON, 2009. ....	63

SLIKA 11: HIDROELEKTRARNA. ....	67
SLIKA 12: PRETVORBA SONČNE ENERGIJE V ELEKTRIČNO V FOTONAPETOSTNI CELICI. ....	69
SLIKA 13: VETRNA TURBINA. ....	70
SLIKA 14: GEOTERMALNA ELEKTRARNA. ....	72
SLIKA 15: OBALNA ELEKTRARNA, KI IZKORIŠČA MOČ VALOVANJA. ....	73
SLIKA 16: GORIVNA CELICA. ....	74
SLIKA 17: NAPAJANJE GOSPODINJSTVA Z ELEKTRIKO S KOMBINACIJO SONČNIH FOTONAPETOSTNIH CELIC IN GORIVNE CELICE ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ VODIKA. VIR: JOHNSON, SONČNA ENERGIJA NOČ IN DAN, NG SLOVENIJA STR 52. – 2009. ....	75
SLIKA 18: STRATEGIJE UPRAVLJANJA Z OKOLJEM V SEDEMDESETIH LETIH DVAJSETEGA STOLETJA. UPORABA OKOLJSKIH TEHNOLOGIJ JE TEMELJILA NA OSNOVI NAPRAV IN POSTOPKOV PREPREČEVANJA IN ODSTRANJEVANJA NASTALIH EMISIJ. UKREPI SO SE POKAZALI ZA NEZADOSTNE, SAJ MNOGOKRAT OB REŠITVI ENEGA PROBLEMA USTVARIMO DRUGJE NOVEGA (NPR. PRERAZPOREDITEV ONESNAŽENJA IZ ENEGA MEDIJA V DRUG MEDIJ ALI TVORBA NOVE VRSTE EMISIJ OB ODSTRANJEVANJU PRVE) (MITSCH IN JØRGENSEN, 2004). ....	76
SLIKA 19: GOSPODARJENJE Z OKOLJEM V ENAINDVAJSETEM STOLETJU UPOŠTEVA KOMPLEKSNEJŠE ODNOSE. GOSPODARJENJE Z OKOLJEM JE DANES ŠIRŠE ZASTAVLJENO IN VKLJUČUJE UPORABO OKOLJSKIH TEHNOLOGIJ, KI VKLJUČUJEJO TEHNOLOŠKE POSTOPKE ODSTRANJEVANJA IN PREPREČEVANJA NASTALIH EMISIJ, ČISTE TEHNOLOGIJE, KI PREPREČUJEJO NASTAJANJE ONESNAŽEVAL V TOKU PROIZVODNEGA PROCESA IN PROMOVIRAJO UPORABO NOVIH ČISTEJŠIH IN OBNOVLJIVIH MATERIALOV IN VIROV, TER EKOLOŠKI INŽENIRING Z OBNOVO EKOSISTEMOV (EKOREMEDIACIJE) (MITSCH IN JØRGENSEN, 2004). ....	77
SLIKA 20: DREVO V URBANEM OKOLJU. ....	82
SLIKA 21: FUNKCIJE MOKRIŠČA KOT EKOREMEDIACIJSKEGA OBJEKTA. ....	87
SLIKA 22: RASTLINSKA ČISTILNA NAPRAVA V SVETEM TOMAŽU, VIR: ARHIV LIMNOS. ....	90
SLIKA 23: SHEMA SESTAVNIH DELOV RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE (ARHIV LIMNOS). ....	91
SLIKA 24: RASTLINSKA ČISTILNA NAPRAVA S POVRŠINSKIM (LEVO) IN PODPOVRŠINSKIM HORIZONTALNIM TOKOM VODE. ....	91
SLIKA 25: RASTLINSKA ČISTINA NAPRAVA Z VERTIKALNIM PODPOVRŠINSKIM TOKOM VODE. ....	92
SLIKA 26: SHEMA VEGETACIJSKEGA PASU ZA PREPREČEVANJE NETOČKOVNEGA OBREMENJEVANJA VODNIH TELES. ....	93
SLIKA 27: EKOSISTEMSKE STORITVE VEGETACIJSKEGA PASU. ....	94
SLIKA 28: TRAVNATI VEGETACIJSKI PAS MED OBDELOVALNO POVRŠINO IN VODOTOKOM. ....	95
SLIKA 29: PROTIVETRNA BARIERA OB OBDELOVALNI POVRŠINI. ....	95
SLIKA 30: VLOGA IN POMEN KALOV. ....	99
SLIKA 31: PRIMERI OBNOVE KANALIZIRANE STRUGE (VIR: ARHIV LIMNOS). ....	104

## **Spremna beseda**

Danes je bolj ali manj jasno, da ko govorimo o okoljskih tehnologijah, mislimo na bistveno več kot le na naprave za odpravo onesnaženja (obremenitev) na koncu tehnoloških procesov. Pričujoča publikacija želi predstaviti zaokrožen pogled na to področje. Kot izhodišče so predstavljeni poglobljeni okoljski problemi, s katerimi se srečujemo, in usmeritve sprejetih načel trajnostnega razvoja ter iz njih izhajajoči ukrepi za ohranjanje zdravega stanja okolja. V nadaljevanju je podana opredelitev okoljskih tehnologij, kot jih danes pojmuje v širšem kontekstu, in potenciali za njihov razvoj. Posamezna področja, kot so tehnologije upravljanja z obremenjevanjem okolja, čiste (integrirane) tehnologije, tehnologije pridobivanja obnovljivih virov energije ter ekoremediacije, ki predstavljajo ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov, so podrobneje predstavljene v ločenih poglavjih. Uporaba okoljskih tehnologij za reševanje okoljskih problemov in nadaljevanje trajnostnega gospodarskega razvoja je tako predstavljena z vseh zornih kotov: uporabe tehnologij za preprečevanje nastajanja onesnaževal v toku proizvodnega procesa, uporabe novih materialov in obnovljivih virov z manjšim okoljskim vplivom, klasični in novi pristopi na področju odstranjevanja že nastalih obremenitev kot tudi ekoremediacijski pristopi v smislu ekološkega inženiringa in obnove ekosistemov za ohranjanje ekosistemskih storitev oziroma načrtovanja trajnostnih posegov v okolje, ki omogočajo povezovanje človeka z njegovim naravnim okoljem v korist obeh.

Publikacija je bila pripravljena kot učno gradivo študentom Visoke šole za varstvo okolja v Velenju pri predmetu Uvod v okoljske tehnologije.

Maja Zupančič Justin

# 1 OKOLJSKI PROBLEMI

Človek s svojim življenjem in aktivnostmi močno vpliva na svoje okolje. Soočamo se z mnogimi okoljskimi problemi, ki so posledica prav človekovih aktivnosti. V zadnjem času je največ govora o podnebnih spremembah kot posledicah globalnega segrevanja. Med pomembnimi vzroki segrevanja ozračja je velika poraba fosilnih goriv, ki ob gorenju sproščajo v zrak toplogredne pline in drobne delce. Poleg pogostejšega pojavljanja ekstremnih vremenskih pojavov se kot s posledico podnebnih sprememb soočamo s taljenjem ledenikov in s tem z dvigovanjem morske gladine. Dokazano je bilo, da se s taljenjem ledu ledenikov iz ledu sproščajo onesnaževala, ki so bila prej zamrznjena v ledu več desetletij (Bogdal s sod., 2009). Dokaz je naraščanje koncentracij obstojnih organskih onesnaževal, kot so PCB-ji (poliklorirani bifenili) in organoklorni pesticidi, kot je DDT v jezerskih sedimentih visokogorskih jezer, ki se napajajo z vodo iz talečih ledenikov. Gre za onesnaževala, ki so danes prepovedana, vendar pa so v preteklosti prepotovala velike razdalje v atmosferi in ko so se na določenih krajih odložila, so se tam zadržala več let. Z njihovim sproščanjem iz jezerskih sedimentov ob mešanju jezerske vode prehajajo v prehranjevalno verigo, kjer negativno vplivajo na zdravje organizmov.

Velik okoljski izziv predstavlja izginjanje rastlinskih in živalskih vrst in s tem upad biološke raznolikosti, kar ima daljnosežne posledice. Poleg podnebnih sprememb so vzrok za njihovo izginjanje ekstenzivni posegi človeka v naravno okolje, kjer prihaja do spreminjanja ali uničenja habitatov (življenjskih prostorov), kot tudi živali in rastlin. Kot primer lahko navedemo izsekavanje tropskih gozdov, gradnjo velikih zajezitev ob postavitvi hidrocentral, evtrofikacijo stoječih in tekočih voda zaradi intenzivnega kmetijstva, naraščajočo urbanizacijo in s tem fragmentacijo habitatov in degradacijo tal, prekomeren izlov posameznih vrst itd. Na drugi strani pa se zaradi spreminjanja podnebja in človekovega zavednega in nezavednega vnosa tujerodnih vrst srečujemo s pojavom novih rastlinskih in živalskih vrst na območjih, kjer njihov obstoj prej ni bil mogoč ali poznan. Tudi to ima lahko negativne posledice na okolje, s prevlado tujerodne vrste nad avtohtonimi.

Industrializacija človekove družbe ima tako velik negativni vpliv na vse fragmente okolja. Srečujemo se z obremenjevanjem zraka, vode in tal, izčrpavanjem neobnovljivih naravnih virov, kot tudi z izčrpavanjem obnovljivih virov preko njihove naravne sposobnosti obnove.

Danes je obveljalo enotno prepričanje, da imajo raznoliki okoljski problemi svetovne razsežnosti. V nadaljevanju je izpostavljenih nekaj največjih okoljskih problemov, ki zadevajo celoten svet, kot so globalno segrevanje, tanjšanje ozonske plasti, kisle padavine, izsekavanje tropskega gozda in širjenje puščav, upad biodiverzitete, obremenjevanje morja, zraka, nenadzorovano širjenje nevarnih odpadkov, kot tudi prekomerna rast človeške populacije in drugi. Različni okoljski problemi so posledica enakih vzrokov oziroma vplivov človeka na okolje. Z omejitvijo posameznega negativnega vpliva lahko torej popravimo različne okoljske probleme. Za popravilo nastale škode in preprečevanje nadaljevanja negativnih vplivov človeka

na okolje pa je ključen razvoj in uporaba okoljskih tehnologij v širšem pomenu besede.

## 1.1 SEGREVANJE OZRAČJA IN PODNEBNE SPREMEMBE

Leta 1988 je James Hansen, direktor inštituta Goddard pri NASI, poročal Komisiji senata za energijo in naravne vire o rezultatih, ki jasno kažejo na globalno segrevanje ozračja. Globalno segrevanje, poimenovano tudi učinek tople grede, je takoj dobilo veliko mednarodno pozornost. Obstajajo dokazi, da je večina segrevanja ozračja v zadnjih petdesetih letih posledica človekove dejavnosti in s tem soglaša večina strokovnjakov. Danes govorimo o podnebnih spremembah, ki so v največji meri posledica globalnega segrevanja ozračja in ki pomenijo eno izmed največjih okoljskih, družbenih in gospodarskih nevarnosti. Podnebne spremembe sicer zajemajo celoten sklop sprememb podnebja in ne zgolj segrevanje ozračja (Kajfež - Bogataj, 2008). Višja temperatura sproža spremembe mnogih lastnosti vremena in podnebja, kot so vzorci vetrov, količina in razporeditev padavin, pogostost in vrsta ekstremnih vremenskih pojavov. Povzročijo lahko daljnosežne in nepredvidljive posledice na okolje in družbeno-ekonomske razmere. Segrevanje podnebnega sistema je danes nedvoumno. Meritve kažejo na povišanje globalnih temperatur zraka in oceanov, široko razširjeno taljenje ledu in snega ter globalno zviševanje povprečne morske gladine. Večji del segrevanja je mogoče pripisati emisijam toplogrednih plinov, ki jih povzročajo človekove dejavnosti. Toplogredni plini, ki se zadržujejo nad Zemljinim površjem, povzročajo segrevanje planeta. Velika večina izpustov toplogrednih plinov pa izhaja iz proizvodnje in uporabe energije.

Učinek tople grede je sicer naraven pojav, ki omogoča življenje na Zemlji. Zemlja se zaradi sevanja sonca segreva. Sonce seva energijo v ultravijoličnem, vidnem in infrardečem delu spektra. Približno 30 odstotkov sončnega sevanja se odbije od oblakov in delcev nazaj v vesolje, približno 20 odstotkov energije absorbirajo oblaki in plini v atmosferi. Le okrog 50 odstotkov sevanja potuje skozi atmosfero. Približno 5 odstotkov se odbije od Zemljine površine nazaj v vesolje, preostanek pa segreva Zemljino površino, povzroča segrevanje morja, taljenje ledu in snega, izhlapevanje vode in omogoča fotosintezo rastlin. Sestavine v atmosferi, kot so voda, ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), ozon ( $\text{O}_3$ ), dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ) in fluoroogljikvodiki (CFC-ji, HFC-ji), absorbirajo infrardeči del svetlobnega spektra, ki bi se sicer odbil nazaj v vesolje. Problem je nastal, ko je človek s svojo dejavnostjo povečal količino teh naravnih plinov (predvsem  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ), na drugi strani pa sprostil v ozračje nove pline (CFC- klorofloroogljikvodiki, imenovani tudi freoni, žveplov heksafluorid  $\text{SF}_6$  itd.), ki vsi skupaj učinek tople grede še povečujejo.

Plini z učinkom tople grede imajo dve pomembni lastnosti. Močno vpijajo sončno energijo toplotnega dela spektra (infrardeči del spektra), ki jo sicer ozračje ne bi zadržalo, hkrati pa so v ozračju zelo obstojni. Njihove koncentracije v celotnem zemeljskem ozračju tako hitreje naraščajo kot se porabljajo oz. se zmanjšujejo z razpadom molekul. Segrevanje Zemlje je zato svetovni in ne lokalni problem. Molekule  $\text{CO}_2$  imajo najmanjšo sposobnost vpijanja toplote oziroma zadrževanja infrardečega dela spektra, vendar  $\text{CO}_2$  predstavlja 50 % toplogrednih plinov. Molekule metana imajo 32-krat večjo sposobnost zadrževanja toplote, molekule CFC pa kar 14.000–17.000-krat večjo sposobnost vpijanja od molekul  $\text{CO}_2$ .



## **Vzroki**

K segrevanju ozračja prispevajo različni plini. Glavni viri toplogrednih plinov, ki jih povzroča človek, so:

- izgorevanje fosilnih goriv v prometu, industriji in gospodinjstvih;
- krčenje gozdov in s tem zmanjševanje kapacitete za vezavo CO<sub>2</sub>;
- odlaganje odpadkov in sproščanje toplogrednih plinov ob njihovi razgradnji;
- uporaba industrijskih fluoriranih plinov;
- intenzivno kmetijstvo;
- razgradnja permafrosta in s tem sproščanje CO<sub>2</sub> in metana v polarnih območjih zaradi umika ledu.

Velika večina izpustov toplogrednih plinov pa izhaja iz proizvodnje in uporabe energije.

## **Posledice**

V zadnjih 150 letih se je povprečna temperatura zvišala za skoraj 0,8° C na svetovni ravni in za približno 1° C v Evropi. Enajst od zadnjih dvanajstih let (1995–2006) se uvršča med 12 najtoplejših let v evidenci meritev svetovnih temperatur površja (od leta 1850). Brez svetovnega ukrepanja za omejitev emisij se bodo lahko po pričakovanjih Medvladnega foruma o podnebnih spremembah temperature po svetu povišale še za od 1,8 do 4° C do leta 2100. To pomeni, da bi povišanje temperature od predindustrijske dobe preseglo 2° C. Nad to mejno vrednostjo postane možnost nastanka nepovratnih in po možnosti katastrofalnih sprememb veliko verjetnejša.

Učinki podnebnih sprememb so že opazni in bodo po napovedih postali še izrazitejši. Ekstremni vremenski pojavi, vključno z vročinskimi valovi, sušami in poplavami, bodo po pričakovanjih še pogostejši in intenzivnejši. Največja povišanja temperature v Evropi zasledimo v južni Evropi in v arktični regiji. Padavin je manj v južni Evropi in več na severu/severozahodu. To vpliva na naravne ekosisteme, zdravje ljudi in vodne vire. Gospodarski sektorji, kot so gozdarstvo, kmetijstvo, turizem in gradbeništvo, bodo občutili predvsem škodljive posledice. Kmetijski sektor v severni Evropi bi lahko imel koristi od omenjenega dviga temperature.

Pri visokemu dvigu temperature bo prišlo do pospešenega taljenja polarnega ledu in s tem dviga morske gladine. Dvig morske gladine v obmorskih krajih lahko povzroči obsežne selitve prebivalstva v višje ležeča območja, propad obdelovalnih površin in uničenje turistične industrije. Poleg taljenja ledu pa predstavlja še večji problem taljenje permafrosta – zamrznjenih tal, bogatih z organsko snovjo - in sproščanje metana iz arktičnih tunder. Z višanjem temperatur se začno v teh talnih plasteh odvijati intenzivni mikrobni procesi razgradnje organske snovi, katerih končni produkti so spet toplogredni plini, kot sta metan in ogljikov dioksid.

Zavedati se je potrebno, da bodo podnebne spremembe verjetno spremenile tudi možnost izrabe obnovljivih virov energije. Torej tisto, kar vidimo kot rešitev za zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov. Primer so hidroelektrarne, ki lahko z napovedanim nastopom daljših sušnih obdobj na posameznih območjih postanejo neuporabne.

**Tabela 1: Podatki o emisijah CO<sub>2</sub> (kg/leto) za posamezne gospodinjske aparate (Miller, 2009).**

Gospodinjski aparat	emisija CO <sub>2</sub> v kg/leto
pralni stroj	69
električni sušilnik perila	690
sušilnik za lase	26
televizijski sprejemnik	249
glasbeni stolp	76
osebni računalnik	146
mikrovalovna pečica	81
pomivalni stroj	272
hladilnik	540
klimatska naprava	1845

## Rešitve

Za zaustavitev podnebnih sprememb je potrebno bistveno zmanjšati svetovne emisije toplogrednih plinov. Za doseganje tega cilja so bile vzpostavljene različne politike. Dolgoročni cilj Okvirne konvencije Združenih narodov o podnebnih spremembah je ustalitev koncentracije toplogrednih plinov na ravni, ki bo preprečila nevarno antropogeno poseganje v podnebje. Kjotski protokol je prvi korak za doseg tega cilja. V njem so določeni cilji za zmanjšanje emisij za številne industrializirane države, vključno z večino držav članic EU. Medvladni forum o podnebnih spremembah zahteva 50-odstotno zmanjšanje svetovnih emisij do sredine 21. stoletja. To pomeni 60–80-odstotno zmanjšanje emisij v razvitih državah. Države v razvoju z visokimi emisijami, kot so Kitajska, Indija in Brazilija, bodo morale omejiti povečevanje emisij.

Tudi če bodo politike in prizadevanja za zmanjšanje emisij učinkoviti, je del podnebnih sprememb neizbežen. Zato je potrebno razviti strategije in ukrepe za prilagoditev vplivom podnebnih sprememb v Evropi in zlasti zunaj nje, saj so najmanj razvite države med najranjivejšimi, ker imajo najmanj finančnih in tehničnih zmogljivosti za prilagajanje.

Številne evropske države so sprejele nacionalne programe, katerih cilj je zmanjšanje emisij. Na ravni EU so bile sprejete različne politike in ukrepi v okviru Evropskega programa o podnebnih spremembah, na primer:

- večja uporaba obnovljivih virov energije (vetra, sonca, biomase) in kombiniranih obratov za ogrevanje in električno energijo;
- zmanjšanje porabe energije oziroma izboljšanje energetske učinkovitosti, npr. v stavbah, industriji, gospodinjskih aparatih:
  - boljša izolacija stavb,
  - zamenjava žarnic s sijalkami LED,
  - učinkovitejši industrijski sistemi na motorni pogon;
- zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida iz novih osebnih avtomobilov – osebni avtomobili na hibridni pogon;
- učinkovitejša kmetijska praksa:
  - bogatenje tal z organskimi snovmi,
  - zmanjšan obseg požiralništva za pridobivanje novih kmetijskih površin;
- preureditev že delujočih termoelektrarn - zajemanje in podzemno skladiščenje CO<sub>2</sub>;
- zajemanje in podzemno skladiščenje CO<sub>2</sub> v novih termoelektrarnah;
- ukrepi za zmanjšanje emisij iz odlagališč – recikliranje odpadkov.

## 1.2 TANJŠANJE OZONSKE PLASTI

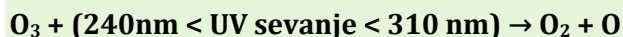
Ozon ( $O_3$ ) je tanka plast plina v višjih plasteh ozračja - stratosferi. Stratosferski ozon ima največjo zgostitev v višini približno 25 km nad ekvatorjem ter približno 15 km nad tečajema. Plin je v dinamičnem ravnovesju, ki se vedno znova vzpostavlja v verigi kemijskih reakcij. V stratosferi nastaja v naravnih razmerah v verigi fotokemičnih reakcij, ki jih sproži kratkovalovno UV sevanje. Sevanje cepi molekule kisika ( $O_2$ ), ki razpadejo v dva prosta kisikova atoma. Ta dva pa hitro reagirata z drugo kisikovo molekulo v ozon. Ozon pod vplivom UV-B sevanja spet hitro razpade v kisikovo molekulo in en prost atom kisika.

Ker ozonska plast odbija ultravijolične žarke, varuje biosfero. Ozon je torej najpomembnejši filter zaščite v stratosferi, saj bi močno UV sevanje, ki bi prodrlo do površine Zemlje, razcepilo oziroma prekinilo vezi v molekulah živih organizmov.

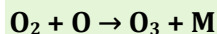
V nižjih plasteh ozračja – troposferi je ozon nevarno onesnaževalo. Negativno vpliva na zdravje ljudi, povzroča akutne in kronične poškodbe na rastlinah ter prispeva k nastanku efekta tople ređe. Troposferski ozon je sekundarno onesnaževalo, ki nastaja s fotokemičnim razpadom dušikovih oksidov, nemetanskih, hitro hlapljivih organskih spojin in ogljikovega monoksida.

### Reverzibilna tvorba ozona:

UV sevanje razcepi molekulo ozona na molekulo kisika in prosti kisikov atom:



Prost kisikov atom takoj reagira s kisikovo molekulo in tvori ozon, pri čemer se sprošča toplota (enerija UV sevanja se pretvori v toplotno energijo):



Cikel vzdržuje ozonsko plast v stabilnem ravnotežju.

### Vzroki

Glavne kemikalije, ki uničujejo stratosferski ozon, so klorofluorogljikovodiki (CFC). Uporabljajo se v hladilni tehniki, razpršilih, penjenju poliuretanskih mas, kot čistila v mnogih proizvodnjah – čiščenje elektronskih komponent. Druga skupina - haloni so se uporabljali v gasilnih aparatih. Škoda je povzročena, ko te kemikalije sprostijo visoko reaktivne oblike klora in broma. V zadnjih 30 letih se je ozonska plast nad Antarktiko zmanjšala med nekaterimi meseci za skoraj 40 odstotkov in "luknja" v ozonski plasti je jasno vidna s satelitskih posnetkov.

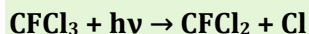
Klorovi atomi CFC molekul reagirajo s kisikovim atomom ozona. Reakcija je verižna in posamezen atom klora lahko uniči 100.000 molekul ozona oziroma prepreči reverzibilno tvorbo ozona. Kljub prepovedi uporabe CFC-jev bo problem ostal. CFC-jev, ki še ostajajo v okolju, ni mogoče odstraniti. Z vsakim odstotkom izgube ozonske plasti prodre 2 odstotka več UV-B sevanja do površja planeta.

Poleg CFC-jev in halonov spadajo med uničevalce ozona tudi druge snovi, kot so ogljikov tetraklorid ( $CCl_4$ ), trikloretan ( $CH_3CCl_3$ ), metilbromid ( $CH_3Br$ ) in didušikov oksid ali smejalni plin ( $N_2O$ ), katerega izpusti močno naraščajo.

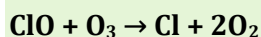
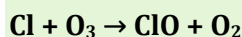
N<sub>2</sub>O se sprošča iz naravnih in antropogenih virov, kot so stranski produkti v kmetijskih gnojilih in pri gorenju fosilnih goriv. Je znan toplogredni plin, ni pa bil vključen v Montrealski protokol kot pomemben uničevalec ozona, zaradi česar so njegove emisije ostale neregulirane (Ravisankara s sod., 2009).

### **Prekinitev reverzibilne reakcije tvorbe ozona ob prisotnosti CFC molekul:**

S prihodom molekul CFC v stratosfero prihaja pod vplivom UV sevanja do sproščanja prostih radikalov (v tem primeru kloridnih ionov):



Prosti kloridni radikali nato reagirajo s kisikovimi atomi in preprečijo reverzibilne reakcije tvorbe ozona. Najpreprostejši prikaz je reakcija kloridnega iona z molekulo ozona, pri čemer nastaja ClO in molekula kisika. ClO reagira nato z naslednjo molekulo ozona, pri čemer se sprosti nova kisikova molekula itd. Reakcija se tako nadaljuje:



Končni učinek je zmanjšanje količine ozona. Preostali prosti radikali, ki povzročajo enak učinek, so še hidroksilni radikali (OH<sup>·</sup>), dušikov monoksid (NO<sup>·</sup>) in bromid (Br<sup>·</sup>).

### **Posledice**

Poleg negativnih vplivov na vegetacijo povečano UV sevanje zviša možnost obolenja za kožnim rakom, še posebej pri ljudeh, ki imajo malo zaščitnega pigmenta v koži. Večje so možnosti za okvare vida, astmatiki imajo pogostejše težave z dihanjem. Negativen vpliv se kaže tudi pri zmanjšani možnosti preživetja morskih planktonskih organizmov, ki so pomemben člen v prehranjevalni verigi.

Tanjšanje ozonske plasti je močno povezano z učinkom tople grede oziroma z globalnim segrevanjem. Tanjšanje ozonske plasti omogoča prodiranje večje količine UV sevanja na zemeljsko površje. Previsoke vrednosti UV sevanja negativno vplivajo na rast rastlin. Posledica tega je, da so rastline sposobne manjše vezave CO<sub>2</sub>. Manjša kapaciteta vezave CO<sub>2</sub> s pomočjo rastlin, ob nezmanjšanem sproščanju CO<sub>2</sub> zaradi človekove aktivnosti, pa vodi v še večjo kopičenje CO<sub>2</sub> v ozračju. Večja količina CO<sub>2</sub> v ozračju zadrži še več toplotnega sevanja in s tem segreva ozračje. Višja temperatura prispeva k še večjemu izhlapevanju vode, ki ravno tako prispeva k zadrževanju toplote. Povratna zanka se tako krepi.

Tanjšanje ozonske plasti vpliva tudi na spremembo vzorcev zračnih tokov, kar lahko vpliva na klimatske spremembe.

### **Rešitve**

Prva omejitev uporabe CFC-jev se je zgodila s podpisom Montrealskega protokola leta 1987. Leta 2000 so združene države in Evropska unija sprejele dogovor o prepovedi uporabe CFC-jev in njihove proizvodnje. Ta dogovor je bil izrednega pomena, saj so te države proizvajale tri četrtine vseh CFC-jev.

Tehnološki razvoj gre v smeri iskanja novih, nadomestnih materialov in snovi namesto CFC-jev, z manj škodljivimi vplivi na okolje. Tako npr. pri izdelavi ekspanziranih polistirenov kot izolacijskih materialov ne uporabljajo več CFC-jev in

HCFC-jev v proizvodnih postopkih ekspandiranja, temveč so jih zamenjali potisni plini pentan, izopentan in CO<sub>2</sub>. Še boljši pa je na tem področju prehod iz uporabe izolacijskih materialov, ki temeljijo na naftnih derivatih, na naravne materiale iz obnovljivih virov (celulozni kosmiči, pluta, ovčja volna, lesna vlakna, bombaž, trstika itd.) Dokončna rešitev problema CFC-jev pa je zahtevna, saj so v okolju velike količine teh plinov.

Vse zamenjave ozonu škodljivih spojin z drugimi se niso vedno izkazale kot uspešne. Tako so namesto CFC-jev začeli uporabljati HFC-je (hidrofluorogljike). Slednji so se sicer izkazali kot zaščitniki ozonskega sloja, vendar pa so žal tudi spodbujevalci otoplitve – so zelo dejaven toplogredni plin. Nekatere molekule HFC-jev so celo do tisočkrat učinkovitejši toplogredni plin od ogljikovega dioksida.

## 1.3 KISLE PADAVINE

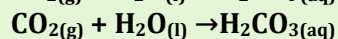
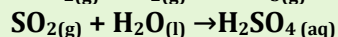
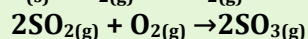
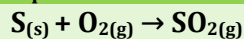
Pod poimenovanjem kisle padavine pojmuje kisle depozite, ki nastajajo zaradi onesnaževal v zraku in imajo lahko zelo uničujoče posledice. Vir onesnaževal so lahko transportni izpušni plini, v največji meri pa nastajajo v termoelektrarnah, kjer kurijo premog. Zaradi premikov zraka se onesnaženje lahko seli daleč preko meja nastanka onesnaženja.

Danes imamo dovolj podatkov o načinu in vzrokih nastanka kisljih padavin in različna orodja, s katerimi lahko preprečimo njihov nastanek. Kljub temu se s kislimi depoziti še vedno srečujemo. V deželah v razvoju, kjer imajo nižje omejitve za obremenjevanje okolja, beležijo višje vrednosti tovrstnega onesnaženja. Zaradi omenjenih premikov zraka je problem vsekakor globalni. Velik problem ostaja tudi nadaljevanje zakisanja morja.

### Vzroki

Primarni vzroki kisljih depozitov so žveplov dioksid in dušikovi oksidi, ki se sproščajo v posameznih industrijskih procesih. Večina žveplovega dioksida se sprosti v termoelektrarnah, katerih gorivo je premog. Izpušni plini avtomobilskih motorjev vsebujejo dušikove okside. Nekaj dušikovih oksidov sproščajo v ozračje tudi termoelektrarne na fosilna goriva. Glavni vzrok nastajanja kisljih padavin je torej človekova dejavnost, del pa prispevajo tudi naravni pojavi. Požari, vulkanski izbruhi, bakterijska razgradnja in strele ravno tako povzročajo nastajanje dušikovih oksidov. Kljub temu pa so ti deleži manjši. Po nekaterih ocenah termoelektrarne prispevajo k 70-odstotni emisiji celotnega žveplovega dioksida, medtem ko avtomobilski izpušni plini prispevajo 50 odstotkov vseh dušikovih oksidov. Izbruh vulkana Svete Helene (izbruh 1980, država Washington, USA) pa je npr. prispeval le toliko, kolikor posamezna termoelektrarna sprosti v enem letu.

#### Žveplov dioksid ob reakciji z vodo tvori kislno raztopino:



(s) .....trdni delec

(g) .....plin

(l) .....kapljevina

(aq) ..... vodna raztopina

## **Posledice**

Ko onesnaženi delci (ali antropogeni obremenjevalci zraka) vstopijo v atmosfero, lahko potujejo tisoče kilometrov. Žveplov dioksid in dušikovi oksidi tvorijo z vodo kisle spojine. Kisle usedline pa ne izvirajo le iz padavin (megla, sneg, dež). Trdni delci (suhe usedline), ki lebdijo v zraku, se lahko neposredno absorbirajo v jezerski vodi, v rastlinah in zidovih zgradb. Kisla reakcija raztopin tako uničuje naravne ekosisteme, pa tudi produkte človekovega dela.



**Slika 1: Poškodba iglic zaradi kislh padavin**

## **Rešitve**

Danes že obstajajo dobre okoljske tehnologije na področju omejevanja emisij žveplovega dioksida. Termoelektrarne uporabljajo premog z nižjo vsebnostjo žvepla oz. metode za odstranitev žvepla iz premoga pred gorenjem, odstranjujejo žveplo iz dimnih plinov oz. uporabljajo nove metode kurjenja. Manj uspešne so termoelektrarne na področju omejevanj emisij ogljikovega dioksida.

Na nivoju velikih obremenjevalcev je vzpostavljen sistem trgovanja z emisijami in pridobivanja dovoljenj za količine izpustov.

V avtomobilski industriji gre reševanje emisij v smer razvoja motorjev z nizko porabo goriva in nižjimi izpusti plinov ter prehodom na druge vire energije, ki niso odvisni od fosilnih goriv.

## **1.4 IZSEKAVANJE DEŽEVNEGA GOZDA**

Negativni vplivi na okolje se ne odražajo le v onesnaženi atmosferi in oceanih. Zelo hitro izginja tudi deževni gozd. Njegovo izginjanje je še posebej zaskrbljujoče z vidika izjemne biotske raznovrstnosti. Za razliko od drugih okoljskih problemov je na srečo deževni gozd deležen velike medijske in javne pozornosti. Kljub nasprotovanju izsekavanja se problem nadaljuje. Poleg izginjanja amazonskega deževnega gozda, ki je morda medijsko pri nas najbolj izpostavljen, izginjajo tudi drugi gozdovi. Do velikih izgub prihaja v Indoneziji, Zairu, Papui Novi Gvineji, Maleziji, Burmi, Filipinih, Peruju, Kolumbiji, Boliviji in Venezueli. Pred začetkom kmetijstva je bilo na Zemlji več kot 60 milijonov kvadratnih kilometrov gozdnih površin, danes pa le še nekaj več kot 40 milijonov kvadratnih kilometrov, kar predstavlja le še četrtno vseh kopnih površina na svetu. Vsako leto se površine tropskih gozdov skrčijo za približno 150.000 do 200.000 km<sup>2</sup>.

## **Vzroki**

Rast prebivalstva naj bi bila glavni vzrok krčenja deževnega gozda. V tropskih območjih živi danes že približno 1 milijarda prebivalcev, večinoma v revščini, zato je pritisk na gozdne površine zelo velik. Krčenje tropskih gozdov poteka zaradi širjenja kmetijstva, naselij, cest in rabe lesa. Zaradi slabe rodovitnosti tal in neustreznih kmetijskih praks se po nekaj letih izsekane obdelovalne površine opusti in preseli na nove.

## **Posledice**

Krčenje tropskega gozda pomeni nepovratno izgubo številnih življenjskih prostorov rastlinskih in živalskih vrst ter rastlin in živali samih, med katerimi vseh niti ne poznamo. Posledice se kažejo v manjši kapaciteti vezave ogljikovega dioksida s pomočjo rastlin in s tem večanjem učinka tople grede. Izsekavanje velikih površin vodi v spremenjene mikroklimatske razmere, v spremembo hidrološkega režima in erozijo tal.

## **Rešitve**

Omejevanje rasti prebivalstva je verjetno prvi korak v seriji ukrepov za zmanjševanje izsekavanja deževnega gozda. Rešitve so možne tudi z uporabo ustrežnejših metod kmetijske prakse in gospodarjenja z gozdom, kot je preprečevanje nastanka golosekov in uporaba ustrežnejše mehanizacije z manj negativnimi vplivi na okolje.

## **1.5 ŠIRJENJE PUŠČAV**

V primeru širjenja puščav ali dezertifikacije gre za preplet človekovih vplivov in naravnih procesov, ki vodijo v degradacijo tal v sušnih (aridnih) območjih. Gre za propad tal v smislu izgube produktivnosti in biološkega potenciala zaradi sprememb lastnosti tal in izgube tal zaradi vetrne ali vodne erozije. Spremembe so ponavadi take, da je naravna obnova nemogoča ali pa zahteva tako dolgo obdobje, da v človekovem časovnem okvirju to predstavlja trajno spremembo. Najbolj so na udaru območja s sezonskim deževnim režimom in izrazitimi suhimi obdobji in z letnim presežkom evapotranspiracije nad količino padavin. V primeru hudega populacijskega pritiska, uporabe neprimernih kmetijskih praks in tehnologije so ti ranljivi ekosistemi podvrženi degradaciji. Problem predstavljajo dolgotrajne suše, ki rastlinam zmanjšajo zmožnost rasti. Posledica je manjša prekritost tal in s tem večja dovzetnost tal za erozijo. Poleg suš povzroča človek s preobsežnim pašništvom, obdelovanjem tal in izsekavanjem gozda dodaten pritisk na tla in zmanjša njihovo sposobnost zoperstavljanja suši. Poleg vodne in vetrne erozije tal predstavlja problem tudi zaslanjevanje tal.

Dezertifikacija zmanjšuje biološko raznolikost. Le široka biološka raznolikost pa je tista, ki omogoča številne ekosistemske usluge. Vegetacija in njena raznolikost sta namreč ključni za ohranjanje kvalitete tal, regulacijo površinskih voda in lokalnih podnebnih razmer. Obsežna dezertifikacija tako prispeva h globalnim klimatskim spremembam s sproščanjem ogljika v atmosfero, prej vezanega v vegetaciji in tleh. S segrevanjem ozračja ob kopičenju CO<sub>2</sub> v atmosferi pa se ta povratna zanka krepi: visoke temperature povzročajo še večje izhlapevanje in slabšo rast rastlin.

Preprečevanje širjenja puščav zahteva ustrezne pristope k upravljanju s tlemi in zakonske regulative. Pristopi so neposredno povezani z ukrepi za ohranjanje biološke raznolikosti in ukrepi za zmanjšanje kopičenja toplogrednih plinov.

## **1.6 NENADZOROVAN TRANSPORT NEVARNIH ODPADKOV**

Poleg obremenitev zraka z izpusti producira človeštvo ogromne količine odpadkov, ki jih odlaga v okolje. Pogosto gre za strupene in nevarne odpadke, ki ogrožajo naravo kot tudi človeka. Z industrializacijo količine nevarnih odpadkov naraščajo. V odsotnosti zakonskih omejitev so se povzročitelji odpadkov v glavnem izmikali stroškom, ki nastajajo v povezavi z zmanjšanjem nastajanja odpadkov v proizvodnem procesu in z njihovim pravilnim ravnanjem in odlaganjem. Tako so ravno nevarni odpadki pogosto končali v državah, ki so jih bile pripravljene sprejeti za nizko plačilo, a brez ustreznih odlagališč. V prihodnosti bo potrebno ne le zmanjšati količino nastalih odpadkov, temveč zmanjšati tudi porabo produktov, ki končajo na odlagališčih.

### ***Vzroki***

Večina nevarnih odpadkov nastaja v industriji, manj v okviru gospodinjstev. Ne glede na izvor odpadkov so ti lahko nevarni. Eden glavnih vzrokov obilice nevarnih odpadkov je ta, da se ljudje ne zavedajo, kako velik je dejansko ta problem. S tem, ko jih odstranimo iz vidnega polja in odložimo na odlagališčih, se zdi, da je problem s tem rešen.

Danes industrija uporablja več kot 80.000 različnih kemikalij. Pri tem vsako leto odkrijejo 1.500 novih, med katerimi gredo mnoge hitro v uporabo v industrijske procese. Večina teh snovi ni nevarnih, nekatere izmed njih pa so in lahko povzročajo resne okoljske probleme.

### ***Posledice***

Vsako leto se srečujemo z večjimi zdravstvenimi težavami, ki so v povezavi z izpostavitvijo nevarnim odpadkom. Vpliv nevarnih odpadkov na porušitve in spremembe v ekosistemih pa lahko postane jasen šele po daljšem časovnem obdobju. Danes je tako nedvoumen negativen vpliv težkih kovin na zdravje ljudi, kot tudi njihovo kopičenje v končnih členih prehranjevalne verige. Znani so strupeni učinki mnogih organskih onesnaževal. Kljub vsemu pa imamo pomanjkljive podatke o vseh kemikalijah, ki jih danes uporabljamo. Pomanjkljivi so podatki o vplivu kombinacij posameznih snovi (sinergistični učinki delovanja), o strupenosti njihovih vmesnih produktov razgradnje itd. Danes se veliko pozornosti posveča mikroonesnažilom: snovem, prisotnim v odpadni vodi in drugih vrstah odpadkov, ki jih konvencionalne metode čiščenja ne odstranijo in se pojavljajo v zelo nizkih koncentracijah. Problem predstavljajo predvsem spojine, ki imajo podobno delovanje kot hormoni žlez z notranjim izločanjem in motijo njihovo delovanje (hormonski motilci). Njihovi strupeni učinki se kažejo npr. v upadu plodnosti, kar v končni vrsti lahko vodi v propad posamezne vrste.



**Tabela 2: Potencialna nevarnost pri nepravilni razgradnji elektronskih naprav na primeru osebnega računalnika (Carroll, 2008).**

SESTAVNI DEL	NEVARNA SNOV	NEVARNA SNOV	NEVARNOST ZA ZDRAVJE
<b>MONITOR S KATODNO CEVJO</b>		SVINEC	Nevrotoksin, škodi ledvicam in reproduktivnim organom.
plastično ohišje	PVC bromirani zaviralci gorenja	PVC	Nastajanje dioksinov pri gorenju (halogenirane organske spojine, kopičenje v tkivih, različni negativni vplivi na zdravje).
steklena katodna cev	svinec	BROMIRANI ZAVIRALCI GORENJA	Negativen vpliv na žlezo ščitnico in na razvoj ploda.
keramični spoj, ki povezuje stekleni zaslon s cevjo	svinec	BARIJ	Izpostavljenost povzroča težave s prebavili, šibkost mišic, težave z dihanjem ter zvišanje ali znižanje krvnega tlaka.
stekleni zaslon	svinec	KROM	Vdihavanje 6-valentnega kroma škoduje jetrom, ledvicam, poveča tveganje za nastanek raka na pljučih, povzroča astmatični bronhitis.
fluorescentni premaz na notranji strani zaslona	kadmij	ŽIVO SREBRO	Povzroča okvare možganov in ledvic, škoduje razvoju ploda.
barij v starih katodnih ceveh	barij	BERILIJ	Kancerogen, berilijev prah povzroča bolezen pljuč.
plošča tiskanega vezja	svinec živo srebro bromirani zaviralci gorenja	KADMIJ	Kancerogen, škodi ledvicam in kostem.
<b>CENTRALNA PROCESNA ENOTA - računalnik</b>			
plastično ohišje	PVC bromirani zaviralci gorenja		
stikala in releji	živo srebro		
matične plošče in priključki	berilij		
kabli za žice	PVC bromirani zaviralci gorenja kadmij		
akumulatorji	kadmij		
upori pri čipih, infrardeči detektorji, polprevodniki	kadmij		
utrjevanje nosilcev in ohišja ter njihova zaščita pred rjavenjem	berilij		
plošče tiskanega vezja	svinec živo srebro bromirani zaviralci gorenja		

## Rešitve

Nevarni odpadki so povzročili veliko problemov in nevarnosti in k sreči vsi niso ostali neopaženi. Kljub temu, da se temu problemu posveča manj pozornosti kot drugim okoljskim grožnjam, je prišlo do nekaj uspešnih predlogov rešitev in njihove uporabe.

Kot v primeru obremenjevanja zraka in drugih okoljskih problemov se tudi tu izvajajo ukrepi vhodne in izhodne kontrole oz. preventivni in kurativni ukrepi.

Na nivoju omejitev oziroma vhodne kontrole gre za postavitev zakonodaje in omejitev v povezavi z dovoljeno količino proizvedenih odpadkov ali spodbud v smeri manjše proizvodnje odpadkov.

Ob nastanku nevarnih odpadkov pa se izvajajo ukrepi in spodbuja razvoj novih tehnologij glede potrebne razgradnje odpadkov, pravilnega shranjevanja in načinov zaščite okolja pred njihovimi vplivi.

Mnenje strokovnjakov s tega področja je, da je možno z obstoječo tehnologijo zmanjšati količino odpadkov vsaj za eno tretjino. Razvoj okoljskih tehnologij na tem področju ima tako odprte še številne možnosti, od izboljšanja obstoječih tehnoloških postopkov v smeri zmanjševanja porabe virov do iskanja rešitev na področju uporabe novih, manj strupenih materialov.

Veliko je bilo narejenega tudi v okviru sprejetja ukrepov in prepovedi glede nenadzorovanega pošiljanja in trgovanja z nevarnimi odpadki. Na svetovni ravni mednarodno trgovino z nevarnimi odpadki (odpadki, ki so lahko nevarni za ljudi ali okolje) ureja Baselska konvencija Združenih narodov. Kljub vsemu so potrebne nove rešitve za preprečevanje zlorab na področju trgovanja z odpadki. Primer je izvoz nevarnih elektronskih odpadkov, ki jih označijo kot rabljeno napravo za nadaljnjo uporabo (kar je dovoljeno izvažati), v resnici pa končajo v obratih predelave v deželah v razvoju z malo ali brez osebne zaščite ali ukrepov za nadzor nad obremenjevanjem okolja.

## **1.7 OBREMENJEVANJE MORJA**

Večje pozornosti je bila problematika obremenjevanja morja deležna šele v letu 1980 z razlitjem tankerja Exxon Valdez. Kljub vsemu se je razlitje nafte dotaknilo le vrha ledene gore tega problema. Razlitje nafte s tankerja je predstavljalo le 5 odstotkov vse razlite nafte v tistem letu. Nafta pa je le eden od številnih onesnaževal, ki jih ljudje vsako leto odvržejo v vode. Po ocenah naj bi vsako leto v oceanih končalo 6 milijonov ton komunalne odpadne vode, blata iz čistilnih naprav in drugih odpadkov. Letno naj bi v morjih končalo do 10 milijard ton nafte. Le 10 odstotkov nam je uspe očistiti. Zaradi premikov vodnih tokov je problem vsekakor globalen. Še bolj se odraža v akumulaciji posameznih onesnaževal v vrhu prehranjevalne verige živali v morjih.

### ***Vzroki***

Eden od razlogov, da je obremenjevanje morja tako velik problem, je tudi ta, da odlaganje odpadkov v vodna telesa ni povsod nelegalno. V svetovnem merilu se še vedno polovica komunalne vode izpusti v vodna telesa. Ponekod sicer pride do čiščenja odpadne vode, biološko blato, ki nastane, pa se še vedno odloži v morje. Še večji problem so nevarne industrijske odplake.

### ***Posledice***

Posledice obremenjevanja morja so različne in so odvisne od vrste onesnaževal in lokacije onesnaženj. Najbolj na udaru z onesnaževali so velika industrijska pristanišča. Hude posledice se kažejo na ranljivih ekosistemih, kot so koralni grebeni. Najbolj pereče je kopičenje onesnaževal proti vrhu prehranjevalne verige.

Tu niso le živali na vrhu prehranjevalne verige, temveč tudi človek, podvržen pojavom različnih bolezni zaradi prisotnosti strupenih snovi v hrani.

### **Rešitve**

Na tem področju je bilo sprejetih precej ukrepov, kot je zakonodaja na področju čiščenja odpadnih voda, ki omejuje izpuste nevarnih in strupenih snovi, kot tudi hranil v okolje. Razvoj gre v smeri vedno učinkovitejših čistilnih sistemov, ki se morajo prilagajati pojavu in uporabi vedno novih kemijskih spojin. Novi trendi razvoja na tem področju gredo tudi v smeri ponovne uporabe virov in energije iz odpadne vode (uporaba hranil iz odpadne vode kot nadomestek mineralnim hranilom, obdelava blata iz čistilnih naprav za pridobivanje plina in njegovo izkoriščanje za pridobivanje toplote in električne energije).

Druge vrste ukrepov pa spodbujajo razvoj izpopolnjenih proizvodnih procesov oziroma čistih tehnologij z zmanjšanimi količinami odpadnih voda in manjšo porabo vode. Razvoj gre tudi v smeri zamenjave materialov, ki končajo v odpadni vodi, z razgradljivimi in nestrupenimi.

## **1.8 PRENASELJENOST**

Število prebivalstva narašča iz leta v leto in se približuje meji nosilnosti planeta. Leta 1850 je svetovna populacija dosegla eno milijardo. Leta 1987 je človeška populacija dosegla pet milijard. V letu 2009 je po ocenah »Population Reference Bureau« svetovna populacija dosegla 6,8 milijarde (USAID, 2009). Projekcije do leta 2025 pa napovedujejo 8,1 milijarde. Večina rasti bo prišla iz držav v razvoju, kjer danes živi 90 odstotkov mladih na svetu.

V poročilu o svetovnem prebivalstvu iz leta 2009 ameriški urad za prebivalstvo navaja, da bo v revnih državah rast prebivalstva poganjala visoka stopnja rodnosti. V Afriki ima ženska v povprečju med šest in sedem otrok. V razvitem svetu bo največji delež rasti prebivalstva v ZDA in Kanadi, od tega bo polovico prinesla imigracija. Povprečje rojenih otrok na žensko je v ZDA dva, v Kanadi pa 1,5. Poročilo primerja nerazvito Ugando in razvito Kanado, ki imata skoraj enako število prebivalstva. Uganda ima 34 milijonov, Kanada pa 31 milijonov prebivalcev. V poročilu predvidevajo, da bo do leta 2050 imela Kanada 42 milijonov ljudi, Uganda pa 96 milijonov. Po navedbah v tem poročilu naj bi do leta 2050 Indija prevzela dosedanje vodstvo Kitajske po skupnem številu prebivalstva. Kitajska, ki vodi aktivno politiko omejevanja rasti prebivalstva, naj bi imela do takrat 1,4 milijarde ljudi, Indija pa 1,7 milijarde. ZDA naj bi imele do takrat 439 milijonov ljudi in zasedle tretje mesto na svetu po številu prebivalstva.

Prenaseljenost ima katastrofalne posledice za planet. Prihaja do večje porabe virov, večjega onesnaževanja, pomanjkanja pitne vode in drugih problemov.

### **Rešitve**

Ukrepi v smeri zmanjšanja rasti prebivalstva so vsekakor nujni, vprašanje pa je, kakšni in kateri so sprejemljivi za vse. Splošno spoznanje je, da izboljšanje kvalitete življenjskih pogojev in izobraževanje vodi v manjše število otrok. Zelena revolucija po koncu druge svetovne vojne je omogočila razvoj kmetijskih praks in uporabo novih sort kmetijskih rastlin z visokim donosom. Pridelek se je povečal in do hrane

je prišlo več prebivalstva. Vendar pa je intenzivno kmetijstvo privedlo tudi do hude degradacije in obremenjevanja okolja. Izkazalo se je tudi, da posamezne sorte z visokim hektarskim donosom (predvsem osnovna živila, kot so riž, pšenica, koruza) zagotavljajo sicer zadostno količino kalorij, nimajo pa dovolj esencialnih hranilnih in mineralnih snovi. Torej kljub zadostnim količinam hrane je to še vedno vodilo v podhranjenost in presnovne bolezni zaradi prisotnosti strupenih snovi in pomanjkanja esencialnih hranil. Smiselne tehnološke rešitve na tem področju so vsekakor iskanje in uvajanje kmetijskih praks z manj negativnimi vplivi na okolje, kot tudi razvoj rastlinskih sort z visoko vsebnostjo esencialnih hranilnih snovi, odpornih na težje rastne razmere in z manjšo akumulacijo strupenih snovi iz okolja. Iskanje gre torej v smeri rešitev, ki vodijo v izboljšanje kakovosti življenjskih razmer.

Poleg okoljskih problemov globalnih razsežnosti so pomembni lokalni okoljski problemi, kot je onesnažen zrak, vključno s širjenjem neprijetnih vonjav, obremenjevanje tekočih in stoječih sladkih voda in podtalnice, širjenje hrupa in vibracij, obremenjevanje tal, komunalni in industrijski odpadki, nevarne snovi in drugi lokalni okoljski izzivi.

## 1.9 OBREMENJEVANJE ZRAKA

Vsak dan posameznik vdihne 20.000 litrov zraka. Pri vsakem vdihu tako obstaja nevarnost vdihne nevarnih snovi, ki so našle svojo pot v zrak v obliki plinov ali drobnih delcev. Zgoraj predstavljena problematika kislih padavin ima vzroke v obremenjevanju zraka z izpušnimi plini. Gre torej za lokalno obremenjevanje, vendar po svoji naravi čezmejno vprašanje. Onesnaževala v zraku, sproščena na določenem mestu, se lahko gibljejo s premikom zračnih mas ter škodujejo zdravju ljudi in okolju nekje drugje. Poleg obremenjenosti zunanega zraka z onesnaževali je pomembna tudi obremenjenost zraka v stavbah.

### *Vzroki in posledice*

Obremenjenost zunanega zraka škoduje okolju na različne načine. Zgoraj je bil opisan problem zakisanja - izpostavljenosti ekosistemov kislim padavinam, ki so posledica izgorevanja fosilnih goriv v industriji, termoelektrarnah, transportu in gospodinjstvih. Gre za žveplov dioksid in dušikove okside, ki prispevajo k nastanku kislih padavin. Zračni depoziti na drugi strani prispevajo k evtrofikaciji stoječih in tekočih voda. Tu gre predvsem za zračne depozite dušika, ki presegajo kritične obremenitve, ki jih ti ekosistemi lahko sprejmejo. Kot tretji vpliv onesnaženega zraka na ekosisteme lahko omenimo škodo na rastlinah, ki nastaja zaradi previsoke izpostavljenosti ozonu. S stališča nevarnosti za zdravje ljudi pa so drobni delci in prizemni ozon sedaj splošno priznani kot najbolj bistveni v smislu vplivov na zdravje. Dolgoročna in najvišja izpostavljenost lahko pripelje do različnih vplivov na zdravje, ki segajo od manjših vplivov na dihalni sistem do prezgodnje umrljivosti.

Pri drobnih delcih gre za skupno poimenovanje drobnih trdnih in tekočih delcev, ki izhajajo v atmosfero iz procesov, ki se odvijajo na zemeljskem površju. Drobni delci vključujejo prah, dim, saje, pelodni prah in delce prsti. Ozon v prizemni plasti je tisti ozon, ki ga najdemo blizu Zemljinega površja. Poimenujemo ga tudi ambientalni ali troposferski ozon.

Vzroki za obremenjevanje zraka so torej v veliki meri posledica izgorevanja fosilnih goriv. Omeniti je potrebno tudi druge vire obremenjevanja zraka z onesnaževali, kot so kmetijstvo in odlaganje odpadkov. Izhlapevanje dušikovih spojin in metana ob gnojenju in anaerobni razgradnji organskih odpadkov prispeva pomemben del emisij v zrak.

V Evropi so se emisije številnih onesnaževal zraka od leta 1990 bistveno zmanjšale, zaradi česar je zrak v regiji kakovostnejši. Od leta 1997 pa koncentracije trdnih delcev in ozona v zraku ne kažejo nobenega znatnega izboljšanja kljub zmanjšanju emisij. Bistven delež evropskega prebivalstva še vedno živi v mestih, v katerih so nekatere mejne vrednosti kakovosti zraka EU (določene za varstvo zdravja ljudi) presežene. Meteorološka variabilnost in naraščajoč prenos onesnaževal zraka na dolge razdalje iz drugih držav v severni polobli lahko delno pojasni, zakaj se kakovost zraka v EU ni bistveno izboljšala od poznih devetdesetih let prejšnjega stoletja kljub upadu emisij ključnih onesnaževal zraka.

### **Rešitve**

Tudi tu govorimo o dveh smereh nadzora: preventivnih in kurativnih ukrepih oziroma z njimi povezanim razvojem okoljskih tehnologij. Med instrumenti nadzora oziroma preventive je vsekakor omejitev rasti prebivalstva, razvoj tehnoloških rešitev z manjšo porabo energije in izboljšano energetske učinkovitostjo, zmanjšanje količine odpadkov in prehod na nove oblike energij, ki ne povzročajo obremenjevanja.

Pri kurativnih ukrepih gre za odstranjevanje nastalega onesnaženja z uporabo različnih tehnologij čiščenja obremenjenih izpustov zraka. Slednje metode so vsekakor dražje od preprečevanja onesnaževanja.

## 2 TRAJNOSTNI RAZVOJ

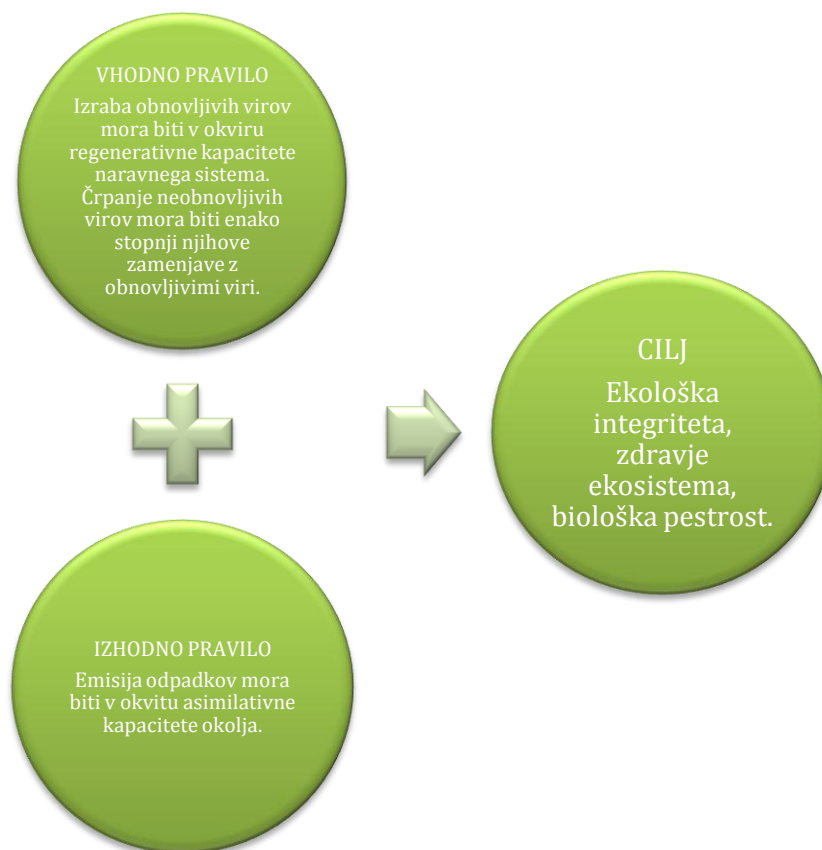
Definicij trajnostnega razvoja je kar nekaj, najbolj preprosta in najbolj nazorna pa je definicija svetovne komisije za okolje in razvoj (Burtlandska komisija), ki pravi, da trajnostni razvoj pomeni »razvoj, ki omogoča zadovoljiti trenutne potrebe, ne da bi pri tem ogrozili zadovoljevanje potreb prihodnjih generacij« (Our Common Future, 1987).

Razvoj lahko razumemo kot dejanja z ustvarjanjem sprememb za izboljšanje kvalitete človekovega življenja. Vendar pa raziskovalci okolja danes opozarjajo, da je mnogo oblik razvoja tako močno degradiralo naravno okolje, da to danes ogroža kakršno koli načrtovano izboljšanje človekovega življenja. Danes smo si tako enotni, da morajo biti človekovi posegi v okolje vzdržni: posegi ne smejo zmanjšati nosilnosti okolja do te mere, da enaki posegi ne bi bili več ponovljivi v prihodnosti. Zavedanje o potrebi po ohranjanju okolja je zato danes široko sprejeto.

Najpomembnejše vprašanje, ki se danes pojavlja, pa je še vedno: »Ali se lahko razvijamo na trajnostni način?« Vemo, da ima človekov razvoj negativen vpliv na okolje. Zavedamo se, da je naravno okolje omejeno s prostorom in količino virov. Od tod se poraja vprašanje, kako naj nadaljujemo z razvojem, ne da bi izčrpali vse dobrine. Tako se še danes pogosto dozdeva, da je varovanje okolja nezdržljivo z izrabo okoljskih dobrin za zadovoljevanje človekovih potreb.

### ***Kaj želimo ohraniti in vzdrževati?***

Razvoj naj bi torej izboljšal kvaliteto človekovega življenja. Kaj natančno pa imajo v mislih znanstveniki, ko govorijo o trajnostnem ali vzdržnem razvoju? Kaj naj bi vzdrževali, trajno ohranili? Vsekakor imajo v mislih ohranjanje naravnega okolja, njegovih vrst in sistemov v zdravem in funkcionalnem stanju. Čeprav se včasih dozdeva, da sta si doseganje zastavljenih razvojnih ciljev in ohranjanje okoljske trajnosti nasprotujoča, prihaja do splošnega spoznanja, da je obstoj človeške civilizacije odvisen od intaktnega in funkcionalnega naravnega okolja. Prispevek biološke raznolikosti k človekovi blaginji ter ekosistemskih dobrin in uslug je ogromen in nedvoumen. Pravzaprav so tako osnovni (neskončno dragoceni, neprecenljivi), da smo jih dolgo imeli za nekaj samo po sebi danega. Naša popolna odvisnost od sveta okrog nas postane posebej jasna, ko enkrat spoznamo in sprejmemo, da ne živimo ločeno od okolja, temveč da smo del okolja (Brennan in Withgott, 2005).



**Slika 2: Trajnostni razvoj: vhodno in izhodno pravilo.**

### ***Ljudje nismo ločeni od okolja***

Pogosto govorimo o »človeku in okolju«, »naravi in ljudeh«, kot da gre za dve ločeni stvari. Do teh ločitev v govoru in mišljenju prihaja, ker se v svojem dnevnem ritmu in modernem življenjskem slogu res počutimo ločeni od okolja. Živimo v hišah, potujemo z letalom, vodo dobimo v plastenki, hrano v trgovinah ... Ne zavedamo se več pravega izvora teh stvari oz. smo izgubili povezavo z našim okoljem. Kljub temu občutku izoliranosti pa nismo nič manj vezani na naše naravno okolje. O tem se prepričamo, če vzamemo v roko kateri koli prehrambeni izdelek v trgovini, npr. zavoj piškotov, oblitih s čokolado. Pregled sestavin na embalaži nam pove, da vsebuje pšenično moko, sladkor, oreščke, sol, čokolado in kup drugih sestavin. Pšenico so morda pridelali na domačih tleh in jo v tehnološkem postopku zmleli, presejali v belo moko. Za pridelavo so tla v ta namen gnojili in posevke zaščitili s fitofarmaceutskimi sredstvi, ki so jih pridobili s predelavo fosilnih goriv. Sladkor so morda pridelali drugod in ga transportirali do mesta uporabe s transportnimi sredstvi na nafto. V primeru domače pridelave in nadaljnje predelave sladkorja pa so v tehnološkem postopku potrebovali velike količine čiste vode. Tako bi lahko nadaljevali z izvorom vsake sestavine čokoladnega piškota in embalaže, v kateri ga najdemo na prodajni polici. Če hočemo ohraniti užitek, ki ga čokoladni piškot prinese v naše življenje, moramo torej ohraniti okolje, ki omogoča njegov nastanek. Ko se naučimo razmišljati na ta način in se zavedati, od kod prihajajo stvari, ki jih uporabljamo in cenimo vsak dan, si lažje predstavljamo, da smo del okolja. Ko ponovno vzpostavimo to povezavo, nam postane jasno, da nam le ohranjeno okolje oz. le okolje, s katerim skrbno ravnamo, nudi dobrine in izpolnjuje naše interese (Brennan in Withgott, 2005).

### **Rešitve »zmaga-zmaga« ali »win-win« so možne**

Ker so stvari, ki so dobre za okolje, tudi dobre za ljudi, so »zmaga-zmaga« rešitve gotovo v našem dosegu. Dosežemo lahko oboje, če se naučimo tega, kar nas lahko nauči znanost, če razmišljamo kreativno in če smo pripravljeni razvijati naše ideje.

Če torej zaradi naših vplivov izgublja okolje, bomo izgubljali tudi mi. Z degradacijo okolja lahko pravzaprav izgubimo prav ljudje. S spreminjanjem okolja lahko uničimo sami sebe in naša vrsta bo izumrla za zmeraj. Okolje si lahko v milijonih let opomore, biološka raznolikost se lahko počasi ponovno vzpostavi. Enkrat izumrla vrsta, kot npr. človeška, pa se ponovno kot taka ne bo nikoli več vzpostavila.

Če uspemo obdržati razmere v okolju v takem stanju, v katerem so omogočale življenje našim vrstam do danes, bomo lahko obdržali možnost obstoja vrst in ohranitev družbe še naprej. Z ohranjanjem naravnih virov in z iskanjem metod za pretvorbo naših odpadnih produktov v nove vire lahko omogočimo, da se bo naša družba obdržala in napredovala v prihodnje.

### **Ukrepi varovana okolja lahko okrepijo gospodarske možnosti**

S spoznanjem in zavedanjem o velikih negativnih vplivih človeka na okolje, kot tudi na človeka samega, je bila prva reakcija vzpostavitve zakonodaje z uvedbo zakonov in uredb, ki so omejevali določene aktivnosti na vseh področjih okolja, kot so voda, zrak, tla in ogrožene rastlinske in živalske vrste. V mnogih primerih je bilo to razumljeno kot omejevanje človekovih svoboščin, povečevanje stroškov proizvodnje in s tem zmanjševanje konkurenčnosti. Zakonodaja je npr. zaščitila območja in s tem naravne vire, od katerih je bilo odvisno lokalno prebivalstvo. Kot primer lahko navedemo prepoved neomejene sečnje dreves v gozdu za ohranitev habitata ogrožene ptice. V teh primerih so se pojavili protesti zaradi zmanjševanja števila delovnih mest. Širši pogled na problematiko pa pokaže, da so delovna mesta gozdarjev najbolj ogrožena takrat, ko je sečnja gozda razširjena v takšni meri, da se le-ta ne more obnavljati in morajo po končani sečnji gozdarji zapustiti regijo in iskati nove vire drugje.

V teh primerih je pogostokrat prezrto dejstvo, da se ob zatonu ene vrste industrije vzpostavi druga in prevzame njeno mesto. Danes so se tako v razvitih državah močno povečale dejavnosti na področju računalništva, visoke tehnologije in storitvene dejavnosti, manj pa je dejavnosti na področju pridobivanja fosilnih goriv. Z zmanjševanjem odvisnosti človeka od fosilnih goriv, tudi zaradi izrabe zalog, je pričakovati povečanje dejavnosti na področju sektorjev obnovljivih virov energije, kot je vodna, vetrna, geotermalna in sončna energija, tehnologiji gorivnih celic itd.

Poleg tega si ljudje želijo živeti na območjih s čistim zrakom, čisto vodo, neokrnjenimi gozdovi, na območjih s parki in obilo odprtega prostora. Zaščita okolja oz. čisto okolje povečuje privlačnost regije, zanimanje po gradnji bivališč in s tem dviguje ceno zemljišč, kar prinaša dohodke od davkov, s čimer se lahko financirajo različne družbene in socialne aktivnosti. Regije, ki so uspele obvarovati svoje okolje, so tako lahko obdržale in povečale svojo vrednost in kvaliteto življenja.

Danes je jasno, da ukrepi varovanja okolja ne vodijo v gospodarsko stagnacijo, temveč okrepijo gospodarske možnosti. O tem govori tudi dejstvo, da se je svetovno gospodarstvo v zadnjih tridesetih letih močno povečalo, to pa je ravno obdobje, v katerem so se tudi ukrepi varovanja okolja močno razširili.



Vzroki  
povečanja  
števila delovnih  
mest in rasti  
gospodarstva ob  
ukrepih  
varovanja okolja

- Nove okoljske tehnologije neposredno vplivajo na nastajanje novih delovnih mest in spodbujajo nastanek novih tehnologij med različnimi produkti in sektorji.
- Okoljske tehnologije, razvite v eni državi, se lahko izvažajo v drugo državo, kar privede do prihodka od izvoza in nastanka novih delovnih mest.
- Varovanje okolja povečuje privlačnost regije in s tem ohranjanje in povečanje stalnih prebivališč, kot tudi prihod podjetništva.
- Vladne investicije v okoljske tehnologije in investicije zasebnega sektorja lahko povečajo rast delovnih mest v času recesije.

**Slika 3: Vpliv ukrepov varovanja okolja na povečanje števila delovnih mest.**

### ***Tehnologija nam lahko pomaga do trajnostnega razvoja***

V glavnem je razvoj tehnologije tisti, ki je spodbudil porast števila naše populacije. Tu gre za razvoj v kmetijski pridelavi, industrijski razvoj ter napredek v medicini. Tehnologija je razširila, poglobila in okreplila človekov vpliv na okoljske sisteme na Zemlji. Vendar pa nam tehnologija lahko pomaga tudi zmanjšati vplive na okolje in doseči vzdržen oz. trajnostni razvoj.

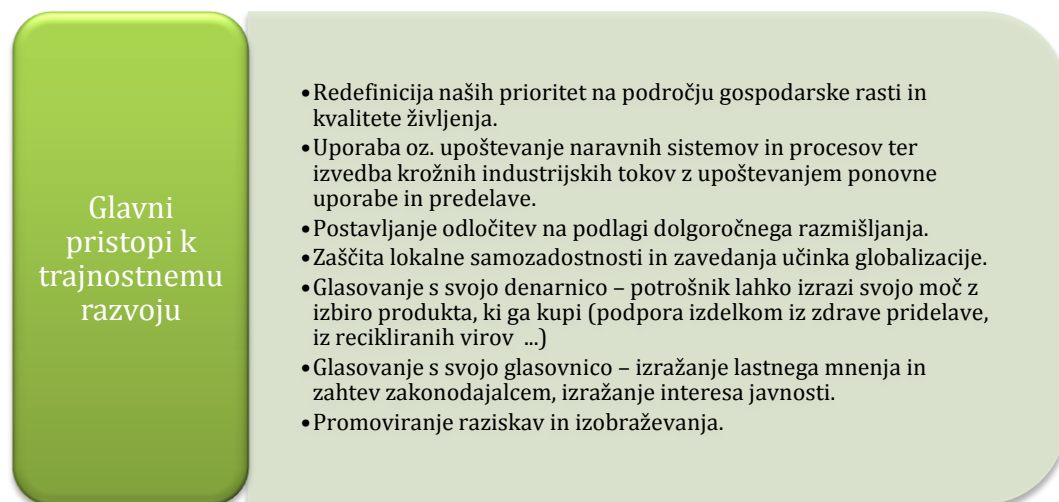
Med tehnologije, ki zmanjšujejo vplive na okolje, lahko štejemo avtomobilске katalizatorje, ki zmanjšujejo emisije. Tehnologije ponovne predelave oz. recikliranja in napredne tehnologije čiščenja odpadne vode nam omogočajo zmanjšanje izpustov odpadkov. Tehnologije pridobivanja sončne, vetrne in geotermalne energije omogočajo proizvodnjo čistejše in cenejše obnovljive energije. Sateliti nam omogočajo preprostejše sledenje in razumevanje velikih sprememb v okolju. Neštete izboljšave tehnologij so tako omogočile današnje življenje v čistejšem okolju, kljub še vedno visoki porabi virov.

Odgovorna proizvodnja in tehnologije, ki lahko vodijo v trajnostne rešitve, potrebujejo znanstvene raziskave. Znanstveno raziskovalno delo potrebuje financiranje. Da pride do državnega financiranja oz. podpore razvoja, je potreben pritisk javnosti oz. signal vladi s strani javnosti, kaj le-ta želi. Pogosto je prihajalo do tega, da se je razvoj obetajočih tehnologij zaustavil ali bil spregledan na račun slabših tehnologij, ki pa so imele podporo določenih močnih interesnih združenj. Tako je veliko osnovnih tehnoloških inovacij na področju obnovljivih energetskih virov nastalo že pred desetletji. Zaradi drugam usmerjenih državnih spodbud in nereguliranih zasebnih korporativnih interesov te tehnologije, ki bi že takrat lahko vodile v trajnostnejši razvoj, niso bile podprte. Namesto njih se je še vedno spodbujala poraba fosilnih goriv. Tako ni dovolj le razvijati tehnologij in predpostavljati, da bodo vse tehnologije koristne. Določiti je potrebno, kakšno tehnologijo hočemo in s pomočjo vladnih usmeritev in spodbud spodbuditi zasebni sektor k doseganju teh tehnoloških ciljev.

Do splošnega napredka v smeri trajnostnega razvoja pa ne bomo prišli le s pomočjo pametnih usmeritev razvoja tehnologij, temveč tudi z zadrževanjem rasti prebivalstva in z zmanjševanjem potrošnje.

## Trajnostne rešitve

Posameznih trajnostnih rešitev za okoljske probleme je nešteto. Obstaja vsaj toliko rešitev, kolikor je problemov. Izziv je v zadostni količini inovativnosti za pridobitev rešitve ter iznajdljivosti in vztrajnosti za premostitev političnih in ekonomskih ovir, ki ležijo na poti do njihove izvedbe in uporabe.



Slika 4: Glavni pristopi k trajnostnemu razvoju.

### 3 OPREDELITEV OKOLJSKIH TEHNOLOGIJ

V prejšnjem poglavju smo spoznali, da lahko z uporabo primernih tehnologij preusmerimo naš razvoj iz izključne rabe neobnovljivih virov iz okolja in stalnega spreminjanja in degradacije okolja z obremenjevanjem v trajnejšo oziroma vzdržnejšo obliko razvoja. V tem oziru gre za uporabo najrazličnejših tehnologij z učinkovitejšo rabo virov, uporabo obnovljivih virov energije in takih z zmanjšanim negativnim vplivom na okolje.

Evropska komisija je na tem področju sprejela več ukrepov v smeri trajnostnega razvoja in razvoja na področju okoljskih

tehnologij, ki ta razvoj podpirajo. Voditelji vlad držav članic EU so se na vrhu Evropskega sveta v Lizboni marca leta 2000 dogovorili o novem strateškem cilju Evropske unije, in sicer do leta 2010 postati *najbolj konkurenčno, dinamično ter na znanju temelječe gospodarstvo na svetu*, ki je

*Definicija okoljskih tehnologij po OECD/Eurostat iz leta 1999: v okoljske tehnologije sodijo aktivnosti, ki ustvarjajo izdelke in storitve za merjenje, preprečevanje, omejevanje, zmanjševanje ali popravljanje okoljskih škod na vodah, zraku ter tleh in rešujejo probleme v zvezi z odpadki, hrupom in ekosistemi. To vključuje čistejše tehnologije, proizvode in storitve, ki zmanjšujejo okoljska tveganja in minimizirajo onesnaženja ter uporabo virov. Čistejše tehnologije obvladujejo onesnaževanje z učinkovitim izboljševanjem procesov, za razliko od tehnologij klasičnega pristopa nadzora in ukrepanja na koncu proizvodnega procesa (end-of-pipe).*

sposobno trajnostne ekonomske rasti z večjim številom delovnih mest in boljšimi možnostmi zaposlovanja in večje socialne kohezije. Evropejci si namreč želijo blaginjo, čisto okolje, zdravje, socialno varnost in pravičnost. To si ne želijo le zase, ampak tudi za svoje otroke in vnuke. Izziv pa se je pojavil v iskanju rešitev za ohranitev zastavljenega zagona, ki ob spodbujanju gospodarske rasti hkrati spodbuja socialno dobrobit ter varstvo okolja. Evropski svet je prepoznal ta izziv in nujno potrebne spremembe potrdil, v Göteborgu leta 2001, s sprejetjem *Strategije trajnostnega razvoja*. Leta 2002 pa je Evropski svet v Barceloni tej strategiji dodal še zunanjo razsežnost. Načela in cilje trajnostnega razvoja – *gospodarska blaginja, socialna pravičnost, varstvo okolja in mednarodne odgovornosti* – je Evropski svet potrdil junija 2005, ko je sprejel vodilna načela za trajnostni razvoj; v razpravi evropskih predsednikov držav in vlad v Hampton Courtu oktobra 2005 so imela ta načela osrednjo vlogo (COM 122, 2002; KOM 37, 2005; KOM 218, 2005).

Okoljska politika Evropske unije temelji na prepričanju, da so gospodarska rast in blaginja, družbeni napredek ter varstvo okolja nedeljivo povezani in le ob skupnem napredku prispevajo k izboljšanju kakovosti življenja današnjih in prihodnjih rodov. Na področju okolja so danes največji izzivi podnebne spremembe, nevarnost zmanjšanja biotske raznovrstnosti ter nezaželeni vplivi obremenjevanja okolja na

naše zdravje, kot tudi smotrna uporaba naravnih virov in zmanjšanje količine odpadkov. EU se teh izzivov loteva s postavljanjem visokih okoljskih standardov ter s spodbujanjem novih načinov dela in čistejših tehnologij, ki na drugi strani tudi povečujejo konkurenčnost in inovativnost našega gospodarstva ter tako ustvarjajo delovna mesta in krepijo družbeni napredek. Temelj prizadevanj EU je zagotoviti, da njene odločitve na vsakem od teh treh področij - gospodarskem, socialnem in okoljskem - nimajo škodljivega učinka na drugi dve področji. Pri sprejemanju odločitev o kmetijstvu, ribištvu, prometu, energetiki, trgovini, razvoju itd. se tako vedno upoštevajo okoljski vidiki.

**Tabela 3: Temeljna načela okoljske politike EU.**

Odločitve okoljske politike EU temeljijo na naslednjih temeljnih načelih:		
- <b>preprečevanje je boljše kot čiščenje:</b> bolje je odpraviti onesnaževanje pri viru, kot pa se ukvarjati z njegovimi posledicami.	- <b>onesnaževalci morajo plačati za onesnaženje, ki ga povzročijo.</b>	- če kar koli močno kaže na porajajoč se okoljski problem, se sprejmejo <b>previdnostni ukrepi</b> tudi brez dokončne znanstvene potrditve.

**Tabela 4: Okoljski akcijski program EU.**

Okoljski akcijski program			
<b>Podnebne spremembe</b> - dolgoročni cilj je preprečiti, da bi globalna temperatura narasla za več kot dve stopinji v primerjavi s temperaturo v predindustrijski dobi.	<b>Narava in biotska raznovrstnost</b> - cilji EU ne obsegajo samo varstva obstoječih vrst, temveč tudi preprečevanje in nadzor vdora tujerodnih vrst v habitat, ki lahko porušijo ravnotežje naših ekosistemov.	<b>Okolje in zdravje ter kakovost življenja</b> - zmanjšati škodljivost onesnaževanja za naše zdravje.	<b>Naravni viri in odpadki</b> - cilj EU je zmanjšati tako vpliv uporabe virov na okolje kot nastajanje odpadkov ob enakem obsegu gospodarske rasti, kar v osnovi pomeni povečano rabo obnovljivih virov, več recikliranja in boljše ravnanje z ostanki odpadkov.

Pomemben vezni člen med Lizbonsko strategijo in strategijo trajnostnega razvoja je sprejet *Akcijski načrt okoljskih tehnologij* - Environmental technology action plan (COM 38, 2004). Okoljske tehnologije so tiste, ki lahko prispevajo h gospodarski rasti in obenem prispevajo k izboljšanju stanja okolja in ohranjanju naravnih virov.

Novi in inovativni okoljski tehnologije lahko prispevajo k ekonomski rasti na različne načine. Ob njihovi uporabi lahko znižamo stroške, potrebne za zaščito okolja, omogočajo nam več okoljske zaščite za manj denarja ali omogočajo doseganje trenutnih okoljskih standardov z nižjimi stroški. To omogoča sprostitvev finančnih sredstev, ki jih je nato mogoče uporabiti drugje v gospodarstvu. Omogočajo pa nam tudi ločitev obremenjevanja okolja in rabe naravnih virov od gospodarske rasti. To pa je tudi glavni cilj trajnostnega razvoja: rast gospodarstva ob ohranjanju okolja.

Jasno je, da ko danes govorimo o okoljskih tehnologijah, mislimo na bistveno več kot le na naprave za odpravo obremenjevanja na koncu tehnoloških procesov. Ko govorimo o okoljskih tehnologijah v širšem pomenu besede, v to področje vključujemo »integrirane tehnologije«, ki preprečujejo nastajanje onesnaževal v toku proizvodnega procesa, kot tudi uporabo novih materialov in obnovljivih energetske virov v proizvodnem procesu ter učinkovito rabo le-teh, uporabo okoljskega znanja in novih načinov dela. Okoljske tehnologije so danes že rastoča industrija.

**Tabela 5: Kaj pojmujeemo pod pojmom okoljske tehnologije?**

Okoljske tehnologije obsegajo			
Integrirane tehnologije, ki preprečujejo nastajanje onesnaževal v toku proizvodnega procesa.	“End-of pipe” tehnologije, ki zmanjšujejo sproščanje onesnaževal v okolje – čistilne tehnologije na koncu proizvodnega procesa.	Proizvodne procese z uporabo novih materialov, manjše količine energije oz. rabo alternativnih virov energije. Tehnologije pridobivanja obnovljivih virov energije.	Ekoremediacije: ekološki inženiring in ekosistemska obnova za ohranjanje ekosistemskih storitev; razvoj in uporaba na "naravi temelječih" procesov.

VIR: COM 122, 2002.

Gonilo razvoja določenih okoljskih tehnologij je izpolnjevanje zastavljenih okoljskih ciljev in okoljske zakonodaje in njihov razvoj in ponudba na trgu nista nujno odraz njihovega visokega finančnega donosa. V okviru OECD/Eurostat definicije gre za *eko-industrije* (ECO-INDUSTRIES), ki so nastale kot odgovor na spremembe v okolju (ki so posledica gospodarskih aktivnosti) in ki jih narekuje okoljska zakonodaja. Eko-industrije tako vključujejo vse aktivnosti, ki proizvajajo dobrine in storitve za preprečitev, ovrednotenje, omejitvev, zmanjšanje ali popravo okoljske škode v vodi, zraku ali tleh, kot tudi problemov, ki se nanašajo na odpadke, hrup in ekosisteme. Razdelimo jih lahko na tri področja: 1. upravljanje z obremenjevanjem, 2. uporaba čistih tehnologij in produktov ter 3. upravljanje z viri. Tu gre tako za razvoj visoko tehnoloških rešitev, kot tudi za razvoj tako imenovanih »mehkih« tehnologij in rešitev, kot so ekoremediacije.

Tabela 6: Delitev eko-industrij po dejavnostih.



Druga veja okoljskih tehnologij so »zmaga-zmaga« ali »win-win« rešitve, ki ponujajo oboje: izboljšano okoljsko delovanje in večje donose. Kot primer lahko vzamemo uporabo informacijske tehnologije v proizvodnem procesu, ki izboljša donosnost ob racionalnejši in manjši porabi virov. Manjša poraba virov ima tu tudi okoljsko korist, vendar pa le-ta ni bila glavni razlog izbire nove tehnologije oziroma izboljšanega tehnološkega postopka. Velja pa lahko tudi obratno: zamenjava neobnovljivih virov ali za okolje škodljivih materialov z novimi materiali lahko privede do konkurenčnejše proizvodnje oz. proizvodnje z višjo dodano vrednostjo. To so torej tehnologije, ki lahko ločijo gospodarsko rast od obremenjevanja okolja in naraščanja rabe virov.

Ko so se posamezne države začele aktivno ukvarjati s takojšnjim reševanjem okoljskih problemov, kot je gospodarjenje z odpadki ali zmanjševanje obremenjevanja zraka in vode, se je izvajanje ukrepov odražalo predvsem na uvajanju rešitev na koncu tehnoloških procesov: npr. izgradnja čistilne naprave za čiščenje odpadne vode ali onesnaženega zraka, uvedba tehnološkega postopka za ustrezno obdelavo nevarnih odpadkov itd. Danes pa je vse večji delež investicij v okoljske tehnologije usmerjen v integrirane ali čiste tehnologije. V tem primeru gre za tehnologije, ki so v prvi vrsti usmerjene v preprečevanje nastajanja okoljskih problemov, ki vključujejo tako preprečevanje obremenjevanja okolja kot tudi učinkovito upravljanje z viri. Gre torej za uvajanje naprednejših tehnologij z učinkovitejšimi proizvodnimi procesi, katerih končni rezultat je višji tržni donos in manjši negativni okoljski vpliv.

### 3.1 OKOLJSKE TEHNOLOGIJE PRIHODNOSTI

Tehnologija je v splošnem dvorezni meč. Predstavlja vzrok za mnoge okoljske probleme in je hkrati ključ za njihovo reševanje. Tehnologije oziroma industrija, ki uničuje in obremenjuje okolje, izpodkopava osnovne sisteme, ki podpirajo naše življenje, kot so čista voda, svež zrak, plodna zemlja. Spodbudno pa je, da se v vseh gospodarskih sektorjih (transport, industrija, kmetijstvo) pojavljajo nove okoljske tehnologije.

Glede na to, da se zaloge fosilnih energetskega virov znižujejo in da naraščajoče emisije ogljikovega dioksida še naprej vplivajo na zemeljsko podnebje in ekosisteme, je spodbujanje okoljskih tehnologij postalo nujno za doseganje trajnostnega razvoja naših gospodarstev. V zadnjem desetletju so nove tehnološke rešitve omogočile umik škodljivih, nevarnih ali redkih materialov in snovi in njihovo zamenjavo z varnejšimi in širše dostopnimi materiali (**zamenjava materialov**). Kot primer lahko navedemo odstranitev CFC-jev iz bele tehnike, odstranitev klora iz papirne industrije in svinca iz bencina. V različnih sektorjih pa je privedel razvoj visoko učinkovitih materialov do znatnega zmanjšanja porabe virov in povečanja ponovne uporabe in recikliranja (**dematerializacija**).

Okoljske tehnologije torej ponujajo rešitve za zmanjšanje materialnih vložkov, omejitev porabe energije in tvorbe emisij, predelavo dragocenih stranskih proizvodov in čim bolj učinkovito zmanjšanje težav v zvezi z odstranjevanjem odpadkov. Kot navaja Evropska agencija za okolje, okoljske tehnologije krepijo ekološko učinkovitost ali, povedano drugače, „naredijo več z manj“, podpirajo uporabo sistemov okoljskega ravnanja in naredijo proizvodne procese čistejše.

Evropa ima na voljo velike priložnosti za boljše uporabo najnovejših tehnologij pri porabi energije ter uporabi prometa in materialov. Evropska podjetja so se že izkazala kot uspešna pri pridobivanju obnovljivih virov energije, ravnanju z odpadki in recikliranju, kjer imajo 40- in 50-odstotni svetovni tržni delež.

Okoljske tehnologije nastopajo tudi v vlogi zbiranja informacij o okolju – spremljanje in zbiranje podatkov za opredelitev prisotnosti onesnaževal, sprememb v pokritosti tal ali odkrivanje učinkov na človeško zdravje z biološkim monitoringom.

Za uresničitev zmožnosti okoljskih tehnologij je treba vzpostaviti večjo tržno sprejemljivost. Nezaželenost ozaveščenost o resničnih stroških pridobivanja, uporabe in ravnanja z materiali in energijo je še vedno velika ovira za obširnejše izvajanje številnih inovacij na področju okoljskih tehnologij.

V nadaljevanju je prikazanih nekaj tehnoloških področij, kjer je prišlo do razvoja pomembnih inovacij na področju okoljskih tehnologij.

#### ***Energetika: pridobivanje, ohranjanje in raba energije***

Od leta 1971 je poraba energije porasla za 70 % in pričakovati je, da bo poraba še naraščala. S porastom gospodarske rasti se v večini držav še vedno povečuje tudi poraba energije. Glavni problem naraščanja porabe energije pa ni v samem naraščanju porabe energije, temveč v dejstvu, da so glavni vir te energije fosilna goriva. Njihova raba pomembno vpliva na kvaliteto zraka, stanje v atmosferi in klimo – izpust toplogrednih plinov in njihov vpliv na podnebne spremembe.

Na tem področju Evropska komisija izvaja več zavezujočih politik. Ena od teh je skupna politika varovanja okolja s sprejetjem omejevanja izpustov toplogrednih

plinov, predvsem CO<sub>2</sub>. Želja EU je, da postane EU gospodarstvo z nizko proizvodnjo CO<sub>2</sub>, ki je manj odvisno od fosilnih goriv ter kar se da izkorišča obnovljive vire energije za proizvodnjo elektrike, ogrevanje in ohlajevanje prostorov in v prometu.

Med pomembne potencialne ukrepe EU na tem področju sodi program ukrepov energetske učinkovitosti. Bistveno je zmanjšanje porabe energije, povečanje deleža obnovljivih virov energije ter zmanjšanje uvozne intenzivnosti. Energetska učinkovitost je zato tudi najhitrejši način zmanjševanja ali vsaj omejevanja naraščanja porabe energije in posledično emisij toplogrednih plinov. Evropska komisija je 22. oktobra 2007 sprejela evropski strateški energijsko-tehnološki plan, imenovan SET Plan (Strategic Energy Technology Plan), ki vsebuje ukrepe, ki bi EU omogočili doseči ključni cilj, tj. zmanjšanje celotne porabe primarne energije za 20 % do leta 2020. Če bo načrt uspešen, bi to pomenilo, da bi do leta 2020 EU porabila približno 13 % manj energije kot danes in bi s tem prihranila 100 milijard evrov in v atmosfero izpustila približno 780 milijonov ton CO<sub>2</sub> manj na leto. Toda to bo zahtevalo precejšnji napor v smislu vedenjskih sprememb in dodatnih naložb.

Ključni ukrepi vključujejo:

- pospešitev uporabe energetske učinkovitih prevoznih sredstev v prometu in večji izkoristek javnega prevoza;
- strožje standarde in boljše označevanje naprav;
- izboljšanje energetske učinkovitosti obstoječih stavb in pripravo načrtov za grajene objekte z majhno porabo energije kot standard novih stavb;
- dosledno uporabo obdavčevanja za doseganje učinkovitejše izrabe energije;
- izboljšanje učinkovitosti proizvodnje toplote in električne energije, prenosa in distribucije;
- nove mednarodne sporazume o energetske učinkovitosti za spodbujanje splošnih prizadevanj.

Sprejetje ukrepov je spodbudilo razvoj energetske učinkovitejših naprav, izboljšanje energetske učinkovitosti stavb, uporabo obnovljivih virov energije, pa tudi razvoj tehnologije za njihovo pridobivanje. Še vedno pa ostaja veliko neizkoriščenega potenciala pri razvoju in uporabi obnovljivih virov, kot je vodna energija, biomasa, vetrna energija itd. Velik potencial za razvoj ostaja tudi na drugih področjih, kot je npr. učinkovitejša poraba goriva v avtomobilski industriji. Po nekaterih ocenah naj bi tako izbira primerne tehnike gradnje (toplotna izolacija, zasteklitev itd.) in nov sistem gospodarjenja z energijo dosegel 20 do 25 % zmanjšanje emisij toplogrednih plinov iz stavb v naslednjih desetih letih.

Pomembna tehnološka izboljšanja in širitev trga se pričakujejo tudi za manjše rešitve v zvezi s pridobivanjem energije iz odpadkov in razvoj majhnih energetske sistemov na podlagi biomase.

## ***Transport***

Vse vrste transporta porabijo v svetovnem merilu eno četrtno celotne energije (32 % porabe energije v EU, ki še narašča), kar se odraža tudi v emisiji toplogrednih plinov. Transportni sektor je praktično 100-odstotno odvisen od nafte in porabi približno polovico svetovne proizvodnje nafte. Naraščajoča poraba močnejših vozil in povečanje števila lastnikov vozil sta prevladala nad napredkom, ki je bil storjen na področju učinkovitejše rabe energentov v vozilih. Tako je porast transporta privedla do 21-odstotnega povečanja porabe energije med leti 1990 in 1999. Poleg tega se ocenjuje, da so zunanji socialni in okoljski stroški transporta okrog 8 % BDP in le učinkovitejše okoljske tehnologije lahko ta strošek znižajo.



Cilj ukrepov EU na področju transportnega sektorja je v podpori razvoja okolju prijaznejših transportnih sredstev (železnica, notranja vodna plovba, pomorski transport) in spodbujanju porabe alternativnih goriv v javnem transportu. Končno izvajanje vseh teh ukrepov pa je odvisno predvsem od razvoja na področju okoljskih tehnologij, kot je npr. razvoj avtomobilov z vodikovim pogonom itd.

Velik pomen ima tudi uporaba informacijske tehnologije pri upravljanju transporta (inteligentni transportni sistemi), ki lahko pomembno prispeva k zmanjšanju prometnih zastojev in z njimi povezanimi okoljskimi vplivi.

### ***Uporaba virov v industrijski proizvodnji***

Vpliv industrije na okolje v EU v splošnem upada, vendar pa industrijska proizvodnja še vedno ni zanemarljiv vir obremenjevanja okolja in industrijske emisije morajo biti še vedno predmet regulatorne kontrole. V letu 1999 je proizvodna industrija še vedno prispevala 28 % k celotni porabi energije in 20 % k izpustu ogljikovega dioksida in žvepovega dioksida v EU. V zadnji dekadi je sicer tehnologija na področju industrijske eko-učinkovitosti napredovala. Industrijsko obremenjevanje okolja je še posebej značilno za težko industrijo, kot so železarska in jeklarska industrija, naftne rafinerije, papirniška industrija in industrija organskih kemikalij.

Tudi na tem področju še vedno ostaja velik potencial razvoja tehnologij za zmanjševanje okoljskih vplivov. Primeri tehnologij z velikim potencialom so razvoj alternativnih cementnih materialov, izboljšanje tehnologije proizvodnje aluminija v smeri znižanja porabe električne energije itd. Vedno bolj narašča uporaba obnovljivih materialov (npr. snovi rastlinskega izvora), kjer pa so še možnosti razvoja, npr. v posameznih sektorjih kemične industrije.

Na voljo je vedno več biotehnoloških tehnik, ki ponujajo možnost zmanjševanja porabe surovin in energije, kot tudi zmanjšanje onesnaževanja s proizvodnjo ponovno uporabljivih in biološko razgradljivih materialov ob enaki proizvodni kapaciteti. Biotehnologija tako danes postaja pomembna tehnološka panoga, ki omogoča razvoj čistejših industrijskih produktov in procesov, kot je npr. biokataliza (uporaba encimov – pospeševalcev reakcij, pridobljenih iz naravnih materialov). Koristi novih biotehnoloških postopkov so se pokazale v tradicionalnih industrijah, kot so tekstilna, usnjarska, papirniška itd. Potencial se kaže tudi na področju bioremediacije (uporaba mikroorganizmov) in fitoremediacije (uporaba rastlin) na področju čiščenja onesnaženega zraka, tal in vode.

Izpostavimo lahko tudi vzpostavitev pametnih omrežij. To področje je najbolj poznano na področju elektrike, ko gre za razvoj sistemov v smeri manjše porabe elektrike. V tej smeri pa bi bilo potrebno razmišljati tudi na področju porabe vode. Danes prihaja še vedno do ogromnih izgub vode v gospodinjstvih, proizvodnji, kmetijstvu in urbaniziranih območjih. Z razvojem tehnik učinkovitega nadzora in beleženja porabe bi lahko dosegli velike prihranke. Gre za razvoj in izgradnjo izboljšane infrastrukture kot tudi razvoj informacijske tehnologije na tem področju. Trg na tem področju lahko razdelimo na pet segmentov: kartiranje vodnih virov, postavitve infrastrukture, nadzor kvalitete vode, področje merjenja porabe in področje namakanja. Poleg razvoja tehnik ima na vseh teh področjih velik pomen tudi osveščanje oziroma izobraževanje prebivalstva o potrebah po zmanjševanju porabe in obremenjevanja okolja.

## ***Gospodarjenje z odpadki***

V povprečju je evropski državljan odvrigel za 10 % več komunalnih odpadkov v letu 2007 v primerjavi z letom 1995 (Eurostat). V Sloveniji smo tako v letu 2007 odvrigli nekaj več kot 400 kg odpadkov na prebivalca, medtem ko ta količina na Danskem na prebivalca znaša 800 kg. Zavedanje negativnega vpliva trenda naraščanja odpadkov se je odražalo v sprejetju različnih ukrepov, kot so višji prispevki na generirane odpadke, sprejetje ostrejših pravil glede zbiranja in odlaganja odpadkov, s čimer je postalo gospodarjenja z odpadki zelo dinamično področje.

Tehnologije na tem področju pokrivajo zelo širok spekter metod ravnanja z odpadki, kot npr. boljše naprave in vozila za zbiranje odpadkov, učinkovitejše recikliranje materialov, kot so papir, kovine, steklo; izboljšanje naprav za mehansko ločevanje, nove tehnologije za obdelavo organskih odpadkov itd. Vse te nove tehnologije predstavljajo dobro osnovo za znatno zmanjšanje končnega odlaganja odpadkov in ponovno uporabo nastalih odpadkov na optimalen način.

Druga zanimiva perspektiva na tem področju je v možnosti pridobivanja energije iz različnih odpadnih frakcij (različne vrste blata, odpadne gume, zeleni odpad itd.) Vse te različne frakcije lahko znatno prispevajo k proizvodnji energije, vendar pa je potrebno pri tem poskrbeti za zadovoljivo čiščenje nastalih plinov.

## ***Ribištvo***

Ribištvo predstavlja eno izmed glavnih groženj morski biodiverziteti, še posebej zato, ker lov ni tarčno usmerjen, temveč se lovi vse, kar se ujame, neuporabno pa se zavrže. Velik negativni vpliv ima tudi fizično uničenje morskega dna z določeno vrsto opreme za lovljenje. Na tem področju je zato velik poudarek na razvoju novih lovilnih tehnik in opreme, ki npr. preprečuje izlov tržno nezanimivih rib in vključuje uporabo vlečnih ribiških mrež z manjšim vplivom na morsko dno. Še vedno pa ostaja veliko prostora za razvoj novih tehnik in opreme, ki bi imele manjše stranske učinke. Glede na svetovno razsežnost problema pa se kaže tudi velik trg za prodajo teh novih tehnoloških rešitev. Podobno si lahko rastoče področje ribogojstva obeta nove rešitve in koristi z razvojem okoljskih tehnologij na področju krmil, zadrževalnih objektov, zmanjševanja odpadkov, nadzora nad boleznimi, učinkovito čiščenje odpadne vode z možnostjo ponovne uporabe v sladkovodnem ribištvu itd.

## ***Informacijske in komunikacijske tehnologije***

Učinkovito usmerjanje in pospeševanje razvoja informacijskih in komunikacijskih tehnologij je lahko ključ celotnega razvoja. Informatizacija tehnološkega postopka lahko omogoča zmanjšanje porabe surovin in transporta, zmanjšata potrebo po zalogah in skladiščih; boljša logistika in transport lahko zmanjša količino potovanj in prevoza praznih tovornjakov; učinkoviteje so lahko izrabljeni pisarniški in proizvodni prostori itd.

Z napredkom v komunikaciji lahko dosežemo, da produkti postanejo nove storitve. Priročnik z navodili lahko tako postane v elektronski obliki interaktivna tehnična svetovalna storitev; časopis v elektronski obliki postane elektronski servis novic; dostop do internetno dostopnega zdravstvenega svetovanja lahko izboljša kvaliteto storitev in zmanjša nepotrebno pot.

V splošnem je pričakovati, da bo razvoj informacijske infrastrukture spremenil osnovna pravila industrijske družbe in ji omogočil strukturne spremembe v organizaciji transportne infrastrukture in v načinu našega dela in življenja. Že več

kot 10 milijonov Evropejcev dela na daljavo in več kot 25 % delovne sile uporablja računalnik za delo doma. Danes že praktično vsako podjetje uporablja elektronske storitve, ki jih ponujajo komunikacijska omrežja. Te spremembe so tiste, ki nam lahko omogočijo ekonomsko rast, ločeno od rasti transporta, in prinesejo nove zaposlitvene priložnosti v lokalne skupnosti.

## **4 REALIZACIJA OKOLJSKIH TEHNOLOGIJ V KONTEKSTU OKOLJSKE ZAKONODAJE**

Lahko rečemo, da okoljske tehnologije ponujajo naraven most med gospodarstvom, socialo in okoljem. Nove in inovativne okoljske tehnologije omogočajo dvig okoljskih standardov ob hkratnem zniževanju stroškov, kar spodbuja gospodarsko rast, vendar tako, da ta ne presega nosilnostne kapacitete okolja. To je tudi ključna usmeritev trajnostnega razvoja.

V okviru Evropske unije lahko rečemo, da Lizbonska strategija in obstoječi ukrepi pomagajo v smeri spodbujanja razvoja okoljskih tehnologij, vendar pa sami niso zadostni. Za uresničitev polnega potenciala je potrebno analizirati tržne ovire, ki preprečujejo širšo uveljavitev novih okoljskih tehnologij in jih spodbuditi z uporabo novih tarčnih ukrepov.

Ovire, ki nastopajo na trgu in omejujejo razširitev novih okoljskih tehnologij, so podobne, kot jih najdemo pri pojavu drugih novih tehnologij. V fazi razvoja se pojavlja pomanjkanje sredstev za razvoj, strah pred tveganjem in nezanesljivostjo, pomanjkljive informacije o učinkovitosti tehnologije in pomanjkanje ustreznega strokovnega znanja. Tu si lahko okoljske tehnologije popolnoma pomagajo z zakonodajo s področja spodbujanja preostalega tehnološkega razvoja.

Vendar pa zakonodaja, ki naj bi pospeševala uveljavljanje inovacij na področju okoljskih tehnologij, sega širše od splošnega področja tehnološke zakonodaje. Okolje v obliki čistega zraka in vode, stabilnih podnebnih razmer in obilja naravnih virov in velike biotske pestrosti je skupno dobro. Zaradi pomanjkljivih, nepopolnih ali manjkajočih trgov za te skupne okoljske dobrine je pričakovana stopnja donosa iz investicij v okoljske tehnologije na posameznih področjih nižja, kot bi bila, če bi cene odražale polno vrednost okoljskih dobrin ali storitev. Brez ustreznih ukrepov to vodi v sistematično pod-investiranje v inovativne okoljske tehnologije, tako s strani podjetij kot s strani gospodinjstev. Če torej ni zadostnega povpraševanja po okoljsko in stroškovno učinkovitih rešitvah, tudi ni nobene spodbude po raziskovanju in inoviranju na tem področju. V tem delu potrebujeta razvoj in uporaba okoljskih tehnologij posebne zakonodajne ukrepe in spodbude.

V okviru Evropske unije je danes vzpostavljen mehanizem cele vrste politik s skupnim ciljem spodbujati razvoj in uporabo okoljskih tehnologij ob hkratnem varovanju okolja. Pomemben inštrument je na primer vzpostavitev sistema trgovanja s toplogrednimi plini. Cilj tega ukrepa je vzpostaviti stalno spodbudo k iskanju načinov za zmanjšanje emisij plinov velikih obremenjevalcev, saj to upravljavcem omogoča prodajo deleža dodeljene kvote dovoljenega izpusta in s tem zmanjševanje celotnih stroškov svoje proizvodnje. Med ostalimi ekonomskimi

inštrumenti so še okoljske dajatve (takse) za obremenjevanje in rabo virov po principu onesnaževalec plača, ali pa oprostitev plačevanja dajatev ob vlaganju sredstev v naprave za varovanje okolja, ker vse skupaj spodbuja razvoj novih tehnoloških rešitev.

Najpomembnejši vpliv na inovacije na področju okoljskih tehnologij ima tako okoljska zakonodaja. Z jasno opredelitvijo prioritet na področju varovanja okolja in ohranjanja narave so tako zastavljene jasne usmeritve o tem, kje so nove tehnologije in rešitve najbolj potrebne. V tem kontekstu 6. okoljski akcijski program »Okolje 2010: Naša prihodnost, naša izbira« izpostavlja področja okoljskih prioritet za naslednjih deset let, ki so:

- zmanjševanje podnebnih sprememb,
- zaščita narave in biotske pestrosti,
- izboljšanje zdravja okolja in kvalitete življenja,
- gospodarjenje z naravnimi viri in odpadki.

Specifične cilje za vsako področje pa obravnavajo različni segmenti okoljske zakonodaje.

Direktiva na področju integriranega preprečevanja in nadzora nad obremenjevanjem okolja (Integrated pollution prevention and control - IPPC) je pomembno gonilo za razvoj in razširitev uporabe okoljskih tehnologij. Upravljalci naprav z večjim obsegom obremenjevanja morajo zaprositi za dovoljenja za nadaljnje obratovanje na podlagi uporabe najboljših razpoložljivih tehnik (best available techniques BAT) na svojem področju industrije (IPPC v Sloveniji, 2008).

Zanimivi ekonomski inštrumenti na področju spodbujanja uporabe okolju prijaznih produktov in s tem razvoja okoljskih tehnologij so prostovoljni ukrepi, za katere se odločijo podjetja. Takšen je npr. pridobitev statusa EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) oziroma vpis v njegov register, kjer se podjetje zaveže k učinkovitemu okoljskemu upravljanju v podjetju, kot tudi k stalnemu nadzoru in nadgradnji obstoječega sistema okoljskega upravljanja v podjetju. Gre za nadgradnjo standarda ISO 14001 - sistemov ravnanja z okoljem. Takšen način pridobivanja okoljskih oznak zagotavlja potrošnikom informacije, po katerih lahko identificirajo okolju prijazne produkte in spodbujajo njihovo potrošnjo v pravi smeri.

#### ISO 14001

Sistem ravnanja z okoljem zajema celovito obvladovanje okoljskih vidikov proizvodne ali storitvene dejavnosti. Obsega izpolnjevanje zakonskih zahtev in uravnavanje stroškov, učinkovito izkoriščanje virov, preprečevanje onesnaževanja ter odzivanje na zahteve in pričakovanja poslovnih partnerjev našega podjetja, lastnikov oz. ustanoviteljev organizacije in širše javnosti. Smernice za sistem ravnanja z okoljem, ki ga narekuje standard ISO 14001, podjetju omogočajo, da uresničuje okoljevarstvena načela svoje okoljske politike. Na ta način lažje obvladuje morebitne nevarnosti za okolje, se nenehno izboljšuje in prilagaja novim zahtevam kupecev, trga, zakonodaje ter napredku znanosti in tehnologije.

#### Shema EMAS

(ECO - Management and Audit Scheme - sistem okoljskega ravnanja in presojanja) je namenjena ocenjevanju in izboljševanju učinkov ravnanja z okoljem v organizacijah ter informiranju javnosti o teh učinkih. Odrprtost, odkritost in periodično objavljane preverjenih okoljskih informacij so ključni dejavniki, ki ločijo shemo EMAS od ISO 14001. Okoljska izjava predstavlja glavni način seznanjanja javnosti z rezultati nenehnega izboljševanja učinkov ravnanja z okoljem in je hkrati priložnost za promocijo pozitivne podobe organizacije pri kupcih, dobaviteljih, okolici, pogodbenikih in zaposlenih. Organizacija lahko objavi tudi preverjene izvlečke iz okoljske izjave, s katerimi želi približati okoljske rezultate posameznim zainteresiranim stranem. Zahteve za vzpostavitev, verifikacijo in registracijo sistema ravnanja z okoljem po shemi EMAS podajata uredba 761/2001/ES in odločba komisije ES o smernicah za izvajanje uredbe 681/2001/ES.

#### Energetski standard SIST EN 16001:2009:

sistematično ureja energetske učinkovitost v podjetjih z vidika zasnove energetske politike podjetja, ciljev prednostnih akcij, z vidika organizacijske strukture in sistematiziranega nadzora. Gre za ukrep, ki podjetju omogoči učinkovito rabo energije, zniža stroške za energijo in izboljša rezultate poslovanja. Standard temelji na procesnem in sistemskem pristopu, razdeljenem na šest glavnih področij: splošne zahteve, energetska strategija, načrtovanje, izvedba in delovanje, preverjanje in pregled energetskega menedžmenta s strani vodstva podjetja.

## 5 UPRAVLJANJE Z OBREMENJEVANJEM OKOLJA – ODSTRANJEVANJE ONESNAŽENJA

V tem poglavju so opredeljeni predvsem načini odstranjevanja onesnaževal potem, ko so le-ta že nastala. Gre za različne **tehnologije nadzora in ukrepanja na koncu proizvodnega procesa**, imenovane »**end-of-pipe**« tehnologije (Glavič, Lukman, 2007). V okviru **čiščenja** govorimo o odstranjevanju in pretvorbi neželenih mehanskih delcev, organskih spojin in drugih nečistoč. Proces odstranjevanja je lahko mehanski, kemijski ali biološki s končnim ciljem izboljšanja stanja okolja in kvalitete življenja. O »**end-of-pipe**« tehnologijah govorimo v primeru čiščenja onesnaževal na koncu proizvodnega procesa, ko so že nastali vsi produkti in odpadki in ko prihaja do odvajanja odpadnih snovi skozi cevi, dimnike ali druga mesta izpustov. V tem pristopu gre za zmanjšanje neposrednega sproščanja onesnaževal v okolje z namenom doseganja dopustnih vrednosti v okviru okoljske zakonodaje. Pri tem gre včasih le za prenos onesnaževal iz enega v drug medij, torej le za začasen odlog v povzročanju okoljskega problema.

### Obremenjevanje okolja - onesnaževanje

Prisotnost ali delovanje katere koli snovi v vodi, tleh ali zraku, ki znižuje kvaliteto naravnega okolja, uničuje videz, povzroča neprijeten vonj ali okus in predstavlja nevarnost za zdravje.

Prisotnost onesnaževal, ki zmanjšajo uporabnost naravnih virov.

Neželeno stanje naravnega okolja, ki je onesnaženo z nevarnimi snovimi, ki so posledica človekove aktivnosti.

Govorimo tudi o nadzoru nad obremenjevanjem okolja, ki ga lahko definiramo kot »pristop, ki je načrtovan za zmanjšanje vplivov onesnaževal, ki nastajajo, še preden se jih odvede v okolje; to dosežemo z izbranim načinom čiščenja« (Glavič in Lukman, 2007). Pristop nadzora nad obremenjevanjem okolja se osredotoča na zajetje in čiščenje in ne na zmanjševanje nastajanja količine onesnaževal na njihovem izvoru. Gre za pristop »odziva in postopanja (čiščenja)«. Vključuje tehnologije nadzora in ukrepanja na koncu proizvodnega procesa, zmanjševanja količine emisij, čiščenja in nadzora nad obremenjevanjem (monitoringa). Glede na to, da tehnologije kot take ne vplivajo na zmanjšanje porabe virov in zmanjševanja nastanka onesnaževal na njihove izvoru, ter glede na to, da gre pogosto za prenos onesnaževala iz enega medija v drugega, te tehnologije niso v skladu z vizijo trajnostnega razvoja. V sklopu celovitih ukrepov, kot so zmanjšanje porabe virov in energije, uporabe obnovljivih virov energije in čiste proizvodnje z zmanjševanjem količine onesnaževal na izvoru, pa so vsekakor pomemben del varovanja okolja in prispevka k trajnostnemu razvoju.

V okviru zmanjševanja in odpravljanja nastalega obremenjevanja okolja obravnavamo naslednja področja:

- omejevanje in preprečevanje zračnega obremenjevanja
- čiščenje odpadnih voda,
- gospodarjenje s trdnimi odpadki,
- čiščenje onesnaženih tal in podtalnice,
- varstvo pred hrupom in vibracijami,
- varstvo pred ionizirajočimi sevanji,
- preprečevanje svetlobnega obremenjevanja.

Pri obremenjevanju okolja je vsekakor potrebno upoštevati tudi nenačrtno in načrtno degradacijo krajine ter nefunkcionalno izrabo okolja (Vuk, 2000). Načini zmanjševanja in odpravljanja tovrstnega obremenjevanja, ki zahtevajo ekosistemski pristop, so predstavljeni v zadnjem poglavju.

## 5.1 ČIŠČENJE ODPADNIH VODA

Pred iztokom v okolje je potrebno očistiti odpadno vodo, ki nastaja v gospodinjstvih – komunalna odpadna voda, v industriji ter površinski odtok padavinske odpadne vode z različnih površin, kot so cestišča in strehe – meteorna odpadna voda. Uporabljeni postopki čiščenja se glede na vrsto odpadne vode razlikujejo. Skozi čistilni proces oziroma pripravo gre tudi voda, ki jo uporabljamo za pitje. V vseh primerih čistilni proces ponavadi sestavlja primarno, sekundarno in terciarno čiščenje, ki lahko vključuje mehanski, kemični ali biološki proces čiščenja.

Glavna onesnaževala, ki jih moramo odstraniti iz odpadne vode, predstavljajo večji neraztopljeni delci, organske odpadne snovi (biološko lažje ali težje razgradljive snovi) in anorganske snovi. Organske snovi predstavljajo beljakovine, ogljikovi hidrati, maščobe in olja ter težje razgradljive organske snovi, kot so npr. različne aromatske spojine in ostanki naftnih derivatov. V skupini anorganskih spojin so pomembna skupina onesnaževal rastlinska hranila, kot so dušikove in fosforjeve spojine, ki jih moramo odstraniti iz odpadne vode, različni elementi v sledovih in težke kovine. V industrijskih odpadnih vodah se pojavlja še cela vrsta drugih anorganskih spojin, ki so posledica razvoja in uporabe novih spojin kot dodatkov različnim produktom. V komunalni odpadni vodi pa so poleg mikrobiološkega onesnaženja pomembna tudi različna onesnaževala, ki izhajajo iz uporabe produktov za osebno higieno, detergentov in zdravil ter drugih spojin, ki jih uporabljajo v industriji, medicini itd. Gre za spojine, ki se lahko pojavljajo v zelo nizkih koncentracijah, a z velikim učinkom (so potencialno rakotvorne, endokrini motilci, strupene ...) in so težje biološko razgradljive.

Ko govorimo o **primarnem čiščenju** odpadne vode, gre za odstranjevanje trdnih neraztopljenih delcev iz vode s pomočjo mehanskih sistemov, kot so grablje, peskolovi in usedalniki. Z oljelovilcem odstranimo maščobe in olja, ki plavajo na vodni gladini. Z grabljami odstranimo večji plavajoči kosovni material. Sita predstavljajo sistem kontinuiranega odstranjevanja manjših trdnih odpadkov z vodne površine. Usedanje peska v peskolovih dosežemo z upočasnitvijo toka odpadne vode, kjer se bistveno težje snovi od vode usedejo. V klasičnih bioloških čistilnih sistemih sodi v sistem primarnega čiščenja tudi primarni usedalnik, v katerem se z usedanjem odstranijo večji organski delci in mikrobi. S primarnim čiščenjem pri komunalni odpadni vodi odstranimo 60 odstotkov trdnih snovi, 30

odstotkov BPK (biološke potrebe po kisiku – analitska oznaka za ovrednotenje količine organsko razgradljivih snovi v odpadni vodi, ki je opredeljena s količino potrebnega kisika za njihovo aerobno razgradnjo). V primarno stopnjo čiščenja odpadne vode štejemo tudi različne metode, pri katerih dodajamo odpadni vodi kemijske spojine, filtrirne medije ali vpihujemo kisik, da dosežemo boljše ločevanje trdne in tekoče faze. Govorimo o metodah pospešenega obarjanja s koagulacijo in kosmičenjem ali flokulacijo; flotacije in filtracije. Pospešeno usedanje delcev – obarjanje dosežemo z uporabo kemičnih dodatkov – koagulantov (aluminijev sulfat, železov klorid, različni sintetični polimeri), ki pospešijo združevanje delcev v vodi – kosmičenje in s tem njihovo hitrejše usedanje na dno – obarjanje. V primeru flotacije uvajamo v odpadno vodo zrak. S spajanjem mehurčkov zraka okrog trdnih snovi nastajajo kosmi, ki so lažji od vode in se dvigajo na površje. Pri postopkih filtracije pa usmerjamo vodo skozi porozne materiale različnih pornih volumnov in granulacij. Pri tem je potrebno filter ob zamažitvi zamenjati ali regenerirati (čiščenje filtra s povratnim tokom vode).

V procesu **sekundarnega čiščenja** iz vode odstranjujemo raztopljene snovi, večinoma z biološkimi metodami. Gre za reaktorske sisteme, v katerih so mikroorganizmi, ki razgrajujejo in vgrajujejo raztopljene odpadne snovi iz vode. Glede na prisotnost kisika v procesu ločimo aerobne in anaerobne reaktorje. Glede na to, ali so mikroorganizmi suspendirani ali pritrjeni, pa delimo sisteme s suspendirano in pritrjeno biomaso. Glede na način vstopa in izstopa vode v reaktor ter način mešanja vode obstaja še več podtipov reaktorjev s suspendirano biomaso (reaktor s polnim mešanjem, saržni reaktor ...) V okviru sistemov s pritrjeno biomaso pa ločimo variante s fiksno nosilno površino, skozi katero teče voda, in premično nosilno površino (precejalniki, rotirajoči biološki kontaktorji), variante glede na način pretoka vode skozi reaktor (dotok na vrhu, dotok spodaj) ter glede na prisotnost oziroma odsotnost kisika (aerobni, anaerobni postopki). Raznolikost bioloških reakcij in s tem večjo učinkovitost čiščenja pa dosežemo s kombinacijo različnih reaktorjev, kjer kombiniramo aerobne in anaerobne razmere, ter delno recirkuliramo očiščeno vodo v posamezne reaktorje in vračamo nastalo biološko blato v začetne stopnje čiščenja. V teh primerih dosežemo tudi odstranitev hranilnih snovi, kot sta dušik in fosfor. Dušik odstranjujemo s procesi nitrifikacije (pretvorba amonijeve oblike dušika v nitratno v aerobnih razmerah) in denitrifikacije (pretvorbe nitrata v plinski dušik v anaerobnih razmerah), kar pa že predstavlja **terciarno stopnjo čiščenja**.

Pri opisanih klasičnih bioloških postopkih čiščenja odpadne vode nastaja biološko blato (mikroorganizmi, ki so se razmnožili ob razgradnji in vgrajevanju odpadnih snovi iz vode), ki ga je potrebno ločiti od očiščene vode in posebej obdelati pred dokončno odstranitvijo (odcejanje, zgoščanje, sušenje, anaerobna razgradnja s pridobivanjem metana, zažig ...) Ravnanje z biološkim blatom pa postaja pomemben problem, saj s strožjo zakonodajo, ki predvideva čiščenje vse odpadne vode, nastaja v klasičnih postopkih čiščenja odpadne vode tudi več biološkega blata. Nekoč se je blato odlagalo v velikih količinah na komunalnih odlagališčih odpadkov, kar je sedaj prepovedano. Velike količine neobdelanega blata na kmetijskih površinah so ravno tako povzročale precej problemov. Poleg sproščanja toplogrednih plinov ob njegovi razgradnji in obremenjevanja voda in podtalnice s sproščanjem hranil je predstavljalo problem tudi kopičenje težkih kovin, ki so v postopku čiščenja prešle iz odpadne vode v biološko blato.

Zgoraj predstavljeni sistemi čiščenja odpadne vode temeljijo predvsem na procesih, ki jih sicer najdemo v naravi. V primerih bioloških čistilnih naprav gre le za



intenziviranje vseh procesov z aktivnim prezračevanjem, dvigom temperature, mešanjem itd., ki procese pospešijo, da lahko na manjšem prostoru in v

relativno kratkem času dosežemo očiščenje velikih količin odpadne vode. V naravi s pretokom vode skozi plasti tal prihaja do filtracije in s tem mehanskega zadrževanja delcev iz vode. Ravno tako so prisotni mikrobi, ki, vezani na talne delce, rastlinske korenine ali prosti v vodi, prispevajo k razgradnji organskih snovi in vezavi različnih hranil in elementov v sledovih. Dodatno k čiščenju prispevajo še rastline, ki vežejo rastlinska hranila, kot so dušik, fosfor, kalij, kalcij, magnezij in druga v svoja tkiva. V naravnih sistemih torej celoten proces čiščenja poteka po enakih principih, le počasneje oz. v odvisnosti od prisotnosti optimalnih pogojev (voda, dostopnost hranil, pH, prisotnost/odsotnost kisika, prisotnih strupenih onesnaževal itd.), zato jih imenujemo tudi pasivni sistemi (Paranychianakis s sod., 2006). Čiščenje odpadne vode v naravnih sistemih se po svetu s pridom uporablja. Gre za različne sisteme s prosto vodno površino (čistilne lagune), naravna ali grajena mokrišča s podpovršinskim tokom vode v obliki trstičnih gred ali rastlinskih čistilnih naprav, sisteme z zasajenimi hitrorastočimi lesnimi rastlinami in druge podobne sisteme z zasajenimi rastlinami. Naravni sistemi so primerni v primerih, ko velike centralne čistilne naprave niso dostopna možnost rešitve (previsoke finančne zahteve) ali v primerih, ko teren in razpršenost poselitve tega ne dovoljujeta (ko so stroški postavitve in vzdrževanja dolge kanalizacije višji od postavitve manjših čistilnih naprav kot so npr. rastlinske čistilne naprave). Rastlinske čistilne naprave so se izkazale kot učinkovita rešitev za ruralna območja, manjša naselja in manjše industrijske enote z biološko razgradljivo odpadno vodo. Njihova izgradnja je cenejša, delujejo lahko brez električne energije, potrebujejo manj obratovalnih stroškov in manj vzdrževalnih del. Ob dovolj veliki razpoložljivi površini, ugodnih klimatskih razmerah in pravilni izbiri rastlin so lahko sistemi zasnovani tako, da praktično ni iztoka vode, nastala rastlinska biomasa pa se lahko uporabi v energetske namene.

### ***Novi trendi na področju tehnologij čiščenja odpadnih voda***

Novi trendi in spremembe na področju ravnanja z odpadno vodo se ne odvijajo le na področju razvoja novih naprednih tehnologij čiščenja. Velike spremembe se dogajajo tudi na področju dojemanja odpadne vode ter na področju postavljanja pravil, standardov in priporočil. S strani splošne javnosti prihaja vedno bolj v zavest potreba po zmanjševanju, recikliranju in ponovni uporabi odpadnih virov, kamor sodi tudi voda. S strani strokovne javnosti tako prihajajo v ospredje nove rešitve, ki temeljijo na dojetanju odpadne vode kot vira hranil, energije in vode za ponovno uporabo. Spremembe s strani zakonodajalcev gredo na podlagi novih odkritij in trendov ravno tako v smeri holističnih pristopov k upravljanju z viri, kar skupaj spodbuja razvoj novih tehnologij za doseganje teh ciljev. Razvoj tehnologij se tako odvija na področju načina *zbiranja odpadnih voda, čiščenja in sistemov ponovne uporabe*.

Pri novih načinih zbiranja komunalne odpadne vode govorimo o možnostih ločenega zbiranja in čiščenja meteorne vode, urina, blata in sive odpadne vode (voda, ki npr. prihaja iz kuhinje in pralnih strojev). Gre namreč za različno stopnjo njihove obremenitve oziroma zastopanosti posameznih komponent v njih. Temu je potrebno prilagoditi način čiščenja in nadaljnjega ravnanja, da na stroškovno najučinkovitejši način preprečimo obremenjevanje okolja in učinkovito izrabimo preostale vire energije in hranil v njih. Na nekaterih območjih se trendi obračajo k uvajanju

manjših decentraliziranih sistemov za čiščenje odpadne vode namesto velikih centraliziranih sistemov z dolgimi kanalizacijskimi vodi.

Na področju tehnologij čiščenja se pojavljajo nove potrebe po odstranjevanju novoodkritih onesnaževal, ki jih s tradicionalnimi postopki ne moremo odstraniti, kot tudi v primerih, ko gre za pomanjkanje pitne vode in je potrebno le-to zagotoviti z visoko učinkovitimi sistemi čiščenja odpadne vode. Na tem področju se veliko pričakuje na področju razvoja tehnologij membranske filtracije, uporabe in razvoja novih materialov (nanomateriali) ter biotehnologije s proizvodnjo encimov in drugih biološko aktivnih snovi za razgradnjo onesnaževal.

Pri razvoju novih sistemov ponovne uporabe gre za že omenjeno doseganje ciljev na področju izrabe preostale energije, hranil in vira vode kot take v odpadni vodi (pridobivanje metana z anaerobno razgradnjo biološkega blata, rastlinskih hranil, komposta, uporaba delno očiščene ali manj obremenjene vode za zalivanje, splakovanje stranišč ...) Velike potrebe se kažejo tudi v zmanjšanju porabe vode in s tem zmanjšanju tvorbe odpadne vode v industriji. Rešitve na tem področju se kažejo v terciarnem čiščenju odpadne vode s pomočjo membranske filtracije in nadaljnjih naprednih postopkov obdelave filtrata. Poleg razvoja naprednih tehnologij čiščenja je najti nove smernice tudi na področju CO<sub>2</sub> nevtralnih in okolju prijaznih alternativah tradicionalnim metodam čiščenja, kot je biološki privzem odpadne vode z uporabo rastlin v čistilnem procesu s tvorbo rastlinske biomase kot alternativnega vira energije.

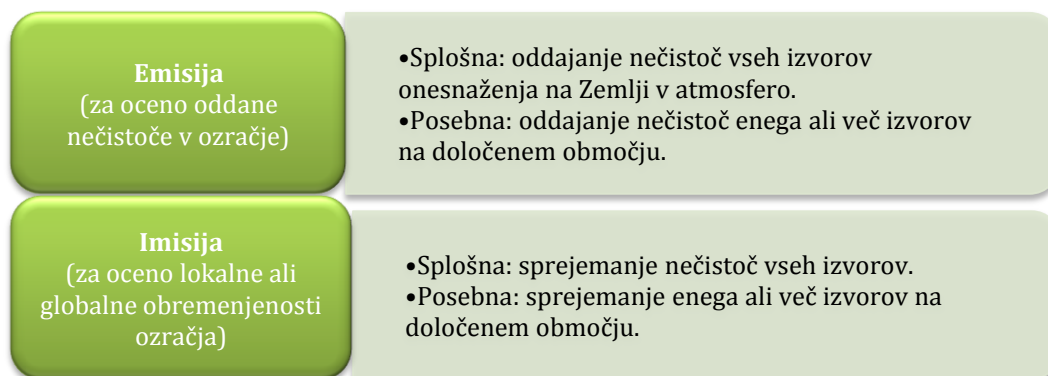
Ravno tako ni zanemarljiv nadaljnji razvoj in nove rešitve na področju nadzornih sistemov, s katerimi lahko močno zmanjšamo porabo energije in avtomatiziramo celoten proces čiščenja, s čimer znižamo stroške čiščenja. Pomembni so novi pristopi na področju dezinfekcije vode z nadomeščanjem kloriranja (ki lahko privede do tvorbe strupenih spojin) z novimi tehnikami UV sevanja.

## **5.2 ODSTRANJEVANJE PLINASTIH NEČISTOČ IN DELCEV IZ ODPADNIH PLINOV IN ZRAKA**

Posledice človekove aktivnosti in vplivov na okolje se kažejo tudi v vse večji onesnaženosti zraka. Problem je najbolj izrazit v velikih mestih z industrijskimi središči. Poleg čiste vode je čisto ozračje eden najpomembnejših dejavnikov za obstoj življenja. Glede na to, da je samočistilna sposobnost ozračja relativno majhna in da si ga ne moremo pripraviti za uporabo, tako kot lahko pripravimo vodo za pitje, je preprečevanje obremenjevanja toliko bolj pomembno. Poleg negativnih vplivov obremenjevanja zraka na zdravje ljudi in življenje drugih živih bitij vpliva obremenjevanje zraka z antropogenimi onesnaževali tudi na spremembo sestave in strukture zemeljske atmosfere, kar se je najizraziteje odrazilo v nastanku ozonskih lukenj in klimatskih sprememb.

Poleg virov obremenitev, ki jih povzroča človek (predelava in kurjenje fosilnih goriv, metalurška in kemijska industrija, kmetijska proizvodnja, transport, razgradnja in sežiganje odpadkov), prispevajo k obremenjevanju tudi naravni izvori (naravni požari, vulkanski izbruhi, izhajanje plinov ob mikrobnih razgradnji snovi itd.) (Samec, 2006). Neposredno emitirane nečistoče v ozračju imenujemo primarna onesnaževala. Ob spremembi primarnih onesnaževal v atmosferi kot posledice različnih reakcij (razpad zaradi UV sevanja – fotokemične reakcije, reakcija z vodo -

hidroliza, reakcije s kisikom – oksidacija ...) pa govorimo o sekundarnem onesnaženju. S kemijskega vidika razlikujemo anorganska onesnaževala (ogljikov monoksid, ogljikov dioksid, žveplovi oksidi, dušikovi oksidi, ozon, vodikov fluorid, vodikov klorid) in organska onesnaževala (različni ogljikovodiki), ki so večinoma ostanki fosilnih goriv, metan, različni alkoholi, kisline, sestri itd. Med posebnimi onesnaževali lahko omenimo radioaktivne snovi. Gre za onesnaževala v obliki drobnih trdnih delcev, kapljev in plinov. Večji delci se z usedanjem s pomočjo padavin relativno hitro izločijo iz zraka. Večji problem predstavljajo drobni delci in onesnaževala v plinski fazi, ki jih je težje izločiti iz zraka.



Na področju zmanjšanja imisije atmosferskega onesnaženja je na prvem mestu vsekakor izboljšanje procesov s preprečevanjem nastajanja zračnih onesnaževal. V procesih zgorevanja fosilnih goriv gre za odstranjevanje snovi iz vhodnih surovin, ki so potencialni viri onesnaževal v zraku. Tak način je npr. odstranjevanje žvepla – razžveplanje – iz goriva pred vstopom v proces zgorevanja (Samec, 2006). Drugi preventivni ukrep je izboljšanje procesov zgorevanja. Zadnji korak pa je obdelava dimnih plinov po končanem procesu zgorevanja in pred izpustom v okolje z uporabo različnih naprav za čiščenje odpadnih plinov.

Naprave za čiščenje odpadnih plinov temeljijo predvsem na uporabi fizikalnih in kemijskih postopkov, v uporabi pa so tudi naprave in materiali, ki omogočajo odstranitev onesnaževal na osnovi bioloških reakcij (filtri z uporabo organskega materiala). Med napravami za izločanje onesnaževal v obliki delcev ločimo usedalne komore, vztrajnostne kolektorje, ciklonske naprave, vlažne kolektorje, filtre iz tkanine in elektro filtre (Samec, 2006). Med napravami za izločanje plinastih nečistoč ločimo naprave, ki temeljijo na postopkih absorpcije, adsorpcije, zgorevanja in kondenzacije.

**Tabela 7: Naprave za izločanje plinastih onesnaževal.**

Načini izločanja plinastih onesnaževal	
Adsorpcija	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fizikalna ali kemijska površinska vezava plinov na snov v trdnem agregatnem stanju.</li> <li>• Uporablja se adsorbente z mikroporozno strukturo: aktivno oglje, gel silika, aktivna zemlja (<math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>).</li> <li>• Naprave so preproste konstrukcije.</li> <li>• Po zasičenju je potrebna menjava adsorbenta.</li> </ul>
Absorpcija	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deluje na principu raztapljanja plinaste snovi v kapljevini.</li> <li>• Absorbent je večinoma voda z dodanimi različnimi spojinami.</li> <li>• Za izločanje <math>\text{SO}_2</math> se npr. lahko uporablja raztopina kalcijevega hidroksida, pri čemer nastaja trdni kalcijev sulfat (<math>\text{CaSO}_4</math>).</li> </ul>
Zgorevanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uporaba predvsem za odstranjevanje ogljikovega monoksida in lažjih ogljikovodikov.</li> <li>• V postopku se onesnaževala pretvorijo v ogljikov dioksid in vodo.</li> <li>• Neposredno plamensko zgorevanje: zgorevanje ogljikovodikov ob dovajanju zraka brez dodajanja dodatnega goriva.</li> <li>• Termično zgorevanje: zgorevanje odpadnih plinov skupaj z dodanim gorivom in zrakom.</li> <li>• Katalitično zgorevanje: uporaba katalizatorja, ki pospeši oksidacijo v primerih, ko so koncentracije plinov prenizke, da bi bilo možno vzdrževanje plamena.</li> <li>• Cene naprav so relativno visoke in procesi potekajo pri visokih temperaturah.</li> <li>• Učinkovitost odstranjevanja je visoka.</li> <li>• Katalizator je lahko platina, aktivni aluminij, vanadijev pentoksid, paladij.</li> <li>• Princip katalitičnega zgorevanja se uporablja v avtomobilskih katalizatorjih za nevtralizacijo spojin v izpušnih plinih motorjev z notranjim izgorevanjem (pretvorbe dušikovih oksidov v dušik in kisik, ogljikovega monoksida v ogljikov dioksid ter ogljikovodikov v ogljikov dioksid in vodo)</li> </ul>
Kondenzacija	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Običajno temelji na kondenzaciji plinastega onesnaževala na podlagi znižanja temperature dimnih plinov.</li> </ul>

**Tabela 8: Naprave za izločanje onesnaževal v obliki delcev iz odpadnih plinov.**

Naprave za izločanje onesnaževal v obliki delcev	
Usedalne komore	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usedanje delcev s pomočjo gravitacije.</li> <li>• Primerno za majhne hitrosti pretoka zraka in večje delce (&lt; 50 µm).</li> <li>• Preprost način konstrukcije in delovanja.</li> <li>• Zahtevajo velik prostor.</li> <li>• Nizka učinkovitost pri izločanju manjših delcev.</li> </ul>
Vztrajnostni kolektorji	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odstranjevanje delcev s pomočjo spreminjanja hitrosti in smeri delcev.</li> <li>• Delci zadanejo postavljeno oviro in zdrsnejo v zbiralnik.</li> <li>• Konstrukcijsko preproste in učinkovite naprave tudi za delce manjših dimenzij.</li> <li>• Pogosta uporaba v obliki pred izločevalcev delcev mineralnega izvora v izvedbi različnih žaluzij.</li> </ul>
Ciklonske naprave	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temeljijo na centrifugalni sili izločanja delcev.</li> <li>• So preproste izvedbe, stroškovno dostopni in visoko učinkoviti.</li> <li>• Večinoma namenjeni za izločanje večjih trdnih delcev iz plinov.</li> <li>• Velikost ciklonov prilagodimo sestavi delcev: večji premer ciklona omogoča izločanje delcev velikosti med 40 in 50 µm; cikloni manjših premerov (23 cm) so učinkoviti pri izločanju delcev od 15 do 20 µm.</li> </ul>
Vlažni kolektorji	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delujejo na principu pretvorbe plinaste suspenzije v kapljevino z zadrževanjem delcev, ki jih zadržijo razpršene kapljice.</li> <li>• Kapljice z delci izločimo s centrifugiranjem.</li> <li>• So stroškovno dostopni in manjših dimenzij.</li> <li>• Najprimernejši za izločanje delcev do 10 µm.</li> <li>• Med izločanjem pride do ohlajanja vročih dimnih plinov.</li> <li>• Slabosti: zaradi stika z vlago lahko prihaja do korozije; nastalo zbrano kapljevino je potrebno očistiti z nadaljnjimi postopki čiščenja odpadne vode; možnost kondenzacije plinov v dimniku zaradi učinka ohlajanja; možnost zmrzovanja vode v primeru nizkih zunanjih temperatur</li> </ul>
Filtri iz tkanine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uporaba pretežno za izločanje delcev v trdnem agregatnem stanju iz dimnih plinov v industriji.</li> <li>• V uporabi so tkanine iz bombažnih, volnenih, steklenih in sintetičnih vlaken.</li> <li>• Čiščenje izločenih delcev se vrši s tresenjem filtrskih vreč.</li> <li>• Prepustnost delcev je odvisna od velikosti por tkanine in hitrosti pretoka zraka</li> </ul>
Elektrostatični filtri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izločanje delcev temelji na pretoku plinov skozi elektrostatično polje.</li> <li>• Elektrostatično polje ustvarjata pasivna (pozitivna anoda) in aktivna elektroda (negativno naelektrena katoda), ki sta priključeni na izvor enosmernega toka napetosti.</li> <li>• Okrog elektrod se formira močno električno polje, ki povzroča ionizacijo plinskih molekul ob pretoku plina mimo elektrod. Naelektrene elektrode v nadaljevanju pritegnejo nasproti nabite delce. S tresenjem, razelektrovitvijo ali spiranjem elektrod se delci z njihove površine odstranijo v zbiralnik.</li> <li>• Visokonapetostne elektrostatične filtre uporabljajo v industrijah, kot so elektrarne, toplotarne in cementarne.</li> <li>• Učinkovitost je zelo visoka; možna je odstranitev delcev, manjših od 1 µm.</li> <li>• Njihova slabost je relativno visoka poraba električne energije.</li> </ul>

## **Novi trendi na področju razvoja opreme za odstranjevanje nečistoč iz zraka**

Z vidika zaščite atmosfere in zagotavljanja čistega zraka so vsekakor najpomembnejše tehnologije in razvoj na področju preprečevanja nastajanja onesnaževanja že na izvoru (uporaba goriva z manj žvepla in tvorbe pepela, boljši postopki gorenja itd.) Na področju tehnologij odstranjevanja nastalih nečistoč v zraku, ki se jih s predhodnimi postopki ne da odpraviti, pa gre razvoj predvsem v smeri izboljšanja učinkovitosti opreme v smeri doseganja višjih učinkovitosti odstranjevanja onesnaževal, manjše porabe energije in potreb po vzdrževanju opreme. Pomemben trend je tudi razvoj opreme, ki je obstojna v neugodnih razmerah, kot so visoke temperature odpadnih plinov in korozivno okolje dimnih plinov, kot je npr. v termoelektrarnah. Okolje v takih sistemih nadzora nad obremenjevanjem je zelo korozivno za materiale iz nerjavečih jekel kot tudi materiale iz nikljevih zlitin. Kot rešitev se tu pojavljajo novi materiali iz kompozitov s steklenimi vlakni ojačane plastike, narejene iz smol epoksivinil estrov (Johnson et al., 2009). Velik razvoj so doživeli filtri iz tkanine, ki se jih danes uporablja pri odstranjevanju delcev v velikih sistemih in ponekod zamenjujejo elektrostatske filtre. Stalne izboljšave se odvijajo tudi v klasični opremi za odstranjevanje zračnega obremenjevanja, kot je postopek selektivne katalitične redukcije, selektivne nekatalitične redukcije, naprednejši elektrostatični usedalniki, suha in mokra desulfurizacija dimnih plinov in v postopkih odstranjevanja dušikovih oksidov itd.

## **5.3 RAVNANJE S TRDNIMI ODPADKI**

Ena od najsplošnejših definicij opredeljuje odpadek kot snov, ki nam v danem trenutku ne služi več koristno in bi se je zato radi znebili (Vuk, 1997). V nadaljevanju je predstavljen kratek pregled področja ravnanja s trdnimi odpadki. V Pravilniku o ravnanju z odpadki (Ur.l. RS št. 84, 1998) je danes podana natančna klasifikacija odpadkov, ki opredeljuje naslednje vrste:

- odpadki pri raziskavah, rudarjenju, pripravi in predelavi rudnin;
- odpadki iz kmetijstva, vrtnarstva, lova, ribištva, ribogojstva in proizvodnje hrane;
- odpadki iz obdelave in predelave lesa in proizvodnje papirja, kartona, lepenke, vlaknine, plošč in pohištva;
- odpadki pri proizvodnji usnja in tekstilij;
- odpadki pri predelavi in čiščenju zemeljskega plina oziroma nafte, in pirolize premoga;
- odpadki iz anorganskih kemijskih procesov;
- odpadki iz organskih kemijskih procesov;
- odpadki pri proizvodnji, pripravi, trženju in uporabi sredstev za površinsko zaščito (barve, laki, emajli), lepil, tesnilnih mas in tiskarskih barv;
- odpadki pri fotografskih dejavnostih;
- anorganski odpadki iz termičnih procesov;
- anorganski odpadki iz obdelave in površinske zaščite kovin in hidrometalurgije barvnih kovin;
- odpadki iz mehanskih postopkov oblikovanja in površinske obdelave kovin in plastike;
- odpadna olja;
- odpadki iz uporabe organskih topil;
- embalaža, absorbenti, čistilne krpe, filtrirna sredstva in zaščitne obleke, ki niso navedeni drugje;
- odpadki, ki niso navedeni drugje v katalogu;
- gradbeni odpadki in ruševine (vključno z odpadnimi materiali pri gradnji cest);
- odpadki iz zdravstva in veterinarstva ter z njimi povezanih raziskav (brez odpadkov iz kuhinj in restavracij v ustanovah zdravstva in socialnega varstva);
- odpadki iz naprav za obdelavo odpadkov, naprav za čiščenje odpadne vode in objektov vodooskrbe;

- komunalni odpadki in njim podobni odpadki iz industrije, obrti in storitvenih dejavnosti, vključno z ločeno zbranimi frakcijami.

S posebnimi pravilniki pa so opredeljeni odpadki, ki se nanašajo na:

- snovi, ki se izpuščajo z odpadnimi plini v zrak,
- radioaktivne odpadke,
- jalovino, ki nastaja pri iskanju, pridobivanju, predelovanju in nadaljnjem predelovanju mineralnih surovin,
- klavnične odpadke in kužni material živalskega porekla,
- živalska gnojila in organske snovi, primerne za kompostiranje, ki nastajajo in se uporabljajo v kmetijstvu skladno s predpisi,
- snovi, ki se odvajajo z odpadnimi vodami neposredno v vode ali v kanalizacijo,
- odpadke, ki nastajajo pri iskanju, izkopavanju, prevažanju, skladiščenju in ravnanju z bojnimi sredstvi ter pri njihovem uničevanju.

Zelo preprosta klasifikacija odpadkov pa opredeljuje:

- komunalne in njim podobne,
- inertne,
- posebne in
- nevarne odpadke.



**Slika 5: Strategija ravnanja z odpadki.**

Količine nastalih odpadkov se še vedno povečujejo. Skladno z uvedenimi ukrepi na področju gospodarjenja z odpadki se količine odpadkov, odloženih na odlagališča, počasi zmanjšujejo in povečuje se delež recikliranja ter snovne in energetske izrabe. Problem pa še zdaleč ni rešen. Kljub naporom za zmanjševanje nastajanja odpadkov na izvoru, ponovni uporabi, predelavi in energetske izrabi odpadkov je del odpadkov še vedno potrebno odložiti na odlagališčih. Prostor za nova odlagališča pa je praktično nemogoče najti. Poleg izboljšav na področju načina gradnje odlagališč, odlaganja odpadkov in končnega zapiranja odlagališč za preprečevanje negativnih vplivov na okolje je zato največ poudarkov na optimizaciji tehnologij in procesov na področju preprečevanja emisij, napredne obdelave, recikliranja in energetske izrabe odpadkov.

Prva faza v okviru ravnanja z nastalimi odpadki je ločeno zbiranje, ki omogoča takojšno ponovno uporabo in predelavo. Preostali zbrani odpadki običajno vstopijo v postopek nadaljnega ločevanja, kjer je vključen tudi postopek homogenizacije, ki vključuje različne metode mletja in drobljenja odpadkov. Zakonodaja, ki predvideva obvezno ločeno zbiranje, obdelavo in predelavo določenih odpadkov (steklo, plastika, papir, bela tehnika, elektronska oprema), veliko prispeva k zmanjševanju količine teh vrst odpadkov, ki bi sicer končali na odlagališčih.

Ločenim frakcijam trdnih odpadkov sledijo različni postopki obdelave. Posebej so obdelani organski odpadki s postopki kompostiranja ali anaerobne razgradnje. Slednji postopek omogoča pridobivanje bioplina. Preostanek obdelanih organskih odpadkov se lahko termično izrabi (sežge), uporabi kot organsko gnojilo.

Tehnološki postopki predelave kovin, papirja, stekla in različnih polimerov so že široko v uporabi. Postopki, ki omogočajo sortiranje steklenic, plastenk in pločevink, so že zelo dodelani. Glavni izziv na področju recikliranja stekla je avtomatizacija postopkov, ki omogočajo ločevanje stekla po barvi. Na voljo je več različnih postopkov, ki so uporabni in delujejo. Niso pa še povsod dorečene končne poti oziroma tržna uporaba recikliranega stekla in obdelanih polimerov.

Predhodnemu ločevanju in obdelavi odpadkov sledi odlaganje na odlagališčih ali termična obdelava, kamor uvrščamo sežig, pirolizo, uplinjanje in sosežig. Prednosti termične obdelave odpadkov so v možnosti izrabe energije, ki jo imajo odpadki, s čimer delno nadomestimo rabo fosilnih energetskih virov. S popolno razgradnjo odpadkov v tem primeru preprečimo izločanje metana, ki se sicer izloča iz odloženih odpadkov na odlagališčih in predstavlja nevaren toplogredni plin. Prihranimo tudi pri odlagalnem prostoru. *Sežig* je običajno enostopenjski termični proces, ki poteka pri temperaturi od 800 do 1300° C ob prisotnosti kisika. Pri reakciji sežiga nastajajo v glavnem ogljikov dioksid, vodna para, žveplov dioksid, dušikovi oksidi, žindra in pepel. *Piroliza* je proces, pri katerem se odpadki termično razgradijo v odsotnosti kisika pri temperaturi 300 do 600° C. Za ta proces so primerni predvsem organski odpadki. V procesu prihaja do razpada molekul zaradi povišane temperature, pri tem pa kot produkti nastajajo plini, katran, olja in druge organske spojine ter trdni ostanek - koks. Prednosti postopka so v tem, da so plini, ki nastanejo pri procesu (ogljikov monoksid, metan itd.), v večini primerov uporabni kot gorivo za sekundarni vir toplote. Slaba stran je, da je potrebno v zagon postopka vložiti veliko energije za termični razpad snovi, zaradi česar je manj ekonomičen. *Uplinjanje* je proces zgorevanja, kjer ne prihaja do spajanja ogljika s kisikom v ogljikov dioksid, temveč v ogljikov monoksid. Gre za termično razgradnjo z delno oksidacijo pri temperaturi 800 do 2.000° C. Nastajajo delno gorljivi plini (CO, H<sub>2</sub>) in inertni trdni preostanki. Smiselnost postopka je v izkoriščanju nastalega plina v drugi napravi za pridobivanje energije. Proces se uporablja le izjemoma zaradi večje količine trdnih ostankov. Pri *sosežigu* gre za toplotno obdelavo odpadkov z namenom njihovega odstranjevanja. Gre za proces v prisotnosti kisika in temperaturah do 150° C. V procesu sežiga se odpadke uporablja kot dodatno ali osnovno gorivo glede na njihovo energetsko vrednost. Sežig je vezan na nadaljnji proces proizvodnje energije ali za proizvodnjo določenih izdelkov (cement). Postopek je pomemben zaradi velikega zmanjšanja volumna odpadkov in izrabe njihove energije. Poleg plinskih produktov nastajajo še inertni mineralizirani ostanki ter onesnažena voda po spiranju dimnih plinov.

Zadržki pri uporabi sežigalnic so predvsem zaradi nastajanja strupenih spojin (npr. dioksinov), ki so posledica nepopolnega zgorevanja in drugih plinov in trdnih delcev, ki lahko prispevajo k onesnaževanju zraka in s tem škodljivo vplivajo na zdravje ljudi. Z izboljševanjem postopkov gorenja, uporabo katalizatorjev razgradnje in izboljšanih filtrirnih naprav so uspeli tvorbo in izpust dioksinov precej omejiti. Glede na nerešena vprašanja razgradnje dioksinov, odlaganja ostankov gorenja (pepel) in nezadostnih toplotnih izkoristkov je pričakovati dodaten razvoj tehnologij na tem področju.



## ***Trendi na področju razvoja tehnologij ravnanja z odpadki***

Bodoče tehnologije ravnanja z odpadki bodo morale biti v skladu z načrti trajnostnega gospodarskega razvoja, še posebej v smeri ohranjanja virov in energije. Recikliranje, ki je učinkovito z gospodarskega vidika, bo še vedno aktualno, napredek pa je pričakovati tudi v smeri zmanjševanja tvorbe odpadkov na individualnem nivoju kot posledice sprememb življenjskih navad in korporativnem nivoju v okviru naporov za doseganje ničelnih emisij. Pričakovati je optimizacijo obstoječih postopkov v okviru recikliranja materialov, boljše izrabe energije, učinkovitejšega ravnanja s strupenimi snovmi in na področju tehnologij, ki ohranjajo življenjsko okolje. Pravilno gospodarjenje z odpadki lahko namreč veliko pripomore k zmanjševanju toplogrednih plinov. Ključnega pomena je izogibanje sproščanju metana z odlagališč odpadkov, kar lahko dosežemo s predhodno obdelavo organskih odpadkov in preprečevanjem odlaganja organskih frakcij na odlagališča. V primerih, kjer so le-ta že odložena (velika odlagališča odpadkov v državah v razvoju), se pojavljajo nove tehnološke izboljšave na področju črpanja deponijskih plinov in njihove energetske izrabe. Druga pomembna področja, kjer pravilni pristop h gospodarjenju z odpadki prispeva k zmanjševanju ogljikovega dioksida kot toplogrednega plina, so dosledni načini recikliranja in energetske izrabe odpadkov, ki lahko zamenjujejo fosilna goriva. Optimizacija postopkov je potrebna tudi na področju obdelave odpadkov, ki nastanejo pri sežigu odpadkov. Inovacije so potrebne tudi na področju odprtja novih trgov za sekundarne surovine oz. razvoja produktov.

### *Tehnologije vitrifikacije in solidifikacije ostankov sežiga*

Pri vitrifikaciji gre za tehnologijo taljenja, razstrupljanja in recikliranja ostankov sežiga. Taljenje pretvori ostanke po sežigu v kemično stabilno žlindro – steklu podobno maso in s tem zmanjša količino ostankov na eno tretjino do eno polovico začetnega volumna. Omogoča skoraj popoln razkroj strupenih spojin, ki jih najdemo v preostanku sežiga, kot so dioksini, in ireverzibilno veže težke kovine. Pri solidifikaciji gre za tvorbo inertnih produktov, kjer se preostanke gorenja veže s cementom ali bitumnom. Nastali produkt se lahko uporabi kot gradbeni material ali pri gradnji cest. Razvoj poteka tudi v smeri oksidacije in redukcije staljenega elektrofiltrskega pepela za učinkovitejše izločanje in izrabo težkih kovin, ki jih vsebuje. Naslednje generacije sežigalnic naj bi uporabljale tehnologijo uplinjanja in taljenja pepela. S postopkom bi omogočili hkratno odstranjevanje dioksinov, prašnih delcev in taljenje preostalega pepela. Pri odstranjevanju odpadkov sežiga bi uporabili energijo, ki jo vsebujejo odpadki.

### *Tehnologije pridobivanja goriv iz odpadkov*

Gre za pripravo goriv iz gospodinjskih odpadkov, ki se jim predhodno odstrani steklo in kovine. Odpadke se briketira in uporabi v kotlih kot gorivo. Ker gre za uporabo odpadkov, je potreben nadzor nad popolnim zgorevanjem. Idealna uporaba tehnologije bi bila za nadaljnjo tvorbo energije.

### *Tehnologija termalne razgradnje dioksinov*

Gre za deklorinacijo dioksinov v elektrofiltrskem pepelu s segrevanjem elektrofiltrskega pepela v reduktivni atmosferi. Možna je razgradnja 90 do 95 % dioksinov.

### *Tehnologije pretvorbe odpadne plastike v mineralna olja*

Gre za termično razgradnjo odpadne plastike, ki se pretvori v olja in pline. Izboljšave tehnologije gredo v smeri zmanjševanja proizvodnih stroškov, doseganja ustreznega procesiranja ostankov in razvoja trgov za nove produkte.

**Kontaminirana tla:** geografsko območje s potrjeno prisotnostjo nevarnih snovi, ki so posledica človekove aktivnosti v taki koncentraciji, da lahko predstavljajo nevarnost za živa bitja in integriteto tal in je potrebno izvajanje aktivnosti v smeri preprečitve tveganja.

## 5.4 ČIŠČENJE ONESNAŽENIH TAL

Tla predstavljajo zelo heterogeno okolje. Podpirajo veliko različnih človekovih potreb in vsebujejo veliko biološko raznolikost. Njihova biološka aktivnost je neobhodna za vzdrževanje življenjskih razmer. Procesi, ki potekajo v tleh, imajo neposreden vpliv na druge komponente okolja, kot so vode in atmosfera. Tla imajo multifunkcijsko vlogo. Med ekološkimi funkcijami lahko naštejemo njihovo:

- pufersko ali blažilno vlogo (regulator vodnega režima),
- filtriranje (filter za pitno vodo),
- razgradnjo in kroženje elementov (biogeokemično kroženje elementov, mineralizacija organskih snovi, produkcija in adsorpcija plinov, adsorpcija in razgradnja onesnaževal) in
- vlogo rezervoarja genov (medij za rast mikroorganizmov, habitat za živali, medij za rast rastlin).

Med funkcijami, pomembnimi za človeka, pa lahko naštejemo:

- vlogo tal kot medija za rast prehrabnih in krmilnih rastlin,
- vir gradbenega materiala,
- podpora zgradbam,
- vir zdravilnih komponent (zdravilna zemlja) ter
- vir za proučevanje geološke, klimatoloških, biološke in arheološke zgodovine.

**Kontaminirano zemljišče:** zemljišče s potrjeno prisotnostjo nevarnih snovi, ki so posledica človekove aktivnosti v taki koncentraciji, da lahko predstavljajo nevarnost za živa bitja in integriteto tal in je potrebno izvajanje aktivnosti v smeri preprečitve tveganja. Tveganje je ovrednoteno na osnovi specifične danega zemljišča, ki upošteva trenutno in pričakovano uporabo zemljišča.

Ko govorimo o okoljskih problemih tal, se soočamo s celim spektrom problemov, kot so zakisovanje, eutrofikacija, erozija, onesnaženje, zasoljevanje in dezertifikacija. V tem poglavju se bomo osredotočili predvsem na problem onesnaženih tal in možnosti njihovega očiščenja s pomočjo različnih tehnologij.

Onesnaženost tal je v glavnem posledica dolgotrajnega predhodnega onesnaževanja, ki so ga povzročili industrija z odlaganjem odpadkov in atmosferskimi depoziti, rudarska aktivnost, kmetijstvo, transport, vojaška aktivnost, odlaganje komunalnih odpadkov in še bi lahko naštevali. Problemi so postali očitni, ko so se začeli kazati negativni vplivi na zdravje ljudi z zaužitjem kontaminirane hrane, ob nastanku nerodovitnih tal zaradi previsoke slanosti ali akumulacije strupenih snovi, ob kontaminaciji podtalnice, upadu biodiverzitete in v primerih, ko so želeli spremeniti namembnost določenega zemljišča: npr. ob zgraditvi bivališča, šole in vrtca na nekoč industrijskem ali vojaškem zemljišču. V vseh primerih je bilo potrebno izvesti določene ukrepe preprečitve nadaljnega širjenja onesnaževanja ali odstraniti prisotna onesnaževala.

Med nevarna onesnaževala, ki jih je potrebno v takih primerih odstraniti, sodijo predvsem:

- težke kovine (kadmij, svinec, cink, živo srebro, arzen, nikelj in krom),
- policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH),
- dioksini, poliklorirani bifenili (PCB) in druge dioksinom sorodne snovi,
- prepovedani in perzistentni pesticidi, npr heksaklorocikloheksan (HCH), diklorodifeniltrikloroetan (DDT) ali DDE,
- hranila (dušik, fosfati ...)

Strategija remediacije onesnaženih tal običajno predvideva kot prvo izbiro čiščenje tal na mestu onesnaženja (on-site čiščenje). V primerih, ko to ni izvedljivo, pa čiščenje izkopanih tal zunaj mesta njihovega onesnaženja (off-site čiščenje). Pred izbiro ustrezne metode pa je potrebno zastaviti oziroma ugotoviti:

- cilj remediacije (odstranitev ali zmanjšanje onesnaženja, preprečitev širjenja onesnaženja ...),
- strošek remediacije v primerjavi s ceno in končno uporabnostjo zemljišča,
- kemijske in fizikalne lastnosti onesnaževal,
- geokemične lastnosti tal,
- lateralno in vertikalno razširjenost onesnaženja,
- volumen onesnaženih tal,
- izpostavljenost onesnaženja potencialnim receptorjem,
- višino podtalnice,
- fizikalne omejitve razpoložljive opreme,
- specifične okoljske razmere dane lokacije,
- upoštevanje predlagane nove rabe tal in dolgoročnega upravljanja.

Med primeri možnih strategij remediacije lahko naštejemo naslednje:

- Vključitev onesnaženih tal v načrtovanje nove rabe tal z njihovo umestitvijo v temeljne sloje pod grajene objekte ali pod tlakovana območja (cilj je zmanjšanje površinske izpostavljenosti in preprečevanje nastajanja onesnažene izcedne vode ob padavinskem spiranju).
- Zadrževanje onesnaženih tal na mestu, kjer so in njihovo prekritje z nepropustnimi sloji.
- Površinska odstranitev onesnaženih tal in njihov ponovni zakop na mestu njihovega najdišča (gre za zmanjšanje površine onesnaženih tal).
- Vstavitev horizontalnih, vertikalnih ali reaktivnih barier za preprečitev širjenja onesnaženja z območja onesnaženih tal.
- Izgradnja odlagališča za onesnažen material z utrjenim in izoliranim dnom, prekritjem in odvodnjo meteornih vod (v primerih visokega nivoja podtalnice, zelo prepustnih tal in topnih in mobilnih onesnaževal).
- Sprememba predlagane rabe tal v manj občutljivo rabo, kjer je potrebnih manj ukrepov oz. doseganje nižjih ciljnih vrednosti vsebnosti onesnaževal.
- Solidifikacija (vezava onesnaževal v trdno snov in stabilno snov, npr. betonski bloki) ali stabilizacija (pretvorba onesnaževala v nemobilno ali manj strupeno obliko, ponavadi s pomočjo kemijskih reakcij) visoko topnih in mobilnih onesnaževal in njihovo vključevanje v eno od zgoraj naštetih možnosti.
- Bioremediacija onesnaženih tal, ki vsebujejo organsko razgradljiva onesnaževala, na mestu njihovega onesnaženja. Gre za razgradnjo, pretvorbo in imobilizacijo onesnaževal v tleh s pomočjo prisotnih mikroorganizmov. Onesnažena tla se ponavadi razrahlja, doda neonesnažena tla in posamezna hranila, korigira pH in vsebnost vode ter redno prezračuje z obračanjem tal. Metoda je primerna, ko v bližini ni občutljivih receptorjev ali raznašalcev onesnaževal).
- Izkop onesnaženih tal in njihova bioremediacija na izoliranem območju.

- Druge izvedbe bioremediacije tal z uporabo v tleh prisotnih mikroorganizmov (kompostiranje, bioprezračevanje – bioventing).
- Termično čiščenje onesnaženih tal na mestu njihovega onesnaženja ali na izolirani lokaciji (ločevanje ali desorpcija onesnaževal pri višji temperaturi in njihova ekstrakcija, dekontaminacija z vročim plinom).
- Fitoremediacija onesnaženih tal (uporaba rastlin za privzem ali razgradnjo onesnaževal iz tal, zadrževanje onesnaževal v koreninski coni za preprečevanje spiranja, ozelenitev odprtih površin za preprečevanje prašenja ...)
- Različne druge fizikalne in kemične metode čiščenja tal (kemijska ekstrakcija, oksidacija, elektrokemijske metode, ionska izmenjava, spiranje, zažig ...)

**Tabela 9: Pregled angleških pojmov na področju obnove degradiranih tal.**

<b>RESTORATION</b>	Obnovitev, sanacijski ukrep, v katerem tla povrnemo v prvotno stanje strukture in funkcije; ponovna vzpostavitev celotne združbe rastlin in živali, značilnih za določen ekosistem po onesnaženju ali uničenju zaradi človekove dejavnosti.
<b>REHABILITATION</b>	Delna obnova tal in ekosistemskih struktur in funkcij ali razvoj ekosistemov, ki so podobni izvornemu stanju.
<b>RECLAMATION</b>	Sanacija / obnova / preobrazba degradiranega zemljišča v zemljišče, primerno za različne uporabe oz. povrnitev tržne vrednosti zemljišča (stanje zemljišča lahko dobi popolnoma drugo podobo).
<b>REMIEDIATION</b>	Zmanjšanje ali odstranitev onesnaževala iz tal / vode (zdravljenje).
<b>RECOVERY OF LANDSCAPE</b>	Revitalizacija, sanacija pokrajine – aktivnosti oz. koraki, ki so potrebni po uničenju za povrnitev sistemov v njihovo normalno stanje.

### ***Trendi na področju razvoja tehnologij čiščenja onesnaženih tal***

Razvoj na področju čiščenja onesnaženih tal in sedimentov gre predvsem v smeri iskanja rešitev odstranjevanja, razstrupljanja in stabilizacije (spremembo onesnaževala v nemobilno in biološko nedostopno in neaktivno obliko) onesnaževal na mestu njihovega pojavljanja. Odstranjevanje, transport, odlaganje in obdelava onesnažene zemljine na drugi lokaciji predstavlja namreč velik strošek in logistično zahtevno operacijo.

Na področju bioremediacije lahko izpostavimo napredek na področju razvoja *in-situ* bioremediacijskih tehnologij, kjer so v razvoju novi postopki pospešene anaerobne razgradnje onesnaževal, kot so npr. klorirana topila, ki so sicer strupena za živa bitja. Raziskave potekajo v smeri izolacije novih sevov mikroorganizmov s sposobnostmi razgradnje teh onesnaževal in spoznavanjem njihovega okolja delovanja ter obdelava tal s kombinacijo različnih fizikalnih in kemijskih postopkov za pospešitev razgradnje.

Zanimivi so napredki na področju reševanja problemov onesnaženih tal z nevarnimi kovinami. Njihove odstranitve z razgradnjo ne moremo doseči. Gre le za možnost akumulacije npr. v rastlinsko tkivo, s čimer jih lahko omejimo na nadzorovanem območju (odlaganje pepela na varovanem območju z visoko vsebnostjo kovin po sežigu biomase) ali pa njihovo pretvorbo v nemobilno in biološko nedostopno

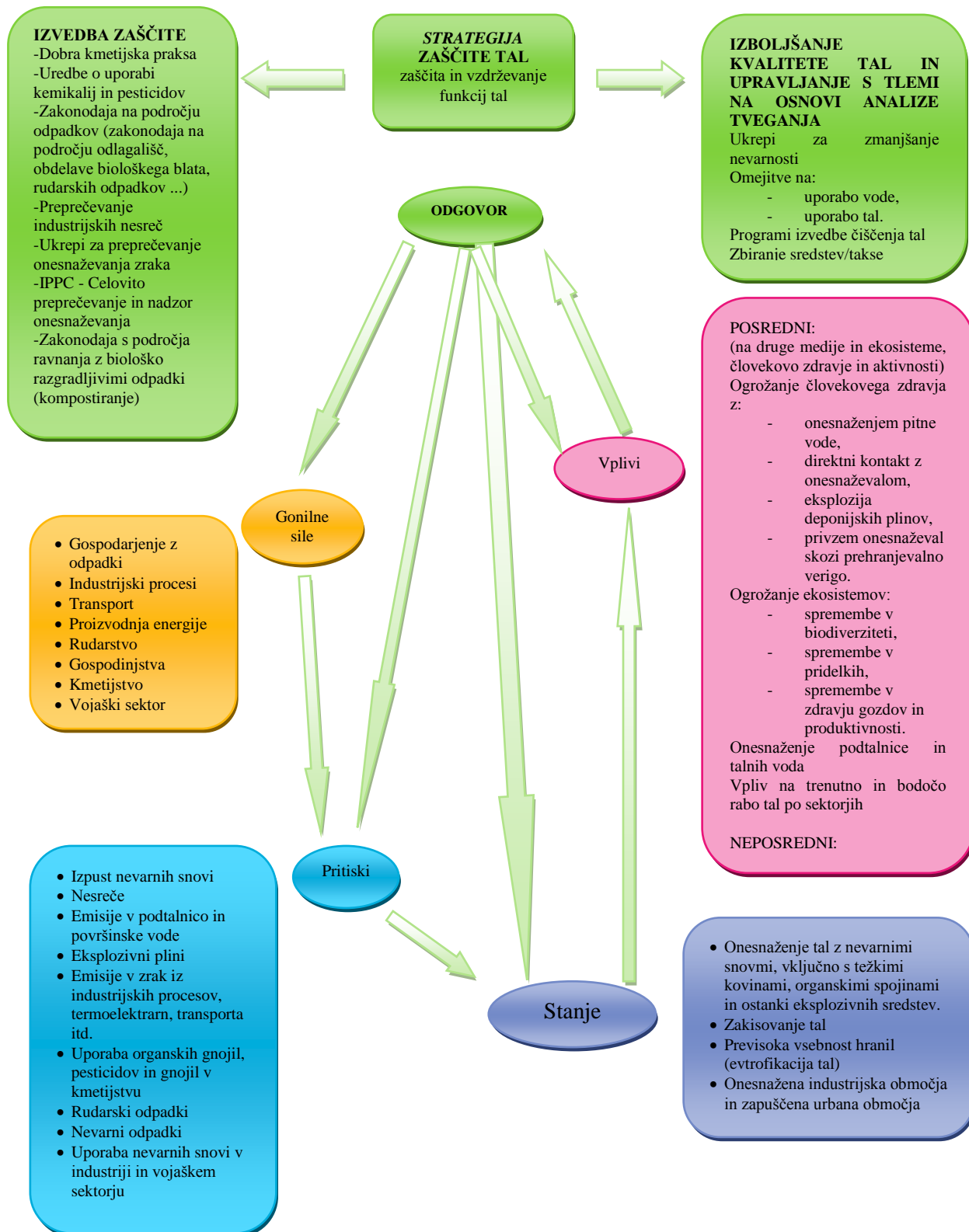
obliko. Primer take cenovno dostopne rešitve je npr. dodajanje fosforja tlom, onesnaženim s svincem, kar zmanjša njegovo mobilnost (RTDF, [www.rtdf.org](http://www.rtdf.org)).

Nove rešitve so tudi na področju zaščite podtalnice z uvajanjem reaktivnih permeabilnih barier (Permeable Reactive Barrier – PRB). Gre za vzpostavitev *in-situ* reaktivnih con, v katere umestimo reaktivni material, ki razgradi ali imobilizira onesnaževalo ob pretoku podtalnice skozi postavljeno bariero. Zanimiva je npr. uporaba železovih materialov za odstranjevanje kloriranih onesnaževal.

V okviru fitoremediacije so že vzpostavljene rešitve na področju odstranjevanja vodotopnih rastlinskih mikro- in makrohranil. Nov razvoj pa gre v smeri iskanja rešitev razgradnje in odstranjevanja netopnih spojin, kot so naftni ogljikovodiki, ki so rastlinam nedostopni. Nove raziskave so pokazale, da lahko prisotnost določenih rastlinskih vrst pospeši razgradnjo ostankov naftnih derivatov v tleh s pomočjo mikroorganizmov. Zanimiv je tudi razvoj na področju zamenjave konvencionalnih načinov prekritja odlagališč, kjer so v uporabi umetne folije, z vegetativnimi pokrovi, ki ob opravljanju osnovne funkcije preprečevanja pronicanja vode v odložene odpadke ponujajo še druge ekosistemске funkcije (nov habitat, možnost izkoriščanja biomase, estetska prednost ...)

Z visokimi stroški je povezano tudi odstranjevanje in čiščenje onesnaženih jezerskih, rečnih in morskih sedimentov, ki so ponavadi onesnaženi z različnimi onesnaževali. Na tem področju je pomemben razvoj inovativnih metod prekrivanja, ki omogočajo sušenje oziroma odstranjevanje vode, med katerimi so pomembne fitoremediacijske metode. Tu je pomemben tudi razvoj tehnik spremljanja naravne sposobnosti v okolju za zmanjšanje onesnaženja (naravna atenuacija) in tehnik, ki omogočajo ob primerni obdelavi ponovno koristno uporabo izkopanih materialov (sedimenta).

Slika 6: Vzroki in posledice onesnaževanja tal in strategije njihove zaščite.



## 5.5 VARSTVO PRED HRUPOM IN VIBRACIJAMI

Nezaželen zvok imenujemo hrup. Hrup je vsak zvok, ki vzbuja nemir, moti človeka in škoduje njegovemu zdravju ali počutju in škodljivo vpliva na okolje. Zaradi vse večjega števila virov hrupa in zaradi naraščajoče intenzitete emisij teh virov je postal hrup integralen del okoljske zaščite tudi v Sloveniji. Cilj okoljske politike na tem področju je znižanje sedanje ravni okoljskega hrupa in preprečitev pojavljanja novih virov (Poročilo o stanju okolja v Sloveniji). Glavni viri hrupa izhajajo iz prometa (cestni, železniški, zračni), strojev in naprav v gradbeništvu in industriji. Virom hrupa smo izpostavljeni v zgradbah zaradi slabe izolacije ali konstrukcije (plinske, vodovodne napeljave) ali uporabe gospodinjskih aparatov v prostoru in na prostem (npr. naprave za urejanje vrtov).

Tehnični ukrepi, s katerimi lahko zmanjšamo širjenje hrupa v okolje, vključujejo:

- zmanjšanje emisije hrupa na viru (tišja transportna sredstva, tišje naprave, uporaba poroznega asfalta v prometu, redno vzdrževanje naprav),
- omejevanje moči hrupa s funkcionalnimi pregradami (namestitvev zaščitnih ograj, zelenih pasov),
- uporaba zaščitne opreme (zaščita bivalnih prostorov z boljšo zvočno izolacijo, uporaba osebne zaščite).

Novе rešitve se pojavljajo z razvojem novih materialov, ki nudijo boljšo zaščito proti hrupu in preprečevanje širjenja hrupa, pa tudi na področju optimizacije tehnoloških postopkov in naprav.

## 5.6 VARSTVO PRED IONIZIRAJOČIMI SEVANJI

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS št. 102, 2004) ter podrejeni predpisi opredeljujejo ionizirajoče sevanje kot prenos energije v obliki molekularnih, atomskih in subatomskih delcev ali elektromagnetnih valov valovne dolžine 100 nanometrov ali manj oziroma frekvence  $3 \times 10^{15}$  Hz ali več, ki lahko neposredno ali posredno povzroči tvorbo ionov. Ionizirajoče sevanje torej zajema osnovne ali jedrske delce ali elektromagnetno valovanje, ki ima dovolj visoko energijo za ionizacijo atomov ali molekul. Primeri ionizacijskih delcev so delci alfa, delci beta in nevtroni. Sposobnost ionizacije elektromagnetnega valovanja je odvisna od valovne dolžine: valovanja krajše valovne dolžine, kot so ultravijolična svetloba, rentgenski žarki in žarki gama, lahko ionizirajo. Viri ionizirajočega sevanja so npr. naravni in umetni izotopi, kozmično sevanje, jedrski gorivni ciklus elektrarn, pospeševalniki, nevtronski generatorji, viri rentgenskih žarkov, jedrske eksplozije, radiološke in jedrske nesreče.

Ionizirajočega sevanja ne zaznamo s čutili. Odkrivamo ga lahko z ustreznimi inštrumenti, kot je Geiger-Müllerjev števec, in merimo z dozimetri. Izpostavljenost organizmov tovrstnemu sevanju povzroča poškodbe tkiv oz. celic. Kritične tarče za ionizirajoče sevanje pa so encimi in DNK (dezoksiribonukleinska kislina), mesto genskega zapisa v naših celicah. Pri nižjih dozah prihaja do kemijskih sprememb na DNK, kar vodi v spremenjeno biološko delovanje, kot je npr. tvorba spremenjenih beljakovin, ki se v končni fazi odraža v spremenjenem delovanju celic (rak, nepravilen razvoj ploda ...) Pri višjih dozah se izpostavljenost manifestira z opeklinami kože in radiacijskim sindromom, v hujših primerih pa lahko privede do smrti.

Množina poškodb, ki jo sevanje povzroča, je sorazmerna količini energije, ki je zadela tkivo organizma. Z absorbirano dozo sevanja opredeljujemo energijo, ki jo je zadržala enota mase tkiva (enota gray – Gy). Ekvivalentna doza je absorbirana doza z upoštevanjem škodljivosti sevanja. Izrazimo jo z jouli na kilogram tkiva (J/kg). Enota zanjo je sievert (Sv). Efektivna doza je ekvivalentna doza z upoštevanjem občutljivosti posameznega tkiva (enota Sv). Kolektivna efektivna doza pa je efektivna doza skupine ljudi, izpostavljenih viru sevanja (enota človek Sv).

Zakon (Ur. l. RS št. 102, 2004) ureja varstvo pred ionizirajočimi sevanji z namenom, da se zmanjša škoda za zdravje ljudi in radioaktivna kontaminacija življenjskega okolja zaradi ionizirajočih sevanj, ki nastajajo ob uporabi virov ionizirajočih sevanj, do najmanjše možne mere in se hkrati omogoči razvoj, proizvodnja in uporaba virov sevanj in izvajanje sevalnih dejavnosti. Za vir sevanja, ki je namenjen pridobivanju jedrske energije, zakon ureja izvajanje ukrepov jedrske varnosti in, če gre za uporabo jedrskega blaga, tudi posebnih ukrepov varovanja.

Načela ukrepov varstva pred ionizirajočimi sevanji temeljijo na presoji upravičenosti njihove uporabe, optimizaciji uporabe ter doslednemu upoštevanju mejnih vrednosti (Ur. l. RS št. 102, 2004). Z zakonom je posebej opredeljena ocena izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem (poklicna izpostavljenost, izpostavljenost v zdravstvu, izpostavljenost prebivalstva, vodenje zbirk podatkov) in radiološki nadzor okolja (osnovna vodila, nadzor zunanjega sevanja, nadzor zraka, vode, tal in prehranske verige, nadzor ob izrednih dogodkih). Za preprečevanje ionizirajočega sevanja iz tovrstnih naprav so opredeljeni programi nadzora (predobratovalni nadzor, redni obratovalni nadzor, nadzor ob prenehanju uporabe naprav).

## **5.7 PREPREČEVANJE SVETLOBNEGA OBREMENJEVANJA OKOLJA**

Svetlobno obremenjevanje okolja je v slovenski Uredbi o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja (Ur. l. RS, št. 81, 2007; Ur. l. RS, št. 109, 2007) opredeljeno kot emisija svetlobe iz virov svetlobe, ki poveča naravno osvetljenost okolja. Svetlobno obremenjevanje okolja povzroča za človekov vid motečo osvetljenost in občutek bleščanja pri ljudeh, ogroža varnost v prometu zaradi bleščanja, zaradi neposrednega in posrednega sevanja proti nebu moti življenje ali selitev ptic, netopirjev, žuželk in drugih živali, ogroža naravno ravnotežje na varovanih območjih, moti profesionalno ali amatersko astronomsko opazovanje ali s sevanjem proti nebu po nepotrebnem porablja električno energijo.

Med vzroki svetlobnega onesnaževanja lahko naštejemo uporabo nezasenčenih svetilk, nepravilno montirane svetilke in prekomerno razsvetljavo.

Posledice se kažejo v zmanjšani vidljivosti zaradi bleščanja, povečanemu sipanju svetlobe nad mesti, kar moti nočne živali in zmanjša možnost astronomskih opazovanj. Zaradi motečega vpliva na bioritem ugotavljajo tudi negativen vpliv na zdravje. Ne nazadnje gre za nepotrebno porabo energije.

Ukrepi so usmerjeni predvsem v zmanjšanje osvetljevanja, pravilno usmerjanje svetlobe pri javni razsvetljavi, pa tudi v uporabo energetske manj potratnih svetil in avtomatiziranega vklopa in izklopa svetil.



## 6 ČISTE (INTEGRIRANE) TEHNOLOGIJE IN PRODUKTI

Na veliko tehnoloških področjih že imamo ustrezne tehnološke rešitve z manjšim negativnim vplivom na okolje in učinkovitejšo porabo virov. Kljub vsemu pa mnogo teh rešitev nima široke uporabe zaradi različnih kulturnih ali tržnih ovir ali pa sistemskih napak. Primer neuspeha produktov ali storitev na trgu je lahko preslaba informiranost o novih tehnologijah. Primer sistemskih napak so slabe povezave in pretok znanja in informacij med proizvajalci in inštitucijami znanja ter drugimi udeleženci v razvoju, dobavi in uporabi tehnologije. Kulturne ovire povzročata npr. razlika v načinu komuniciranja podjetij pri sklepanju poslov. Kljub številnim rešitvam na posameznih področjih je potreben razvoj novih radikalnih sprememb v smeri razvoja trajnostnih produktov ter čistih in varnih sistemov proizvodnje v vseh industrijskih sektorjih (Schnitzer in Ulgiati, 2007).

Historično gledano sta prešla nadzor in zmanjševanje emisij iz industrijskih virov obremenjevanja okolja skozi tri faze. Prvo fazo predstavljajo tako imenovane »**End-of-Pipe**« tehnologije nadzora nad obremenjevanjem, ki se ukvarjajo z odpadki in emisijami za tem, ko so nastali. Naslednja koncepta sta bila čista (čistejša) proizvodnja (**Cleaner Production**) in ukrepi v smeri eko-učinkovitosti (**eco-efficiency**). V tem primeru se je prvič pojavilo razmišljanje o tem, da ni smiselno le sanirati onesnaženja za tem, ko le-to nastane, temveč da je lahko že sama proizvodnja čistejša ter z manjšo porabo virov in energije. Čista proizvodnja izhaja iz predpostavke okoljske učinkovitosti, ki pa ima tudi pozitivne ekonomske koristi (Gravitis, 2007). Eko-učinkovitost pa izhaja iz predpostavke o ekonomski učinkovitosti, ki ima hkrati pozitivne okoljske koristi. Vendar pa so ti pristopi ponavadi vezani na posamezno industrijsko panogo oz. posamezni proizvodni proces in ne vključujejo možnosti vzpostavitve holističnih trajnostnih poslovnih modelov, ki med seboj povezujejo različne proizvodne sektorje. Z drugimi besedami, svetovni okoljski problemi (npr. klimatske spremembe, nezaposlenost, socialna neenakost) se na nivoju eko-učinkovitosti ne upoštevajo kot problemi podjetja oz. proizvodnega procesa. Kot primer lahko predstavimo primer uporabe osebnih računalnikov. Posamezen čip računalnika porabi mikroskopsko količino električne energije. Vendar pa izdelava čipa za posamezni osebni računalnik zahteva okrog 1000 kilovatnih ur električne energije. Gre torej za energetsko intenziven proizvodni proces. Izdelovalci računalniške opreme v ZDA tako porabijo 1 % celotne ameriške električne energije. Internetni računalniki, delovne postaje itd. porabijo dodatnih 8 % električne energije in s preostalimi nemrežnimi računalniki dosežejo skupnih 13 odstotkov porabe. Tu je predstavljena le poraba energije za izdelavo čipa in delovanje naprav, ne pa poraba virov in energije v preostalih korakih izdelave, delovanja in končne razgradnje računalnikov. Informacijska tehnologija, ki jo razumemo kot energetsko varčno industrijo, v celoti gledano to pravzaprav ni. S cenovno dostopnostjo računalnikov se je povpraševanje po njih povečalo.

Informatizacija proizvodnih procesov je na veliko področjih privedla do cenovno konkurenčnejših izdelkov, kar zopet poveča povpraševanje po njih. Čistejša proizvodnja kot tudi eko-učinkovitost v tem primeru vodita v večjo porabo in s tem tvorbo odpadkov (elektronski odpadki). Tretji koncept na tem področju je tako razvoj tehnologij in sistemov brez emisij - »Zero Emissions Concept (Schnitzer in Ulgiati, 2007).

**Tabela 10: Z namenom, da postane industrijska proizvodnja skladnejša z okoljem in socialnimi potrebami, je potrebno upoštevati štiri glavne strategije:**

<p>1. Zmanjševanje porabe naravnih virov in energije:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•usmerjanje na bolj učinkovite proizvodne sisteme, stroje, industrijske procese, naprave in obrate;</li> <li>•razvoj razširjenih podjetij, na znanju temelječih verig dobaviteljev in proizvodnih mrež, virtualnih postopkov in metod za izboljšanje vsesplošne učinkovitosti in optimalne rabe virov;</li> <li>•preusmeritev iz rabe fosilnih virov na obnovljive vire.</li> </ul>
<p>2. Prmik v smeri proizvodnje brez odpadkov in preprečevanja odpadkov:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•modernizacija industrijskih procesov z uporabo čistih proizvodnih tehnik s ciljem zmanjševanja emisij plinov, odpadne vode in trdnih odpadkov ter s prispevkom k zaščiti podnebja in okolja;</li> <li>•razvoj produktov – storitev, upoštevajoč celotno življenjsko dobo izdelka oz. storitve.</li> </ul>
<p>3. Spreminjanje vzorcev proizvodnje in porab:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•zmanjševanje tveganja v smeri izboljšanja delovnih in življenjskih razmer;</li> <li>•optimizacija in nadzor nad porabo virov in ustvarjanje produkt – storitev skozi celotni življenjski cikel;</li> <li>•obnova, čiščenje oz. obdelava in varna ponovna uporaba produktov in industrijskih odpadkov;</li> <li>•načrtovanje in promocija trajnostnih vedenjskih vzorcev porabe.</li> </ul>
<p>4. Učenje iz narave, privzemanje proizvodnih povezav in vzorcev, ki temeljijo na:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•mrežnem sistemu interakcij med procesnimi akterji in komponentami;</li> <li>•razvoj na naravi temelječih procesov: »mehke« tehnologije, mikrobni procesi, encimi, zelena kemija in obnovljivi substrati.</li> </ul>

V okviru razvoja koncepta tehnik in sistemov brez ali ničelnih emisij (Zero Emission Techniques and Systems) ne gre več za sektorski pristop, temveč sistemski vidik. Ne

gre več le za osredotočanje na posamezne vidike, kot so vplivi na vodo, zrak, tla ali rabo energije, temveč za vzpostavitev sistema, ki bi v končni fazi lahko vodil v trajnostni sistem proizvodnje in porabe, ki bi upošteval vse vidike ekonomije, ekologije in socialne enakosti. Da bi to dosegli, pa bodo potrebne nove rešitve in radikalni preboji in preskoki iz individualnih tehnologij na sistemski nivo. Ideja koncepta brez emisij je v celoti izrabiti vhodne surovine v končnih produktih in pretvoriti odpadke oziroma stranski produkt v surovino za naslednji proizvodnji proces. Gre za postavitve analogije naravnim ekološkim procesom, kjer ni odpadkov, temveč je snov ves čas v kroženju. V okviru tega koncepta naj tudi industrija ne bi ničesar odložila v okolje. Ideja je povezati industrije v grozde, kjer se stranski produkti prve industrijske proizvodnje popolnoma ujemajo z vhodnimi surovinami druge industrije. Popolna uporaba naravnih materialov, ki jo spremlja prehod na obnovljive vire, naj bi pomenila, da bi uporabo zemeljskih virov lahko pripeljali nazaj na trajnostni nivo. Največ raziskav na tem področju je trenutno usmerjenih na področje razvoja obnovljivih virov z namenom povečanja učinkovitosti porabe in nadomestitev trenutne odvisnosti od fosilnih goriv. Seveda pa tudi tu rešitve niso preproste in imajo vgrajen problem. Gre za nerešeno vprašanje velikosti industrijskega grozda. V velikih povezanih grozdih različnih industrij bi bila sicer medsebojna povezanost med različnimi procesi in izmenjava komponent velika, vendar pa bi s tem upadla možnost prilagajanja tehnologij (tehnološka fleksibilnost), kar bi zaviralo tehnološko dinamiko in s tem možen napredek oz. spremembe. Rešitve so torej v manjših grozdih, ki omogočajo izboljšave tehnologije z manjšimi stroški. Potreben je torej razvoj računalniško podprtih načrtov industrijskih sistemov, ki bodo omogočali optimalno rešitev med tehnološko fleksibilnostjo in statičnim optimumom v smeri ničelnih emisij.

## INŽENIRING

- Obsega aktivnosti načrtovanja gradnje, izvajanja postopkov in uporabe tehnik.

## TEHNOLOGIJA

- Ukvarja se s procesi in metodami proizvodnje.

## 6.1 INTEGRIRANE TEHNOLOŠKE VERIGE NA PRIMERU PREDELAVE BIOMASE – BIORAFINERIJA

V 21. stoletju smo lahko pričali o spremembah poudarkov v razvoju naravoslovnih znanosti. Z razliko od prejšnjih vodilnih napredkov na področju fizike, kemije, geofizike, astrofizike ... stopajo danes v ospredje novi dosežki na področju znanosti o življenju, kot so biologija, medicina, fiziologija, kmetijstvo (Gravitis, 2007). Ob novih dosežkih, ki jih je pokazala biologija, je pričakovati, da bomo ob uporabi obstoječih in bodočih napredkov na področju procesnega inženirstva lahko pričali o raznolikim novim industrijskim produktom iz obnovljivih rastlinskih virov. Ti novi produkti, naj bi na osnovi obnovljivih naravnih virov vključevali biogoriva, različne kemijske spojine, maziva, plastiko in gradbeni material. Produkti na osnovi obnovljivih naravnih materialov imajo namreč možnosti izboljšati trajnostni odnos do naravnih

virov, dvigniti kvaliteto okolja kot tudi nacionalne varnosti v konkurenčnih gospodarstvih. Produkti, ki temeljijo na obnovljivih naravnih virih – biomasi, so okolju prijaznejši, saj jih lahko proizvedemo z manj obremenjujočimi analognimi procesi, kot jih najdemo v industriji predelave fosilnih goriv. Gre za to, da so CO<sub>2</sub> nevtralni: rastline v času svoje rasti vežejo CO<sub>2</sub>, ki ga med gorenjem izpustijo v zrak. Glavno gonilo njihovega razvoja so omejene količine zalog nafte, katere se bližajo koncu, ter globalni okoljski problemi, ki zahtevajo zamenjavo fosilnih virov z obnovljivimi. V tem primeru bo vsekakor potrebno razviti nove mreže pretoka snovi oz. nove vrste surovin, pa tudi razvoj nove korporativne odgovornosti, trga in zakonskih regulativ.

### ***Kaj je biomasa?***

Gre za zelo raznolik material rastlinskega, živalskega in mikrobnege izvora, ki ga ne moremo opredeliti z natančno kemijsko formulo. Glavni prevladujoči elementi so ogljik - C, vodik - H in kisik -O, v običajnem molskem razmerju: CH<sub>1,4</sub>O<sub>0,6</sub>, če imamo v mislih rastlinski material, kjer ne upoštevamo vode in elementov v sledovih.

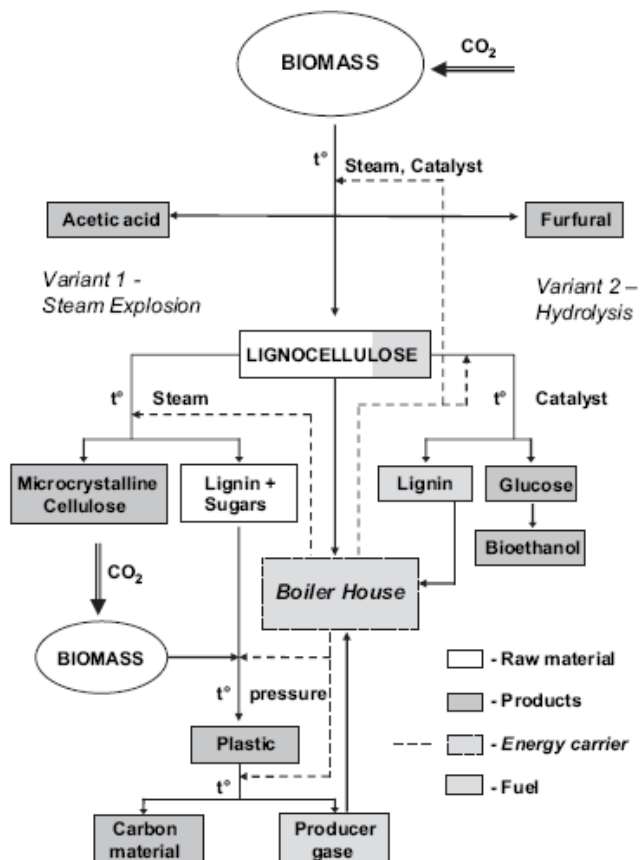
### ***Kaj je biorafinerija?***

Gre za tehnološke postopke in pripadajočo opremo, ki omogoča pretvorbo biomase v gorivo, elektriko in različne osnovne kemijske spojine, uporabne v nadaljnjih tehnoloških postopkih. Gre za analogen koncept naftni rafineriji, ki nam da različne vrste produktov. Gre za možnost proizvodnje različnih količinsko majhnih, a visoko vrednih produktov in npr. velike količine energetskega manj bogatih tekočih transportnih goriv ob sočasni tvorbi elektrike in procesne toplote za lastno uporabo ali morda celo toliko, da pride do prihranka porabe elektrike. Cilj je pridobiti produkte z visoko tržno vrednostjo, gorivo, ki bi zadostilo nacionalnim potrebam po energiji, elektriko, s katero bi zmanjšali stroške pridobivanja in se izognili emisijam toplogrednih plinov.

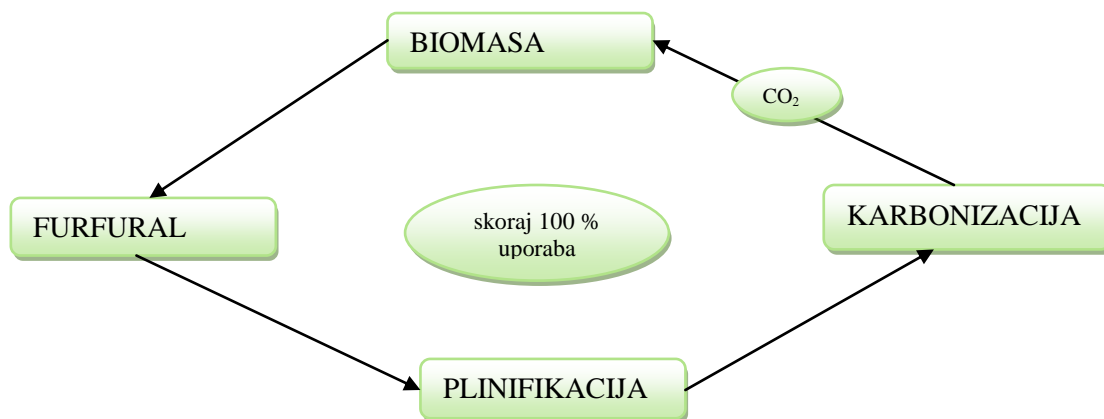
Vizija razvoja na tem področju je, da bi s kombinacijo uporabe kemije, biotehnologije, inženiringa in sistemskih pristopov lahko s pomočjo biorafinerije pridobili hrano, krmila, gnojila, industrijske surovine (različne vhodne kemijske spojine), goriva in elektriko.

V spodnji shemi je prikazan načrt predelave rastlinske biomase s ciljem izpeljave tehnoloških procesov brez končnih emisij. Prikazan je načrt, ki povezuje obstoječe in nove tehnološke postopke, katerih produkti bi lahko bili različne visoko vredne spojine in goriva, ki jih trg potrebuje (furfural, bioetanol itd.) in ogljikovi materiali s specifičnimi lastnostmi, kot je tako imenovana lesna keramika. Tehnološki postopek temelji na integraciji furfurala, vplinjevanja in karbonizacije.

Spodaj prikazana povezava omogoča uporabo skoraj 100-odstotnega začetnega lesnega materiala ali kmetijskega zelenega odpada. Poleg ekonomsko zanimivih produktov se kaže tudi okoljska korist – vezava CO<sub>2</sub>. V povprečju gre za vezavo 187 kg CO<sub>2</sub> na 100 kg suhe lesne mase. Tako lesne panele, ki jih uporabimo v gradbeništvu, ali ogljikovi gradbeni bloki, delujejo kot koncentrirana oblika dolgotrajnega shranjevanja ogljika oziroma CO<sub>2</sub>.



Slika 7: Shema načrta tehnoloških postopkov in integracije procesov. Furfural je industrijska kemijska spojina, ki jo lahko pridobimo iz različnih rastlinskih odpadkov (koruzni storži, slama žitaric, žaganje ...) Gre za aromatski aldehyd s kemijsko formulo  $C_5H_4O_2$  v obliki brezbarvnega olja. Vir: Gravitis, 2007.



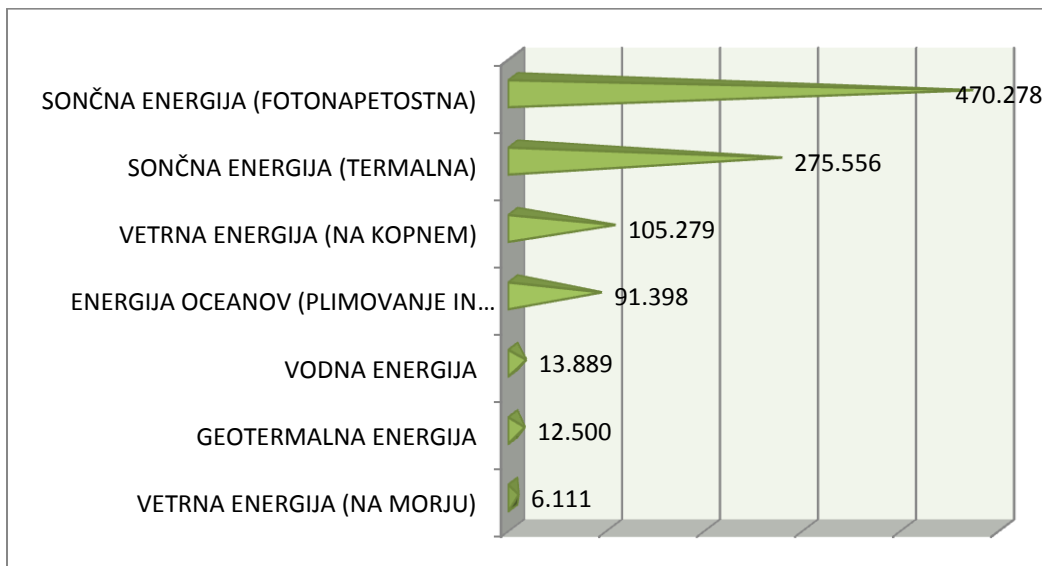
Slika 8: Načrt povezovanja tehnologije pridobivanja furfurala, vplinjavanja biomase in novih tehnoloških postopkov karbonizacije v industrijski grozd, ki ne proizvaja emisij v okolje. Vir Gravitis, 2007.

## 7 PRIDOBIVANJE IN UPORABA OBNOVLJIVIH VIROV ENERGIJE

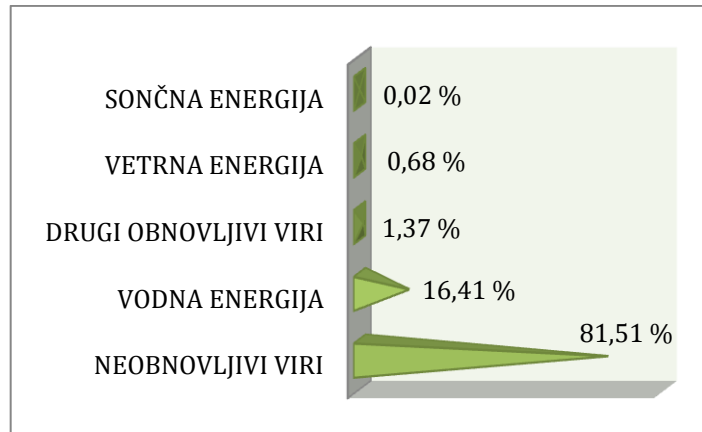
Danes se zavedamo, da viri nafte in naravnega plina za pokrivanje energetske potreb ne bodo zadostovali za več kot pol stoletja. Poleg tega so potrebe po spodbujanju uporabe obnovljivih virov energije tudi druge. Prehod na čistejšo energetske vire je pomemben tudi v boju proti podnebnim spremembam, ki vključuje zmanjšanje emisij toplogrednih plinov ter zmanjšanje obremenjevanja zraka. Energetski eksperti in poslovni sektor se zato preusmerjajo k prehodu na obnovljive energetske vire. Pri tem se pojavljata dve pomembni vprašanji: katere obnovljive vire bomo uporabljali in kako, ter ali bo prehod na obnovljive vire potekel dovolj tekoče, da se bomo lahko izognili vojnem, socialnim nemir in nadaljnji škodi, povzročeni naravnemu okolju.

### Obnovljivi viri energije

- Biomasa
- Vodna energija
- Sončna energija (toplotni solarni sistemi, sončne fotonapetostne elektrarne)
- Vetrna energija
- Geotermalna energija
- Energija morja (energija plimovanja)
- Vodik (vodikove gorivne celice, fuzija)



Slika 9: Električna energija, ki bi jo lahko v svetovnem merilu pridobili iz obnovljivih virov: 975.010 teravatnih ur. (Teravatna ura = 1000 gigavatnih ur = milijarda kilovatnih ur. Kilovatna ura zadošča, da 100-vatna žarnica sveti deset ur.) Vir: Johnson, 2009.



**Slika 10: Električna energija, pridobljena na Zemlji leta 2006: 19.015 teravatnih ur (TWh). Vir: Johnson, 2009.**

### ***Obnovljiva energija ima številne koristi in njena uporaba narašča***

V nasprotju z neobnovljivimi energetskega viri so obnovljivi viri energije (OVE) neizčrpani gledano na časovni skali človeške družbe. Zmanjšajo lahko obremenjenost ozračja in izpust toplogrednih plinov, ki vodijo v globalno segrevanje. Obnovljivi viri prinašajo tudi gospodarske koristi. Razvoj tehnologij na področju obnovljivih virov vodi v raznolik razvoj tehnologij v okviru energetskega sektorja, kar vodi v širšo ponudbo, stabilizira prej monopolne cene in s tem varuje pred šoki, kot je bil npr. v letu 1973 v času naftnega embarga z zmanjševanjem odvisnosti od tujih naftnih virov. Novi energetskega viri omogočajo nastanek novih delovnih mest in virov zaslužka, kar še posebej velja za skupnosti, ki jih je gospodarski razvoj na drugih področjih zaobšel. Lokalni obnovljivi energetskega viri so lahko za mnoge manjše ruralne skupnosti cenejši vir energije kot napeljava dolgih električnih vodov iz mest. Zaradi vseh naštetih razlogov obnovljivi energetskega viri, kot so sončna, vetrna in geotermalna energija, hitro naraščajo.

Hitra rast v sektorju obnovljivih virov energije se bo očitno nadaljevala z rastjo prebivalstva in potrošnje, z upadanjem zalog neobnovljivih virov in zahtev prebivalstva po čistem okolju. Zaradi povečane porabe in večjih spodbud v tem sektorju tudi cene energije iz obnovljivih virov padajo.

Za popoln prehod na OVE ostaja še nekaj tehnoloških in ekonomskih ovir. Nekatere tehnologije pridobivanja OVE so drage, potrebujejo še dodaten tehnološki razvoj ali pa manjka prave infrastrukture za prenos energije na potrebni stopnji.

Poleg iskanja novih energetskega virov pa je velikega pomena tudi potreba po zmanjšanju porabe energije kot tudi potreba po učinkovitejši porabi energije. Z učinkovitim zmanjšanjem porabe bomo lahko podaljšali dostop do fosilnih goriv in tudi zmanjšali negativne vplive na okolje. Ne glede na to, koliko energije prihranimo, jo bomo še vedno potrebovali in bo morala od nekod priti. Edini trajnostni način zagotavljanja zanesljivih dolgotrajnih virov energije je v pospešitvi razvoja tehnologij pridobivanja OVE, s čimer se bomo izognili pojemajočim in za okolje nevarnim fosilnim gorivom.

## 7.1 BIOMASA

Pri biomasi imamo v mislih organske snovi, ki so nedavno nastale v procesu fotosinteze (les, slama, semena, zeleni deli rastlin), kot tudi biomaso živalskega izvora, kot so živalski odpadki. Glede na izkušnje, ki jih imamo z izsekavanjem gozdov, pa se lahko vprašamo, ali je biomasa res obnovljivi energetski vir. V resnici je biomasa obnovljiva le, če je ne uporabimo prehitro oz. ob njeni izrabi ne povzročimo nepopravljive škode, kot npr. v obliki erozije tal ali popolnega uničenja gozda na mestih, kjer se ne more ponovno vzpostaviti. Pomemben izziv pri uporabi biomase je ta, da pri njeni uporabi ne zmanjšamo emisij do take mere kot pri uporabi drugih energetskih virov. Pri sežigu biomase se sprošča ogljikov dioksid in drugi plini, kot se sproščajo ob gorenju fosilnih goriv. Vendar pa za razliko od fosilnih goriv nove rastline s svojo rastjo v procesu fotosinteze porabljajo CO<sub>2</sub>, ki je bil pri gorenju sproščen v ozračje in tako neto učinek emisij približamo ničli. Pri vzgoji namenskih nasadov monokultur za izrabo v energetske namene se srečujemo še z naslednjim zadržkom, in sicer z vplivi na okolje, kot jih srečujemo v primeru gojenja rastlin za proizvodnjo hrane. Za večji pridelek uporabljamo gnojila in fitofarmacevtska sredstva, katerih pridelava v mnogih primerih temelji na fosilnih gorivih, s čimer zopet ne zmanjšujemo naše odvisnosti od fosilnih goriv in hkrati obremenjujemo okolje. Še večji problem pa je zmanjševanje kmetijskih površin, namenjenih pridelavi hrane, kar zvišuje ceno hrane in se že odraža kot velik problem v deželah v razvoju.

Kljub vsem naštetim pomanjkljivostim pa je biomasa ter goriva, pridobljena iz biomase, obnovljivi energetski vir, ki ga je mogoče shraniti, za razliko od električne energije, pridobljene iz obnovljivih virov. Z napredki v tehnologiji, pametno rabo in pridelavo je lahko uporaba biomase še vedno energetsko učinkovita in poceni in ne ogroža virov, namenjenih prehrani. V primeru, ko uporabljamo ostanke biomase (ostanki poljščin, ostanki iz gozda, ostanki in odpadki iz živinoreje, zajem deponijskih plinov itd.), je lahko biomasna energija pravzaprav zastonj, saj z energetsko izrabo odpadkov prihranimo pri stroških odlaganja teh odpadkov.

Pridelava tekočih goriv iz biomase (biodizel, etanol) dosega trenutno na trgu podobno ceno kot goriva iz nafte, predvsem zaradi različnih subvencij. Nasad energetskih rastlin za proizvodnjo etanola npr. ponuja kmetom dodaten trg za njihove pridelke. Vendar pa je izplen etanola gleda na potrebno površino zasaditve zelo majhen in bi bilo direktno kurjenje biomase energetsko učinkovitejše. Razvoj gre tako v smeri pridobivanja rastlin z višjim donosom kot tudi tehnik pridobivanja biogoriv. V primeru pridobivanja etanola so v iskanju ustrezne rešitve pridobivanja etanola iz lignina, celuloze in hemiceluloze, s čimer bi se izognili uporabi škroba in sladkorja, ki sta pomembna v pridelavi hrane.

### ***Možnosti uporabe energije iz biomase***

Kontinuirana rast biomase na našem planetu sicer presega primarne energetske potrebe človeka, vendar pa je le del te biomase mogoče uporabiti za energijo. Še vedno pa so na voljo velike količine biomase, ki so zelo primerne za izrabo, kot so ostanki iz kmetijstva, gozdarstva in sorodnih industrij, kot tudi odpadni organski material iz drugih industrij in gospodinjstev (Ruzt in Janssen, 2008).

Možnosti uporabe biomase za energijo so naslednje:

- Različni načini uporabe toplote, generirane pare in elektrike iz sežiga biomase v kombiniranih toplotno-električnih napravah (kogeneracijske enote).



- Kurjenje biomase kot so-sežig biomase s premogom v termoelektrarnah, cementarnah ...
- Pretvorba trdne (lesne) biomase v plinsko in tekočo obliko. Gre za drugo generacijo biogoriv, kjer v postopkih pod visoko temperaturo in visokimi tlaki pridobivamo plin in nadalje tekoča goriva, podobno kot pri predelavi premoga v ta namen. Prednost tega postopka je v tem, da je v ta namen mogoče izrabiti tudi organsko snov, kot sta celuloza in lignin, ki ju v drugih primerih pridobivanja biogoriv ne moremo uporabiti.
- Pretvorba biomase v tekoča goriva za pogon avtomobilskih in drugih motorjev:
  - **Etanol** pridobivajo s fermentiranjem škroba in sladkorjev (alkoholno vrenje, kjer v odsotnosti kisika kvasovke pretvarjajo sladkor v etanol in CO<sub>2</sub>), ki ga ponavadi pridobijo iz žit, sladkornega trsa, koruze ali grozdja.
  - **Biodizel** pridobivajo s predelavo rastlinskih olj semen soje, oljne ogrščice, živalskih maščob in druge biomase.
- Zbiranje in pridobivanje **bioplina**:
  - Estrakcija in izraba bioplina iz odlagališč komunalnih odpadkov.
  - Pridobivanje bioplina z anaerobno razgradnjo bioloških blat čistilnih naprav za čiščenje odpadne vode.
  - Pridobivanje bioplina iz ostankov v kmetijstvu (gnoj, gnojevka, kuhinjski organski odpadki, travna, koruzna silaža, klavniški odpadki itd).

Bioplin imenujemo zmes plinov, ki nastaja pri anaerobnem vrenju (mikrobna razgradnja organske snovi brez prisotnosti kisika) v bioplinski napravi. Največji delež plinov predstavlja metan, ki ga sežigamo v procesu proizvodnje energije, prisotni pa so še CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Postavljanje bioplinskih naprav v kmetijstvu se vse bolj spodbuja. Med prednostmi lahko naštejemo naslednje (Al Seadi s sod., 2008):

- proizvodnja električne in toplotne energije,
- zagotavljanje in povečanje dohodka iz kmetijskih aktivnosti,
- izkoriščajo potencialno energijo biomase in predstavljajo okoljsko ustrezen način odstranjevanja organskih odpadkov,
- predelan substrat - dgestat (ostanek organske snovi po anaerobni razgradnji) služi kot gnojilo, bogato z dušikom,
- zmanjšujejo neprijeten vonj pri nanašanju gnojila na polje,
- prispevajo k zmanjšanju obremenjevanja okolja (nadomeščanje fosilnih goriv, zaprt krogotok ogljikovega dioksida in drugih rastlinskih hranil).

**Tabela 11: Primerjava proizvodnje, stroškov, energijske bilance in emisije toplogrednih plinov biogoriv v primerjavi z bencinom (Bourne Jr., 2007).**

	<b>KORUZNI ETANOL*</b>	<b>TRSNI ETANOL**</b>	<b>BIODIZEL ***</b>	<b>CELULOZNI ETANOL*</b>
<b>Vir pridobivanja</b>	rumena krmna kuruza	sladkorni trs	oljna ogrščica (soja v ZDA)	kmetijski odpadki (npr. stebela, listi, storži) gozdarski odpadki, gospodinjski odpadki, celulozna pulpa, hitrorastoče trave ...
<b>Proizvodnja v litrih</b>	18,4 milijarde (2006)	14,99 milijarde (2005)	1,89 milijarde (2005)	še v razvoju
<b>Stroški proizvodnje</b>	0,21 €/liter	0,17		
<b>Maloprodajna cena (€/liter, podatki za 2007)</b>	0,59 bencin 0,51 etanol E85: 85 % etanola, 0,15 % bencina 0,72 energijski ekvivalent litra bencina <sup>a</sup>	0,96 bencin z 25 % etanola 0,57 etanol E85: 85 % etanola, 0,15 % bencina 0,76 energijski ekvivalent litra bencina <sup>a</sup>	1,20 dizel 1,32 biodizel 1,31 energijski ekvivalent dizelskega goriva <sup>a</sup>	
<b>Energijska bilanca (potrebna poraba fosilnih goriv za proizvodnjo goriv (VNOS) v primerjavi z energijo v gorivu (IZNOS))</b>	VNOS: 1 IZNOS: 1,3	VNOS: 1 IZNOS: 8	VNOS: 1 IZNOS: 2,5	VNOS: 1 IZNOS: 2-36
<b>Emisija toplogrednih plinov (kg/liter)</b> <i>Bencin: 2,4 kg/l</i> <i>Dizel: 2,8 kg/l</i>	1,9 (22 % manj v primerjavi z bencinom)	1,1 (56 % manj v primerjavi z bencinom)	0,9 (68 % manj v primerjavi z dizlom)	0,2 (91 % manj v primerjavi z bencinom)

\* podatki za ZDA

\*\* podatki za Brazilijo

\*\*\* podatki za Nemčijo

<sup>a</sup> etanol vsebuje 67 % energijske vrednosti bencina, biodizel vsebuje 86 % energijske vrednosti dizla

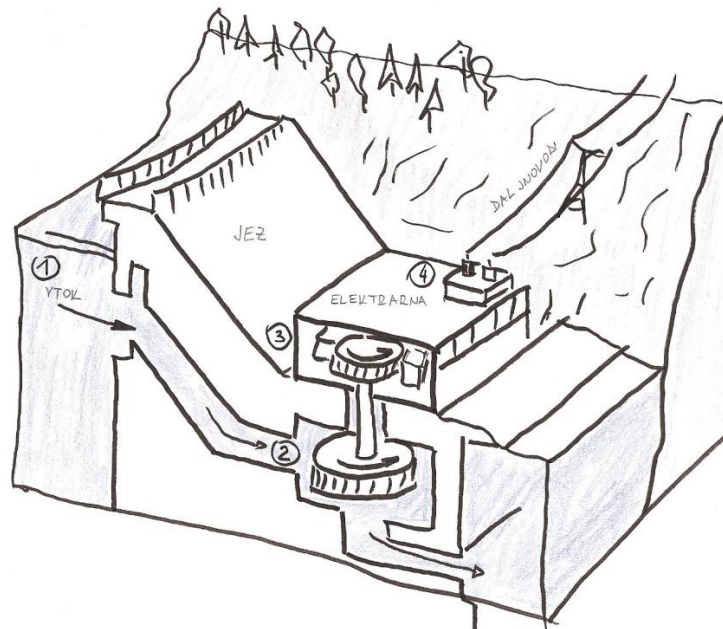
## 7.2 VODNA ENERGIJA

V primeru vodne energije gre za uporabo kinetične energije vode za premikanje turbin in tvorbo elektrike. Večina hidroelektrarn ima zaježitve za zbiranje in sproščanje vode skozi turbine. Količina generirane elektrike je odvisna od razdalje, s katere pada voda, in od količine vode, ki preteče. Poleg biomase je vodna energija drugi največji vir obnovljive energije.

### *Koristi vodne energije in negativni vplivi na okolje*

V proizvodnji energije ima vodna energija dve jasni prednosti pred uporabo fosilnih goriv. Vse dokler je dovolj padavin, ki polnijo reke in akumulacije, lahko uporabljamo vodo za pogon turbin. Druga prednost pa je v čistosti energije, saj ni izpustov emisij v zrak.

Seveda pa lahko prihaja tudi do negativnih vplivov na okolje. V primeru malih HE, ki ne uporabljajo zaježitev, prihaja do direktnega odvzema vode iz vodotoka, zaradi česar se količina vode v vodotoku močno zmanjša, kar lahko popolnoma spremeni življenjske pogoje v vodotoku in obrežnem prostoru oz. onemogoči preživetje določenih vrst in obstoj njihovih habitatov. Tudi v akumulaciji lahko pride do porabe vodnih zalog hitreje, kot se le-te lahko obnovijo. Ob neprimernem vzdrževanju akumulacij se lahko akumulira sediment, v katerem prihaja do anaerobne razgradnje in s tem tvorbe metana kot tudi degradacije vodnega in obvodnega okolja. Tudi temperatura vstopne in izstopne vode se razlikuje, kar vpliva na spremembo habitatov dol-vodno. Uvajanje in upoštevanje ukrepov varovanja okolja ob umeščanju HE v prostor je zato nujno potrebno za zmanjšanje vplivov na ekologijo in ekonomijo vodnega in obvodnega okolja na območju HE.



1. Iz akumulacije teče voda skozi pregrado (jez).
  2. Tok vode vrti turbino.
  3. Turbina obrača rotor, ki je sestavljen iz serije magnetov.
  4. Električna nastaja v generatorju: vrtenje rotorja mimo statorja, v katerem je bakreno navitje.
- (povzeto po Brennan in Withgott, 2005)

**Slika 11: Hidroelektrarna.**

## 7.3 SONČNA ENERGIJA

Sonce zagotavlja energijo za skoraj vse biološke aktivnosti na Zemlji s pretvorbo vodika v helij v procesu jedrske fuzije. Ogromna količina energije potuje iz Sonca na vse strani v obliki elektromagnetnega sevanja, pri čemer le neskončno majhen delček doseže Zemljo. Vendar je ta majhna količina dovolj za življenje na Zemlji. Zemljo doseže približno 1 kW sončne energije na kvadratni meter, kar ustreza energiji 17 žarnic na kvadratni meter. Povprečna hiša ima tako dovolj veliko površino strehe za tvorbo celotne potrebne energije z uporabo solarnih panelov. Količina energije, ki jo Zemlja na dan sprejme od Sonca, če bi jo hipotetično v celoti porabili za našo porabo, bi zadostovala za zadovoljitev potreb po električni energiji za 27 let. Vendar pa zaenkrat še ne znamo izkoristiti celotne energije sonca. Potreben je še nadaljnji razvoj tehnologije. Kar nekaj pristopov pa so uspešno razvili in se uporabljajo.

Najpogostejši pristop je **pasivni način zbiranja solarne energije**. Gre za način gradnje objektov in uporabe gradbenih materialov z maksimalno možnostjo absorpcije sončne energije v zimskem času, pri čemer ohranjajo hladno notranjost v poletnem času, vse z namenom ohranjanja energije in zmanjševanja stroškov za energijo. Drugi način pa je **aktivno zbiranje sončne energije**, kjer uporabljamo tehnološke naprave, ki usmerjajo, premikajo ali shranjujejo sončno energijo.

### ***Aktivni solarni kolektorji energije za gretje zraka in vode v stavbah***

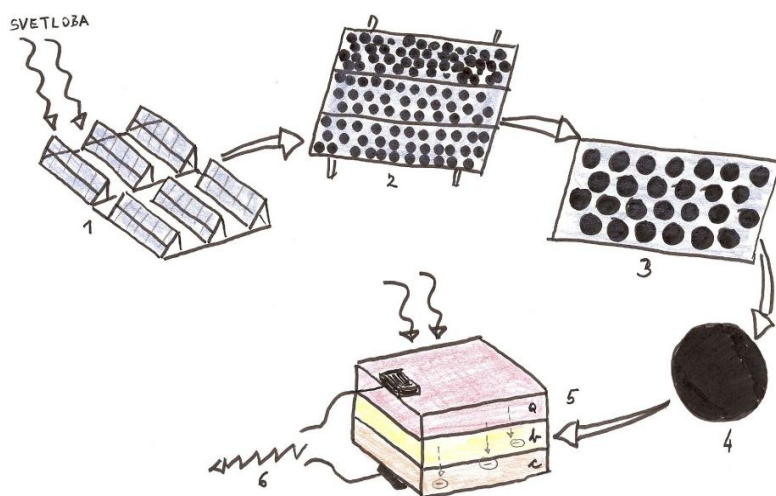
Med aktivne metode izkoriščanja sončne energije spadajo toplotni solarni sistemi v obliki tankih plošč temne barve, s kovinskimi elementi, ki absorbirajo toploto. Plošče so umeščene v velike ploščate panele in prekrite s steklom in običajno nameščene na streho. Skozi kolektor prehajajo cevi, ki so napolnjene z vodo, drugo tekočino ali zrakom. Snov v ceveh prenaša toploto v notranjost zgradb. Ogreta voda se lahko črpa v zadrževalnik, kjer se shranjuje za kasnejšo uporabo, ali skozi cevi, ki sproščajo toploto v notranjosti prostora. Sistemi so se izkazali kot zelo učinkoviti za gretje vode v družinskih stavbah. S temi sistemi lahko ogrevamo tudi bazensko vodo, procesno vodo v obratih, zrak za sušenje kmetijskih pridelkov ter zrak za prezračevanje in ogrevanje stavb. Osnovni elementi teh sistemov so torej sprejemniki sončne energije in hranilniki toplote. Sprejemniki sončne energije pretvorijo sončno sevanje v toploto in jo predajo snovi (najpogosteje kapljevini), ki se pretaka skozi sprejemnik. Toplotni solarni sistemi, ki jih uporabljamo za podporo ogrevanju stavb pozimi, v poletnem času niso polno izkoriščeni. Zato je smotrno, da toploto, ki jo zagotavljajo v poletnem času, uporabimo za hlajenje stavb. To se izvaja s pomočjo absorpcijskih hladilnih naprav ali hlapnim hlajenjem z zrakom, ki ga vpihujemo v stavbo.

### ***Koncentriranje sončnih žarkov Lahko poveča prejeta energijo***

Jakost sončne energije lahko pomnožimo z zbiranjem sončne svetlobe iz širšega območja in njenim usmerjanjem na eno točko s tako imenovanimi TSS koncentradorji. S tem pridobimo toploto na višjem temperaturnem nivoju, ki je potrebna v industrijskih procesih. Uporabljajo se zrcala, s katerimi povečamo gostoto sončnega sevanja na površini sprejemnika. Tako lahko proizvajamo paro, ki jo vgradimo v turbino, ki poganja generator električne turbine. To so **toplotne sončne elektrarne**. Enostavnejša izvedba pa je primerna za kuhanje – sončni kuhalniki, ki postajajo zelo uporabni v deželah v razvoju.

## **Fotonapetostne celice tvorijo elektriko neposredno iz sončne svetlobe**

Fotonapetostne celice zbirajo sončno svetlobo in jo direktno pretvarjajo v električno energijo z uporabo fotovoltaike oz. fotoelektričnega efekta, ki ga je že leta 1839 prepoznal francoski fizik Edmund Becquerel. Fotoelektrični pojav ali fotoefekt je pojav, pri katerem svetloba (elektromagnetno valovanje) z dovolj veliko frekvenco izbije elektrone s kovinske površine, na katero sveti. Svetloba v primeru fotonapetostne celice izbije elektrone iz para negativno nabitih kovinskih ploščic. Zaradi elektrostatske sile preideta elektrona na nasprotni pozitivno nabiti ploščici. Ponavljajoč tok elektronov z ene ploščice na drugo oblikuje električni tok. Sončne celice so narejene iz kristalnega silicija, ki je na eni strani obogaten z borom in na drugi s fosforjem. Silicij je polprevodnik, ki prevaja in vodi tok elektronov. Kemijske lastnosti bora in fosforja pa dajejo pozitivni električni naboj na strani, prevlečeni z borom, in negativni naboj na strani, na katero je nanesen fosfor.



1. Razporeditev fotonapetostnih panel
2. Panel
3. Fotonapetostni modul
4. Fotonapetostna celica
5. Sestava fotonapetostne celice (a - s fosforjem obogaten silicij, b - sklop, c - z borom obogaten silicij)

Ko sončna svetloba zadane silicijevo plast, obogateno s fosforjem, se sprostijo elektroni in potujejo k pozitivno nabitemu sloju silicija, obogatenemu z borom. To gibanje elektronov inducira električni tok in tvori uporabno elektriko (povzeto po Brennan in Withgott, 2005)

### **Slika 12: Pretvorba sončne energije v električno v fotonapetostni celici.**

Fotonapetostne celice so združene v module, ki so lahko združeni v večje panele. Fotonapetostni moduli predstavljajo prvi sklop sončnih fotonapetostnih elektrarn. Njihova vloga je torej v pretvarjanju elektromagnetnega valovanja sonca v enosmerni električni tok in napetost. Drugi sklop sončnih fotonapetostnih elektrarn so elektroenergetski elementi, ki se uporabljajo za proizvodnjo električne energije za posamezne namene. Električna energija se shranjuje v bateriji, od koder jo lahko porablja posamezno gospodinjstvo. Viške proizvedene elektrike pa je mogoče oddati v elektro omrežje.

Sončne elektrarne veljajo za čiste in okolju prijazne, saj s svojim delovanjem ne povzročajo emisij toplogrednih plinov in drugih emisij. Tako 1 MWp (moč v megavatih) velika sončna elektrarna letno proizvede 1,1 GWh (gigavatih ur) električne energije, kar je ekvivalent porabi 320 povprečnih slovenskih gospodinjstev. V primerjavi s proizvodnjo električne energije iz lignita pomeni 1

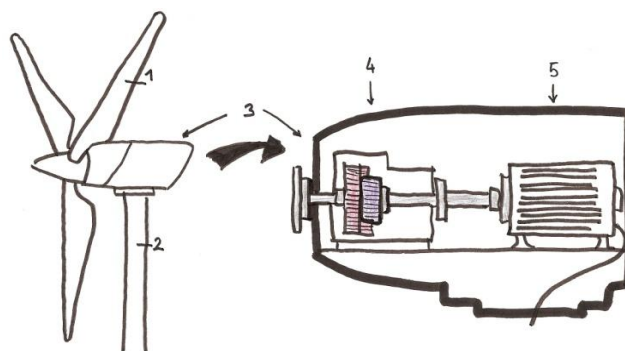
MWp velika sončna elektrarna za Slovenijo prihranek 1.100 t CO<sub>2</sub> na leto. Hkrati je to prihranek 580 ton lignita, kar v dvajsetih letih obratovanja pomeni več kot 11.000 ton lignita. Tolikšno zmanjšanje izpusta CO<sub>2</sub> je ekvivalent 1.200 novozasajenim drevesom (OVE v Sloveniji, 2009).

Trenutna pomanjkljivost tovrstnih sistemov so zaenkrat še relativno visoki stroški investicije, ki pa se z razvojem tehnologije in večanjem uporabe znižujejo. Pomembna je tudi zadostna količina sončnega sevanja skozi leto.

## 7.4 VETRNA ENERGIJA

Veter je sekundarna oblika sončne energije. Zaradi diferencialnega ogrevanja zračnih mas na Zemlji prihaja do njihovega premikanja oz. kroženja, kar se odraža v vetru. Gre torej za obnovljiv vir energije, ki ga lahko uporabimo za proizvodnjo elektrike. Ocena vetrne energije presega sedanje energetske potrebe v svetu za petnajstkrat.

Naravno moč vetra izkoriščamo s pomočjo naprave, ki jo imenujemo vetrna turbina. Z njo pretvorimo kinetično energijo vetra (energijo premikanja) najprej v mehansko delo na gredi turbine, le-to pa preko generatorja v električno energijo. Veter, ki piha v turbino, obrača lopatice rotorja. Rotor nadalje vrti opremo znotraj ohišja, nameščeno na vrhu stebra. Znotraj ohišja so nameščeni menjalnik (poveča vrtilno hitrost lopatic) in generator (ki tvori elektriko) ter senzorji za nadzor delovanja turbine. Stebri so visoki med 40 in 160 m za maksimalni izkoristek vetra. Večino rotorjev sestavljata dve do tri lopatice z razponom kril do 100 metrov. Turbine so načrtovane tako, da se lahko pomikajo v vseh smereh oz. vrtijo naprej in nazaj glede na smer vetra.



1. Lopatice
2. Stolp
3. Ohišje
4. Menjalnik, ki poveča vrtilno hitrost lopatic
5. Generator (tvori elektriko) (povzeto po Brennan in Withgott, 2005)

**Slika 13: Vetrna turbina.**

Vetrne elektrarne postajajo pomemben del energetskih sistemov v Evropski uniji in v svetu. Podobno kot pridobivanje električne energije in neposredne sončne energije tudi vetrne elektrarne ne povzročajo emisij v okolje, ko je oprema za elektrarno narejena in postavljena. Z enoletnim delovanjem 1 MW vetrne turbine bi lahko

preprečili sproščanje več kot 1,500 ton CO<sub>2</sub>, 6,5 ton SO<sub>2</sub> in 3,2 toni NO<sub>x</sub>, ki se sicer sprostijo ob uporabi fosilnih goriv.

Pri uporabi tehnologije pa ostaja še nekaj problemov. Ena od teh je, da veter ni stalen in da nad njim nimamo nadzora. Vetrno energijo uspešno spreminjamo v električno med vklopno (okrog 2,5 m/s) in izklopno (25 m/s) hitrostjo (OVE v Sloveniji, 2009). Vklompna hitrost je tista najnižja hitrost vetra, ki zavrti vetrnico s tako hitrostjo, da vetrna elektrarna oddaja električno energijo, ki je večja od njene lastne porabe. Izklopne hitrosti so tiste, pri katerih moramo rotor ustaviti, da dinamične obremenitve vetra ne poškodujejo celotne vetrne elektrarne.

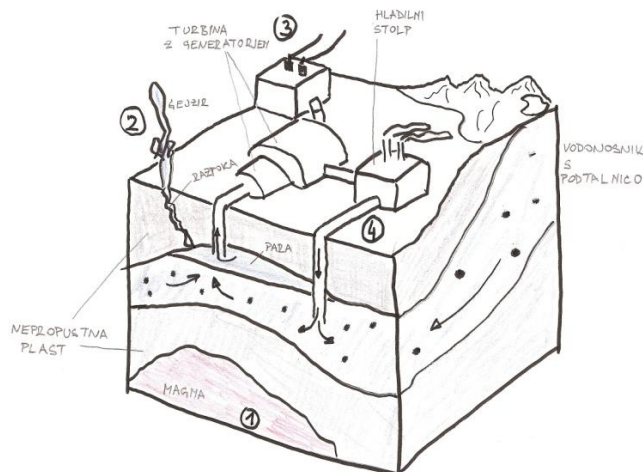
## 7.5 GEOTERMALNA ENERGIJA

Geotermalna energija je ena od oblik obnovljivih virov energije, ki ne izvira od Sonca. Nastaja v globinah Zemlje. Radioaktivni razpad elementov med visokimi pritiski in temperaturami globoko v zemlji tvori toploto, ki prihaja na površje preko magme in skozi razpoke. Kjer ta energija ogreva podtalno vodo, prihaja do naravnih izvirov in tokov termalne vode. Geotermalna energija je pomemben alternativni in lokalni **vir toplote** v Sloveniji. Direktna izraba termalne vode, predvsem v povezavi s turizmom, daljinskim ogrevanjem in ogrevanjem rastlinjakov, je obetavna in vse pomembnejša gospodarska panoga v Sloveniji. **Geotermalne elektrarne** uporabljajo energijo tople vode za proizvodnjo elektrike. Pri tem se izkorišča podtalno vodo in paro za poganjanje turbin in proizvodnjo elektrike. Toplo vodo lahko zajemajo na površini izvirov, še pogosteje pa gre za izvedbo vrtin, ki lahko segajo več sto do več tisoč metrov v globino. Pridobivanje geotermalne elektrike je v Sloveniji še v fazi idejnih zasnov. Drugod po svetu (ZDA, Islandija) pa le-te že obratujejo. Kljub temu, da je geotermalna energija obnovljivi vir (njena uporaba ne vpliva na količino ustvarjene toplote v notranjosti zemlje), pa delovanje elektrarn ni neomejeno. V primeru, da geotermalna elektrarna porablja vodo in paro hitreje, kot se podtalnica lahko ponovno napolni, bo vode zmanjkalo. Drug primer pa je možnost premikov Zemeljske skorje, zaradi česar pride do sprememb v geotermalni aktivnosti oz. poteh razpok in stikov s podtalnico.

Poseben način izrabe predstavljajo **geotermalne toplotne črpalke**, za katere lahko uporabimo že vodo s temperaturo nad 4 stopinjami Celzija. Izvedene so lahko v odprti (voda-voda) ali zaprti (zemlja-voda) različici. V prvem primeru se izkorišča toplota plitve podzemne vode, ki se črpa iz vodonosnika in po odvzemu toplote vrača vanj ali sprošča v površinski vodotok. V drugem primeru se toploto izkorišča preko vertikalnih ali horizontalnih kolektorjev, kjer se v vrtino vstavi sklenjena cev s kapljevino (običajno glikol), ki se uporablja za prenos toplotne energije. V tem primeru se ne posega v količinsko stanje podzemne vode. Črpalke zaprtega tipa se pri nas uporablja predvsem za aklimatizacijo individualnih stavb in javnih objektov. Princip, na katerem temeljijo črpalke, je, da se temperatura tal v globini med letom bistveno ne spreminja. S prenosom toplote v tla objekt poleti ohlajamo in s prenosom toploto iz tal objekt pozimi ogrevamo oz. je potrebnega manj dogrevanja z drugimi viri.

Podobno kot ostali obnovljivi viri energije tudi geotermalna energija močno zmanjša emisije v primerjavi z zgorevanjem fosilnih goriv. Iz geotermalnega vira se sicer lahko sproščajo različne količine raztopljenih plinov, kot so ogljikov dioksid, metan, amonij in vodikov sulfid, vendar so ocenjene količine teh plinov zanemarljive.

Obstajajo pa tudi omejitve. Poleg že omenjenih je lahko v termalnih izvirih raztopljenih veliko soli in drugih mineralov, ki razjedajo opremo in onesnažujejo zrak. Ti dejavniki lahko zmanjšujejo življenjsko dobo, povečujejo vzdrževalne stroške in prispevajo k onesnaževanju.



1. Magma ogreva podtalno vodo.
2. Ob naravnih razpokah prihaja na površje vroča para ali voda.
3. Z vrtnami zajamemo vročo vodo ali paro, ki poganja turbine in generira elektriko.
4. Ohlajena in kondenzirana para se vrača nazaj v vodonosnik za ohranjanje pritiska. (povzeto po Brennan in Withgott, 2005)

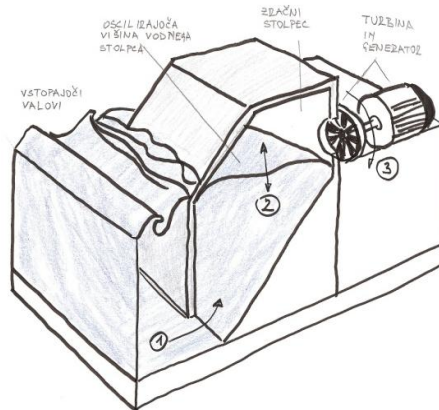
Slika 14: Geotermalna elektrarna.

## 7.6 ENERGIJA OCEANOV

Za sedaj kažeta na tem področju največ možnosti dva vira **kinetične energije morja**: *energija valovanja in energija plimovanja*. Dvigovanje in umikanje morja dvakrat dnevno premika ogromne količine vode ob obali. Razlike v višini med plimo in oseko so še posebej velike v dolgih in ozkih zalivih, kjer lahko izkoriščamo energijo plimovanja podobno kot to poteka v hidroelektrarnah na rekah. Največji tak objekt je v La Rance v Franciji. Tovrstni energetski objekti nimajo škodljivih izpustov v okolje, vsekakor pa imajo velik vpliv na ekologijo okoliškega območja, na katerem stojijo oz. na celotno vplivno območje plimovanja.

Poleg energije plimovanja in valovanja se proučuje tudi druge energije oceanov, kot so premikanje vodnih tokov, kemijskih gradientov in slanosti in ogromno toplotno energijo, ki jo vsebujejo oceani. Največ pozornosti so posvečali razvijanju koncepta **konverzije termalne energije oceanov**. V tropskih predelih absorbirajo oceani ogromne količine sončnega sevanja. Temperatura morske površine je tako višja od globljih plasti in ta temperaturni gradient naj bi izkoriščali v procesu termalne konverzije. Princip oziroma ideja temelji na pridobivanju pare, ki poganja električni generator. Pri tvorbi pare se iz vode ločijo tudi soli, s čimer lahko tako kot stranski produkt pridobimo še pitno vodo. Tehnologija se še razvija in stroški so zaenkrat še previsoki za komercialno uporabo.





1. Valovi vstopajo v komoro.
2. Dvigovanje in spuščanje nivoja vode v komori zvišuje in znižuje pritisk zračnega stolpca.
3. Premikanje zraka v obe smeri poganja turbino, ki generira elektriko. (povzeto po Brennan in Withgott, 2005)

**Slika 15: Obalna elektrarna, ki izkorišča moč valovanja.**

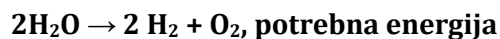
## 7.7 VODIK

Vse do sedaj predstavljene obnovljive vire energije lahko uporabimo za proizvodnjo elektrike. Pri tem je proizvodnja bistveno čistejša, kot je ob uporabi fosilnih goriv. Ne glede na to pa, kako vseuporabna je elektrika, je ni mogoče enostavno shraniti v večjih količinah za kasnejšo uporabo na določenem kraju ali določenem prostoru. To je razlog, zakaj so vozila še vedno močno odvisna od fosilnih goriv. Vendar pa razvoj gorivnih celic in goriva na vodik obeta možnost ustreznega shranjevanja energije v zadostnih količinah, kot tudi proizvodnjo elektrike na enako čist način in učinkovito, kot to dosegamo s prej predstavljenimi obnovljivimi viri energije.

V teh sistemih se kot gorivo uporablja vodik, ki je v vesolju najenostavnejši in najbolj razširjen element. Vizija je, da bi v celotnem sistemu proizvodnje energije pridobivali elektriko s pomočjo obnovljivih virov energije, kot sta vetrna in sončna. Le-to bi nato naprej uporabljali za pridobivanje vodika, ki ga lahko shranimo. V gorivnih celicah pa bi nato shranjeni vodik uporabljali za proizvodnjo električne energije, ki je potrebna za pogon vozil, vseh ostalih električnih naprav in ogrevanje domov.

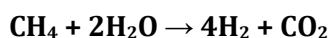
### ***Vodikovo gorivo Lahko pridobimo iz vode in drugih snovi***

Vodika v obliki plina ( $H_2$ ) ne najdemo v prosti obliki, temveč vezanega v različne molekule. Če ga želimo pridobiti iz teh molekul v plinski obliki, potrebujemo energijo. Eden od takih postopkov pridobivanja je elektroliza, kjer s pomočjo električnega toka razbijemo molekule vode na kisik in vodik.:



V postopku elektrolize nastaja čisti vodik brez drugih emisij plinov, ki sicer nastajajo pri izgorevanju fosilnih goriv. Ali bo celoten sistem pridobivanja vodika povzročal obremenjevanje okolja, pa je odvisno od načina pridobivanja elektrike, ki jo potrebujemo v procesu pridobivanja vodika, ter od vira, iz katerega pridobivamo vodik. Uporaba fosilnih virov energije za pridobivanje elektrike, ki bi jo v nadaljnjih postopkih porabili za pridobivanje vodika (elektroliza vode), zato energetsko in

okoljsko ni smiselna. Če vodik pridobivamo iz različnih organskih molekul, nastajajo pri tem stranski produkti, ki so lahko vir obremenjevanja okolja. V primeru pridobivanja vodika iz metana nastaja ogljikov dioksid:



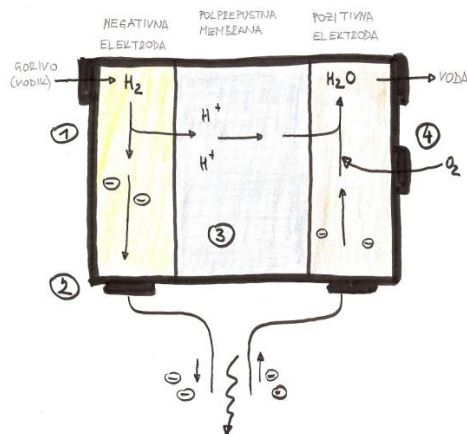
Obstaja pa tudi še nekaj odprtih vprašanj glede tega, kakšen vpliv bi imele večje količine vodika, ki bi uhajal iz proizvodnega procesa, na atmosfero. Potencialne posledice kažejo na tanjšanje ozonske plasti, kot tudi podaljševanje življenjske dobe metana v atmosferi, ki je pomemben toplogredni plin. Pred preходом na vodik je zato potrebno do konca pojasniti ta vprašanja.

### **Gorivne celice proizvajajo elektriko s spajanjem vodika in kisika**

Reakcija, ki se dogaja v gorivni celici, je obratna reakciji, ki poteče ob elektrolizi:

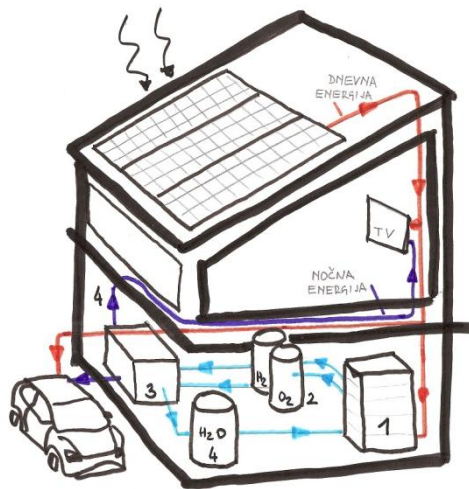


Gorivna celica je sestavljena iz dveh elektrod in polprepustne membrane, ki prepušča samo protone. Na obeh elektrodah je katalizator, ki nadzoruje potek kemične reakcije. Na anodo dovajamo vodik (gorivo), ki se razcepi na vodikove ione (protoni) in proste elektrone. Iz ene molekule vodika ( $\text{H}_2$ ) dobimo dva prosta elektrona. Protoni prehajajo skozi membrano. Medtem se na drugi strani celice kisikove molekule iz zraka razbijejo na atome vzdolž katode. Ti kisikovi atomi se vežejo z vodikovimi protoni, ki prehajajo skozi membrano, in tvorijo molekule vode. Preostali elektroni vodika pa »tečejo« prek vezja, ki tvori električni tok med dvema elektrodama. Prehod vodikovih elektronov iz ene elektrode na drugo tvori električni tok. V teoretičnem primeru bi imeli dva skladiščna prostora, enega za čisti vodik in drugega za čisti kisik. Hranjenje vodika je problematično zaradi tehničnih zahtev in strahu uporabnika, da vsa zadeva ne bi nepričakovano eksplodirala (v primerni kombinaciji vodika in kisika nastaja eksplozivni pokalni plin). V praksi se zato uporabljajo z vodikom bogata goriva, ki so primernejša za hranjenje.



1. Na negativno elektrodo dovajamo vodik, ki se razcepi na protone in elektrone.
2. Elektroni prehajajo iz negativne elektrode na pozitivno elektrodo, pri čemer se tvori električni tok in generira elektrika.
3. Medtem protoni prehajajo skozi membrano.
4. Na pozitivni elektrodi nastaja voda z združevanjem kisika ter protonov in elektronov, ki pritekajo iz negativne elektrode. (povzeto po Brennan in Withgott, 2005)

**Slika 16: Gorivna celica.**



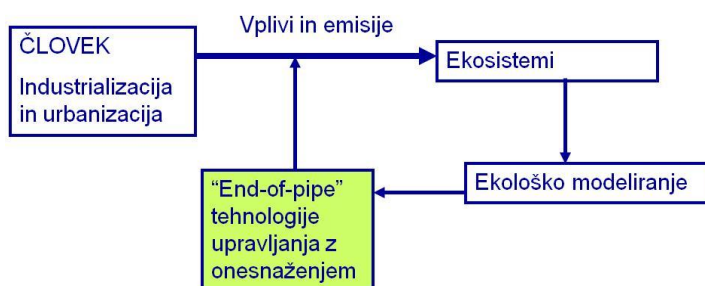
1. Presežek električne energije, proizvedene podnevi s fotonapetostnimi ploščami, je usmerjen v **napravo za elektrolizo vode**. V tej napravi elektrika, proizvedena iz sončne energije, cepi molekule vode na vodik in kisik.
2. Proizvedeni kisik in vodik se ločeno shranjujeta.
3. Ko postane pretemno za izkoriščanje sončne energije, se shranjena elementa v **gorivni celici** ponovno združita. Pri tem nastaja električna energija.
4. Električna energija iz gorivne celice v nočnih urah napaja gospodinjске aparate in polni akumulator električnega avtomobila. Stranski proizvod gorivne celice – voda – se reciklira.

**Slika 17: Napajanje gospodinjstva z elektriko s kombinacijo sončnih fotonapetostnih celic in gorivne celice za pridobivanje električne energije iz vodika. Vir: Johnson, Sončna energija noč in dan, NG Slovenija str 52. – 2009.**

# 8 EKOREMEDIACIJE: EKOLOŠKI INŽENIRING IN OBNOVA EKOSISTEMOV

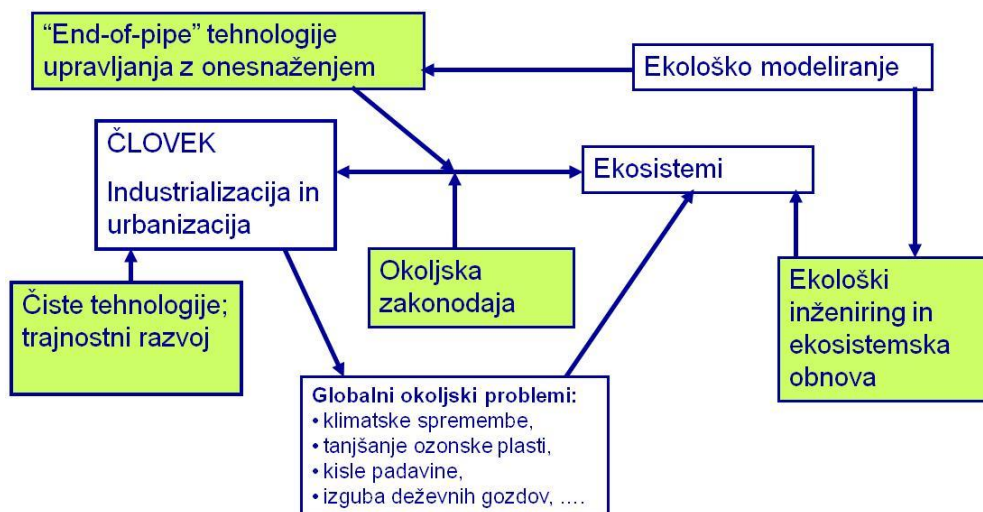
## *Ekoremediacije v kontekstu okoljskih tehnologij*

Z industrijskim razvojem, urbanizacijo, naraščanjem števila prebivalcev in negativnimi vplivi, ki jih s tem povzročamo v okolju, se je začela prebujati zavest o pomenu in veliki vrednosti vseh oblik življenja. Zavedati smo se začeli, da je z neodgovornim ravnanjem človeka ogrožen celoten planet, oziroma da je prihodnost Zemlje v naših rokah. Jasno postaja, da obremenjevanje okolja nima meja in da gre za globalni problem. Jasno so se izkristalizirale potrebe po zagotavljanju okoljske pravičnosti in socialne nepristranskosti ter potrebe po spremembi našega potrošniškega življenjskega sloga. Sprejeta je bila ideja o potrebi po trajnostnem razvoju, torej prehod od miselnosti uničevanja in izkoriščanja narave za potrebe človeka k miselnosti, ki privzgaja potrebo po dolgoročni zaščiti okolja in s tem njenih prebivalcev. Tako smo se znašli v fazi, ko se moramo vprašati, (1) ali naj z dosedanjjo prakso nadaljujemo in (2) ali so na voljo novi pristopi, ki bi nam omogočali obnovo življenjskih funkcij narave, od katerih smo odvisni (Mitsch in Jørgensen, 2004).



**Slika 18: Strategije upravljanja z okoljem v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja. Uporaba okoljskih tehnologij je temeljila na osnovi naprav in postopkov preprečevanja in odstranjevanja nastalih emisij. Ukrepi so se pokazali za nezadostne, saj mnogokrat ob rešitvi enega problema ustvarimo druge novega (npr. prerazporeditev onesnaženja iz enega medija v drug medij ali tvorba nove vrste emisij ob odstranjevanju prve) (Mitsch in Jørgensen, 2004).**

Različne spremembe v političnih odločitvah, novi zakonodaji in izvedbenih praksah, ki se pojavljajo znotraj in zunaj okoljskih in inženirskih krogov, nam kažejo, da počasi prihaja do sprememb in razumnega upoštevanja celovitih ekoloških odnosov v prej togih inženirskih posegih, ki so se izogibali upoštevanju in vključevanju naravnih procesov.



**Slika 19: Gospodarjenje z okoljem v enaindvajsetem stoletju upošteva kompleksnejše odnose. Gospodarjenje z okoljem je danes širše zastavljeno in vključuje uporabo okoljskih tehnologij, ki vključujejo tehnološke postopke odstranjevanja in preprečevanja nastalih emisij, čiste tehnologije, ki preprečujejo nastajanje onesnaževal v toku proizvodnega procesa in promovirajo uporabo novih čistejših in obnovljivih materialov in virov, ter ekološki inženiring z obnovo ekosistemov (ekoremediacije) (Mitsch in Jørgensen, 2004).**

Vloga, obveze in odgovornosti okoljskih inženirjev, ekotehnologov in vseh drugih, ki se ukvarjajo s posegi v okolje, se tako danes spreminja. Njihovo poslanstvo, ki je bilo prej fragmentirano na posamezni medij (npr. trdni odpadki in odpadna voda posameznega industrijskega objekta) z namenom varovanja javnega zdravja, varnosti in človekove blaginje, zahteva danes celovit pristop k upravljanju z vplivi, ki je osredotočen na zaščito in ohranjanje celotnega okolja. Tranzicija v tehnološkem razvoju in praksah gre torej v smeri:

- uporabe tehnologij, ki posnemajo naravne procese;
- tehnologij, ki ohranjajo naravne vire in energijo;
- promovirajo vzdržnost v smislu rabe dobrin in posegov v okolje;
- ne rušijo krhkega ravnotežja ekosistemov;
- so socialno in etično sprejemljive;
- so ekonomsko vzdržne in vsesplošno koristne.

Razvoj znanosti nas je namreč pripeljal do spoznanj o izjemni kompleksnosti procesov in odnosov v naravnem okolju. Pred reševanjem posameznega problema oziroma pred uvajanjem novega posega v prostor je tako potrebno poznati celotne razsežnosti narave problema. Pri iskanju najoptimalnejših rešitev za posamezni problem je zato potrebno upoštevati ekonomsko, tehnološko in ekološko stališče.

V prejšnjih poglavjih je bila predstavljena uporaba različnih okoljskih tehnologij, ki omogočajo odstranitev nastalega odpadka, uporabo naprednejše tehnologije, da do odpadnih snovi in onesnaženja okolja sploh ne pride, ter uporabo obnovljivih virov energije, ki ravno tako prispevajo k zmanjšanju onesnaženja in ohranjanju naravnih virov. Jasno pa je, da so določeni tehnološki postopki, ki bi popolnoma preprečevali nastajanje odpadkov ali kakršno koli emisijo, predragi in nerentabilni. Tu se v določeni meri lahko zanesemo na samočistilno sposobnost ekosistemov in njeno nosilnostno kapaciteto. Na tej osnovi tudi temelji postavitve emisijskih standardov: iznos odpadnih snovi v okolje mora biti v okviru samočistilne

sposobnosti okolja, kot tudi izraba virov, ki mora biti v okviru regenerativne kapacitete narave. S posameznimi ekoremediacijskimi posegi (Vrhovšek in Korže, 2009) oziroma metodami ekološkega inženiringa (Mitsch in Jørgensen, 2004) lahko s pomočjo naravnih procesov odstranimo onesnaženje in preprečimo nadaljnjo degradacijo okolja.

Ne gre pa le za točkovne vire obremenjevanja in proizvodnje, ko vemo, kdaj v proizvodnem procesu in uporabi produkta pride do obremenjevanja, na katerega lahko vplivamo in ga preprečimo. Problem predstavljajo tudi netočkovni viri obremenjevanja okolja (npr. kmetijstvo, promet), na katerega sicer lahko vplivamo z uporabo dobre prakse in izboljšane opreme, težko pa z razpoložljivimi tehnološkimi postopki odstranimo nastalo onesnaženje. Edino rešitev v tem primeru predstavljajo ekoremediacije (Vrhovšek in Korže, 2009) oziroma ekološki inženiring z obnovo ekosistemov (Mitsch in Jørgensen, 2004).

Kot tretji problem pa lahko izpostavimo degradirane ekosisteme, ki so nastali kot posledica enostranskih posegov človeka v okolje, kot npr. izsuševanje mokrišč za pridobitev obdelovalne površine, poglobitev in kanaliziranje strug vodotokov za preprečevanje poplav itd. Tudi tu lahko le z uporabo ekoremediacijskih posegov, ki omogočajo obnovo degradiranih ekosistemov, dosežemo povrnitev ekološke integritete z vsemi ekosistemskimi funkcijami in storitvami, ki jih ti ekosistemi nudijo.

Soočamo se torej z velikim številom okoljskih problemov in problemov, povezanih s pomanjkanjem virov, ki potrebujejo ekosistemski pristop in ne le standardne tehnološke rešitve. Potrebujemo torej nove rešitve, ki so bolj uglasene z našimi naravnimi ekosistemi (Mitsch in Jørgensen, 2004).

**Tabela 12: Definicije in različna poimenovanja celostnega načina reševanja okoljskih problemov, ki temelji na upoštevanju naravnih ekosistemskih zakonitosti.**

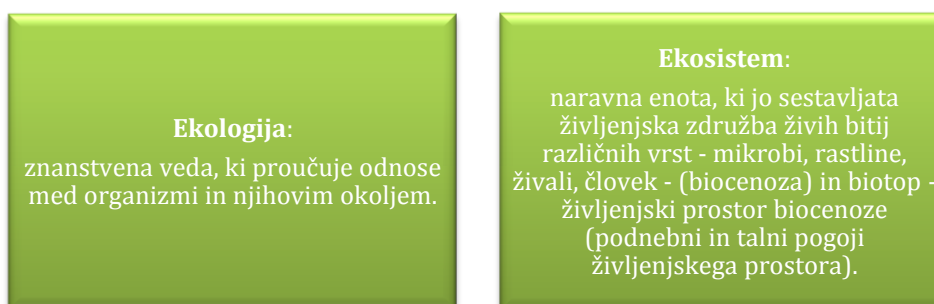
ANGLEŠKO POIMENOVANJE	SLOVENSKI PREVOD
<b>Ecological engineering</b>	Ekološki inženiring
<b>Ecosystem restoration</b>	Ekosistemska obnova
<b>Ecological restoration</b>	Ekološka obnova
<b>Synthetic ecology</b>	Sintetična ekologija
<b>Restoration ecology</b>	Obnovitvena ekologija
<b>Bioengineering</b>	Bioinženiring
<b>Sustainable agroecology</b>	Trajnostna agroekologija
<b>Habitat reconstruction</b>	Habitatna rekonstrukcija
<b>Ecohydrology</b>	Ekohidrologija
<b>Ecosystem rehabilitation</b>	Ekosistemska rehabilitacija
<b>Biospherics</b>	Biosferika
<b>Bio-manipulation</b>	Bio-manipulacija
<b>River and lake restoration</b>	Obnova rek in jezer
<b>Wetland restoration</b>	Obnova mokrišč
<b>Reclamation ecology</b>	Povrnitvena ekologija
<b>Nature engineering</b>	Inženiring narave
<b>Ecotechnology</b>	Ekotehnologija
<b>Engineering ecology</b>	Inženirska ekologija
<b>Solar aquatics</b>	Solarna akvatika
<b>Ecoremediations</b>	Ekoremediacija

## **Definicije in različna poimenovanja celostnega načina reševanja okoljskih problemov, ki temelji na upoštevanju naravnih ekosistemskih zakonitosti**

S spoznavanjem pomena reševanja okoljskih problemov v sozvočju s procesi v naravi se je pojavilo veliko poimenovanj tovrstnih aktivnosti, ki so se nanašala na reševanje problemov posameznih ekosistemov (mokrišča, jezera, vodotoki ...) ali ciljev aktivnosti (odstranitev onesnaževal v tleh, obnova habitatov ...) Danes se srečujemo s širokim naborom poimenovanj, ki so med seboj sinonimi, ali pa opredeljujejo določene poddiscipline in področja.

Kot prva so se pričela pojavljati predvsem poimenovanja, ki so se nanašala na obnovo (restoration), kot je npr. ekološka obnova (ecological restoration), ki se je nanašala predvsem na povrnitev ekosistema v stanje pred njegovim porušenjem. Različni projekti na to temo so se tako nanašali predvsem na ponovno izgradnjo ekosistemov kot čim boljših približkov prvotnemu stanju. Z razvojem znanja in pridobljenimi izkušnjami je prišlo do pomembnega prehoda iz enostavnih empiričnih pristopov na pristope, ki so temeljili na dobro osnovani teoretični osnovi in so hkrati upoštevali pomembno lastnost ekosistemov, kot je samoorganiziranost in njihova sposobnost samoizgradnje.

V slovenskem prostoru se v širšem pomenu varovanja in obnove okolja uveljavlja izraz **ekoremediacija** (Vrhovšek in Korže, 2009), ki je opredeljen kot *uporaba naravnih procesov za obnovo in zaščito okolja*. V angleški literaturi pa v tem okviru naletimo na poimenovanje »ecological engineering« ali **ekološki inženiring** (Mitsch in Jørgensen, 2004), ki je definiran kot *načrtovanje trajnostnih (vzdržnih) ekosistemov, ki povezujejo človeško družbo z njenim naravnim okoljem v korist obeh*. V obeh primerih izhajamo iz načrtovanja ali obnove vzdržnih ekosistemov, ki imajo vrednost tako za človeka kot za naravo. Poudarek je na načrtovanju, obnovi in izgradnji vodnih in kopenskih (terestričnih) ekosistemov z uporabo pristopov, ki temeljijo na osnovnih spoznanjih ekologije kot bazične znanosti. Zaradi pogostejše



rabe termina »ekoremediacija« v slovenskem prostoru in dostopne literature na to temo (Vrhovšek in Justin, 2005; Korže in Vrhovšek, 2006; Razinger, 2008; Vrhovšek in Korže, 2009;) bo v nadaljevanju uporabljan termin ekoremediacija.

Kot pomembno razliko med ekoremediacijami in dosedanjimi inženirsko-tehničnimi posegi v okolje za doseg določenega okoljskega cilja lahko izpostavimo **sposobnost samoorganizacije ekosistemov** kot sistemov. V konvencionalnih inženirskih pristopih gre namreč za vsiljeno organizacijo sistemov, ki se kaže v togih strukturah z malo možnosti prilagajanja spremembam. To je vsekakor še kako zaželeno v inženirskih načrtih, kjer je predvidljivost varnih in zanesljivih struktur, kot so mostovi, peči ali razžvepljevalne naprave itd., nujna. Slabše pa se izkaže npr. pri

regulaciji vodotokov in drugih posegih v naravno okolje, kjer se prepletajo in nenehno spreminjajo kompleksni abiotski in biotski dejavniki. Samoorganiziranost tako na drugi strani omogoča razvoj prilagodljivih povezav z veliko večjo možnostjo prilagajanja novim situacijam. Ta lastnost samoorganiziranosti oz. samoizgradnje je zato še kako dobrodošla pri reševanju raznolikih ekoloških problemov in predstavlja bistvo ekoremediacije.

### ***Samoizgradnja in samovzdrževanje ekosistemov***

Zakaj pravzaprav gre pri samoizgradnji ekosistemov? Po vnosu posameznih vrst v ekosistem po naravni poti ali s posredovanjem človeka je njihov obstoj in preživetje bolj odvisno od narave same kot pa od človekovih vplivov. Gre za vrsto selekcijskih pritiskov na organizme s strani danih biotskih in abiotskih dejavnikov ter pojava mutacij in prilagoditev organizmov, v katerih v končni fazi prevladajo najmočnejši oziroma najbolj prilagojeni danim razmeram. V posameznem ekoremediacijsko načrtovanem sistemu tako z vnosom velikega števila različnih vrst pospešimo ta proces selekcije v samoizgradnji sistema. Če torej zagotovimo zadostno začetno pestrost grajenega ekosistema, bo v nadaljnjih fazah ekosistem sam v procesu samoorganizacije optimiziral izgradnjo preko naravnega izbora najbolj prilagojenih rastlin, živali in mikrobov na dane razmere v okolju in privedel do vzpostavitve **samovzdržnega ekosistema**.

Pri ekoremediaciji gre tako za nov pristop v načrtovanju. V primeru klasičnih inženirskih projektov, moramo vnaprej predvideti vse možne pojave dogodkov in v njihovem okviru zgraditi predvidljiv in zanesljiv sistem, ki bo v svoji predvideni življenjski dobi izvajal načrtovane funkcije. V teh sistemih prevladujejo toge in predvidljive strukture z vračunanimi dejavniki tveganja. Govorimo o sistemih, kot je npr. izgradnja ceste, jezusa ali hiše. V teh primerih se ponavadi biologija in ekosistemi ne pojavljajo. V primeru ekoremediacije pa se v dosti večji meri zanašamo na naravo samo in na njeno sposobnost samoizgradnje samovzdržnega ekosistema. V primeru ekoremediacije v končno izgradnjo ekosistema v enaki meri prispevata inženirski poseg in narava sama. Človek v tem primeru zagotovi le začetne razmere in možnost vnesenim vrstam, da skupaj pospešijo sposobnost ekosistema k njegovi samoizgradnji.

Tak vzpostavljen pester ekosistem je zelo prilagodljiv. Ob nastopu okoljskih sprememb nad obstoječimi vrstami v ekosistemu prevladajo nove, bolj prilagojene in prehranjevalne verige se reorganizirajo. Človek je v celoten sistem vključen le z zagotavljanjem začetnega nabora vrst in prilagajanjem razmer zanje. Kot primer lahko predstavimo vzpostavitev mokrišča. V tem primeru zasadimo različne rastline v različne globine vode, saj ne moremo z gotovostjo predvideti, kje bo določena vrsta najbolje uspevala, niti kako se bo v prihodnosti gibala višina vode. Po začetni zasaditvi pelje nadaljnji razvoj mokrišča narava sama.

Poleg pristopa samoizgradnje pa uporabljamo tudi bolj načrtovane izgradnje ekosistemov s ciljem preživetja in naselitve prav določenih rastlinskih in živalskih vrst ali s ciljem okrepitve določene ekosistemske funkcije. Tak je primer, ko želimo zagotoviti življenjski prostor za določeno ogroženo živalsko vrsto ali ko želimo doseči pospešeno evapotranspiracijo vode ali odstranjevanja hranilnih snovi iz odpadne vode.

Pri ekoremediaciji gre torej za uporabo in osredotočanje na biološke vrste, združbe in ekosisteme ter zanašanje na njihovo samoizgradnjo s ciljem doseganja človekovih potreb. V tem se ekoremediacije močno razlikujejo od tradicionalnih okoljskih



tehnologij (okoljski inženiring, sanitarni inženiring ... ), ki temeljijo na uporabi naprav in pripomočkov za odstranjevanje, pretvorbo ali zadrževanje onesnaževal in pri tem ne uporabljajo ekosistemov.

### ***Opredelitev ekosistemskih funkcij, storitev in dobrin***

V prejšnjem poglavju smo spoznali, da ekoremediacije temeljijo na procesih, ki potekajo v ekosistemih. S pravilnim načrtovanjem in upoštevanjem narave lahko tako dosežemo posamezen zastavljeni cilj, kot je npr. očiščenje odpadne vode. To pravzaprav lahko dosežemo tudi z uporabo tradicionalnih pristopov na področju preprečevanje in odstranjevanja onesnaženja. Za razliko od tradicionalnih pristopov pa nam ekoremediacijski pristop vedno ponudi širši nabor storitev kot tudi dobrin. Gre torej za celoten spekter storitev ekosistemov in njihovih komponent (voda, tla, hranila - mineralne komponente in organizmi), na katerih temelji naš obstoj.

Širok nabor ekosistemskih storitev je mogoče opredeliti na različne načine. V poročilu Millenium Ecosystem Assessment (2005) lahko najdemo celovit pregled ekosistemskih storitev, ki jih razvršča v štiri kategorije: **podporne, oskrbovalne, regulatorne in kulturne storitve**.

**Podporne storitve** ekosistemov so opredeljene kot tiste, ki so nujno potrebne za delovanje vseh ostalih ekosistemskih storitev. Gre za procese znotraj ekosistemov, ki omogočajo fotosintezo in s tem primarno produkcijo, kroženje hranil (obstoj prehranjevalne verige in biogeokemijsko kroženje elementov), kroženje vode in tvorbo tal. Sem lahko štejemo tudi habitatno funkcijo ekosistemov, torej zagotavljanje življenjskega prostora najrazličnejšim organizmom.

Med **oskrbovalne storitve** poročilo (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) uvršča vse produkte, ki jih lahko pridobimo iz ekosistemov, kot so hrana, vlaknine, viri za preskrbo z energijo, genetski viri (genetska pestrost organizmov), različne kemikalije naravnega izvora, surovine za farmacevtsko industrijo, naravna zdravila, okrasni viri, mineralne surovine in pitna voda.

**Regulatorne storitve** ekosistemov predstavljajo sposobnosti ekosistemov pri uravnavanju kvalitete vode, zraka in tal (zmožnost čiščenja vode, zraka in tal – samočistilna sposobnost), vpliva na klimo (npr. vezava CO<sub>2</sub> v rastlinah, vpliv na vlažnost zraka ...), vloge pri zmanjševanju erozije, širjenju bolezni, omogočanju opravevanja in vpliva na naravne nevarnosti (uravnavanje suše, poplav, vetra ...)

Zadnjo kategorijo predstavljajo **kulturne storitve** ekosistemov. Gre za nematerialne koristi, ki izhajajo iz pokrajinske vrednosti ekosistemov: rekreacija, estetska izkušnja, duhovna obogatitev, izobraževalna funkcija itd.

Tabela 13: Ekosistemske storitve.



Z ekosistemskim pristopom reševanja posameznega okoljskega problema tako vedno vpletemo celotne ekosistemske funkcije in dosežemo še druge ekosistemske storitve. Kot primer lahko izpostavimo preprečevanje erozije tal z golih njivskih površin z zasaditvijo grmovnih in drevesnih vrst v obliki mejic. Z zasaditvijo rastlin se bo močno zmanjšala jakost vetra in s tem iznos prašnih delcev z njivskih površin. To bi lahko dosegli tudi s postavitvijo kakršne koli ograje zadostne višine. Ekoremediacijski ukrep pa v tem primeru nudi še vse ostale ekosistemske storitve, zgoraj naštetih v podporni, oskrbovalni, regulatorni in kulturni kategoriji storitev ekosistemov.

**Drevo v urbanem okolju - stoletna bukev**  
*Lastnosti:*

- 20 metrov visoko drevo,
- premer krošnje 12 metrov,
- 600 tisoč listov,
- površina listov 1200 kvadratnih metrov,
- drevo prekrije 120 kvadratnih metrov površine tal,
- izmenjava plinov poteka na 15 tisoč kvadratnih metrih površine listov glede na njihovo fiziološko zgradbo.

**Izmenjava plinov:**

- v sončnem dnevu drevo predela 9400 litrov CO<sub>2</sub> (ali 18 kilogramov CO<sub>2</sub>),
- ob 0,3-odstotni koncentraciji CO<sub>2</sub> v zraku gre skozi liste 36 tisoč kubičnih metrov zraka,
- iz drevesa izhlapi 400 litrov vode dnevno,
- s fotosintezo proizvede 13 kilogramov kisika dnevno, kar zagotovi dnevno potrebo desetih ljudi.



European Arboricultural Council

Slika 20: Drevo v urbanem okolju.

**Tabela 14: Vloga dreves v urbanem okolju:**

Estetski prispevek v okolju:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•vračajo značilnosti naravnega okolja v urbano krajino,</li> <li>•prispevajo barve, cvetove, oblike, teksturo,</li> <li>•omehčajo grob videz grajenih struktur.</li> </ul>
Prospevek k zdravju:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ustvarjajo občutja sprostitve in dobrega počutja,</li> <li>•nudijo zasebnost in občutek individualnosti (samote) in varnosti.</li> </ul>
Zmanjšajo zračno onesnaževanje:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•filtrirajo in zadržijo onesnažene delce v zraku (prah, pepel, cvetni prah, spore gliv in druge škodljive snovi v zraku),</li> <li>•vežejo CO<sub>2</sub> in v zameno vračajo kisik v atmosfero.</li> </ul>
Prispevajo k ohranjanju čiste vode in tal:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•odpadlo listje bogati tla z organsko snovjo,</li> <li>•korenine povečujejo prevodnost tal,</li> <li>•zmanjšajo površinski odtok vode v času nalivov,</li> <li>•zmanjšujejo erozijo tal in s tem nalaganje sedimentov v vodotokih,</li> <li>•prispevajo k bogatenju podtalnice, ki je na tlakovanih in asfaltiranih površinah zmanjšano,</li> <li>•zmanjšujejo odtok onesnaževal v vodotoke,</li> <li>•zmanjšujejo vetrno erozijo tal.</li> </ul>
Prispevajo k manjši porabi energije:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•pravilno zasajena (listopadna) drevesa lahko zmanjšajo potrebo po ohlajanju prostorov v poletnem času,</li> <li>•v zimskem času lahko predstavljajo vetrno bariero in s tem zmanjšajo potrebo po ogrevanju (zimzeleno drevje).</li> </ul>
Prispevek k spreminjanju lokalne klime:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•zmanjšajo temperaturo vročih »betonskih otokov«,</li> <li>•zračna temperatura se zmanjša s senčenjem,</li> <li>•z evaporacijo vode prispevajo k vlaženju ozračja in s tem posredno k hlajenju,</li> <li>•zmanjšajo bleščanje v sončnih dnevih,</li> <li>•zmanjšajo hitrost vetra.</li> </ul>
Posredni prispevek k ekonomski stabilnosti:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•zelena območja so privlačnejša za turizem in posel,</li> <li>•ljudje dalje nakupujejo v trgovinah ob cestah z drevesi,</li> <li>•oddaja stanovanj v zelenih območjih je večja in dosega višjo ceno,</li> <li>•produktivnost je višja v delovnih okoljih z več zelenja.</li> </ul>
Prispevek k manjšemu širjenju hrupa:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•drevesa absorbirajo in zaustavljajo hrup iz urbanega okolja.</li> </ul>
Prispevek k habitatni pestrosti za naselitev živalskih in rastlinskih vrst:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•nastanek lokalnih ekosistemov, ki zagotavljajo življenjski prostor in hrano različnim živalskim vrstam.</li> </ul>

### ***Klasifikacija ekoremediacij glede na njihovo funkcijo***

Možnosti uporabe ekoremediacij za ohranjanje zdravega stanja ekosistemov so lahko zelo široke. V posameznih primerih potrebujemo le manjši začetni poseg človeka, da dosežemo želeni cilj in glavnino delovanja prepustimo naravi sami. Tak primer je npr. ponovna vzpostavitev mokrišča, ko je dovolj, da preprečimo povezave z drenažnimi sistemi za aktivno odcejanje vode. V drugih primerih pa so potrebni že posamezni inženirski posegi, kot je dovod električne energije za prečrpavanje vode in vključevanje znanja in spretnosti, ki jih poznamo na področjih gozdarstva, ribištva, kmetijstva itd.

Glede na delovanje in namen uporabe ekoremediacij lahko opredelimo pet glavnih kategorij (Mitsch in Jørgensen, 2004):

1. Uporaba ekosistemov za zmanjšanje ali rešitev problemov obremenitev okolja.
2. Gradnja nadomestnih ekosistemov: ponovna vzpostavitev ekosistemov (njihovo imitiranje ali ustvarjanje kopij), ko gre za zmanjševanje ali reševanje problema po njihovi odstranitvi iz okolja.
3. Pomoč pri obnovi ekosistema po večjih motnjah ali degradaciji.
4. Sprememba obstoječih ekosistemov z upoštevanjem ekoloških vidikov za rešitev posameznega okoljskega problema.
5. Uporaba ekosistemov v korist človeku, ne da bi s tem porušili ekološko ravnotežje.

Poudariti pa je potrebno, da se ponavadi srečujemo s spletom okoljskih problemov (npr. uničenje mokrišč s hkratnim povečanim odtokom obremenjene vode in pojavljanje invazivnih rastlinskih vrst; ali pa odlagališče odpadkov, ki povzroča degradacijo tudi okoliških tal, je vir odpadne vode in širjenja smradu itd.) Zato je potrebno tudi rešitve usmeriti tako, da povrnemo zdravo stanje celotnemu ekosistemu, oziroma da odstranimo vse okoljske probleme. Uporaba posameznega ekoremediacijskega pristopa tako ni omejena le na posamezno funkcijo.

**Tabela 15: Primeri uporabe ekoremediacij za kopenske in vodne ekosisteme glede na njihovo funkcijo.**

<b>Ekoremediacijski pristop / funkcija</b>	<b>Kopenski ekosistem</b>	<b>Vodni ekosistem</b>
Uporaba ekosistemov za zmanjšanje ali rešitev problemov obremenitev okolja.	fitoremediacija, bioremediacija onesnaženih zemljin	mokrišče ali rastlinska čistilna naprava za čiščenje odpadne vode
Ponovna vzpostavitev ekosistemov (njihovo imitiranje ali ustvarjanje kopij) ko gre za zmanjševanje ali reševanje problema po njihovi odstranitvi iz okolja.	obnova gozda	nadomestna mokrišča (močvirja, mlake, kali, naravni ribniki ...)
Pomoč pri obnovi ekosistema po večjih motnjah ali degradaciji.	obnova degradiranih rudniških površin, kamnolomov, odlagališča odpadkov	obnova jezer, degradiranih vodotokov, brežin, rečnih ustij (brakičnih območij)
Sprememba obstoječih ekosistemov z upoštevanjem ekoloških vidikov za rešitev posameznega okoljskega problema.	selektivna sečnja v gozdu (npr. tujerodnih dreves ali neprimerno umetno zasajenih za ponovno vzpostavitev ekološkega ravnovesja)	biomanipulacija (odstranitev ali vnos posamezne rastlinske ali živalske vrste v sistem za ponovno vzpostavitev ekološkega ravnovesja)
Uporaba ekosistemov v korist človeku, ne da bi s tem porušili ekološko ravnotežje.	vzdržni agroekosistemi, ekološka pridelava hrane, ekološki turizem	ribogojstvo z gojenjem več vrst rib hkrati, ekološki turizem

## **8.1 EKOREMEDIACIJE ZA ZMANJŠANJE ALI REŠITEV PROBLEMOV OBREMENITEV OKOLJA**

Kot primer onesnaženja oz. preobremenjenosti specifičnega okolja lahko vzamemo eutrofikacijo jezera. Preprečimo jo lahko tako, da preprečimo vnos hranil (dušik, fosfor itd.) v jezero. To lahko dosežemo z uporabo konvencionalnih okoljskih tehnologij za odstranjevanje onesnaževal iz virov odpadne vode, kot so različne biološke in kemične čistilne naprave, kjer npr. s pomočjo kemične precipitacije odstranimo fosfor in s pomočjo ionske izmenjave ali denitrifikacije odstranimo dušik. Vendar pa točkovni viri obremenjevajo okolja niso edini viri, ki prispevajo k eutrofikaciji. Problem predstavlja tudi netočkovno onesnaževanje oz. obremenjevanje okolja, ki ga s konvencionalnimi tehnologijami težko odstranimo. Tu pridejo v poštev ekoremediacijski pristopi, kjer lahko z uravnavanjem delovanja obstoječih ekosistemov in z izgradnjo novih ekosistemov preprečimo in odstranimo onesnaževala, ki bi sicer povzročala eutrofikacijo jezera. Primer je npr. vzpostavitev vegetacijskih pasov vzdolž kmetijskih površin, ki zadržijo spiranje delcev prsti, hranil (viška gnojil) in organskega materiala v vodotok ali pa vzpostavitev zaščitnega mokrišča vzdolž brežin jezera z enako funkcijo zadrževanja onesnaževal.

Pomen, ki ga imata tak vegetativni pas in mokrišče za okolje, pa je še mnogo širši: zmanjšata hitrost toka vode, zadržujeta vodo in s tem uravnavata ekstreme suš in poplav, ponujata nov in drugačen habitat živalskim in rastlinskim vrstam, vežeta CO<sub>2</sub> v rastlinsko biomaso in sproščata kisik, prispevata k tvorbi tal itd. Hkrati pa so hranila in organska snov, ki predstavljajo vir onesnaženja oz. eutrofikacije jezera v našem primeru, neposredno vključena v kroženje snovi in energije v ekosistemu in jih ne obravnavamo kot odpadke, ki ga moramo nekje odložiti za tem, ko smo ga odstranili iz enega medija in prestavili v drugega.

#### Eutrofikacija:

kopičenje hranilnih snovi in ogranskih spojin v stoječih in tekočih vodah, ki povzročata bujno rast alg. Odmiranje letih pa zaradi gnitja odmrlih celic in drugega organskega materiala povzročata drugotno onesnaženje: pomanjkanje kisika, pogin rib in drugih živali.

Podobno kot pri obremenjenih vodnih ekosistemih se lahko z ekoremediacijskimi ukrepi lotimo odstranjevanja onesnaženja v kopenskih ekosistemih. Primer so npr. onesnažena tla zaradi različnih industrijskih (rafinerije, predelava kovin ...) in vojaških aktivnosti (onesnaženost s težkimi kovinami, eksplozivi), odlaganja odpadkov ter intenzivnega kmetijstva (prisotnost težkih kovin v tleh, fitofarmaceutskih sredstev, visoke slanosti tal itd.) V teh primerih lahko s primerno zasaditvijo rastlin in zagotavljanjem razmer, ki omogočajo visoko mikrobovno aktivnost v tleh, dosežemo razgradnjo, odvzem ali imobilizacijo različnih organskih in anorganskih onesnaževal. Tehnike čiščenja in preprečevanja širjenja onesnaževal v tleh z uporabo rastlin imenujemo fitoremediacija. Tehnike čiščenja in preprečevanja širjenja onesnaženja v tleh s stimulacijo mikrobnega delovanja pa imenujemo bioremediacija. V praksi gre ponavadi za kombinacijo delovanja oziroma za prispevek rastlin in talnih mikrobov ob zagotavljanju primernih razmer za njihovo rast. V določenih primerih, predvsem ko gre za akutna onesnaženja, kot je razlitje različnih snovi, pa zahteva tovrstni način čiščenja večjo mero tehničnih pristopov (aktivno prezračevanje, dovajanje mikrobnih hranil, aktivno prečrpavanje vode ...) za doseganje optimalnih rešitev.



Slika 21: Funkcije mokrišča kot ekoremediacijskega objekta.

Tabela 16: Samočistilni procesi v kopenskih in vodnih ekosistemih.

Samočistilni procesi v kopenskih in vodnih ekosistemih		
<p><b>Fizikalni:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sedimentacija,</li> <li>- filtracija med delci substrata in koreninami,</li> <li>- adsorpcija zaradi privlačnih sil med delci,</li> <li>- izhlapevanje (volatilizacija).</li> </ul>	<p><b>Kemični:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- obarjanje,</li> <li>- adsorpcija in ionska izmenjava med delci substrata in koreninami,</li> <li>- razgradnja ali pretvorba manj stabilnih snovi zaradi oksidacije, redukcije, obsevanja z UV svetlobo itd.</li> </ul>	<p><b>Biološki:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- metabolizem mikroorganizmov in rastlin, ki omogoča pretvorbo in razgradnjo različnih snovi,</li> <li>- sprejem (asimilacija) snovi v rastline in mikroorganizme,</li> <li>- naravno odmiranje patogenih organizmov zaradi neprimerne in spremenljivega okolja.</li> </ul>

## ***Rastlinske čistilne naprave kot primer ekoremediacijskega načina čiščenja odpadnih voda***

S posnemanjem samočistilne sposobnosti narave so v začetku sedemdesetih let v svetu začeli razvijati čistilne sisteme za čiščenje odpadnih voda z uporabo močvirskih rastlin (Vrhovšek in Justin, 2005). V Sloveniji se je zanje uveljavilo ime rastlinske čistilne naprave (RČN) (Bulc, 1996; Justin s sod., 2002; Vrhovšek in Justin, 2005). Tako so bila v sredini 80-ih let izdana številna poročila o rezultatih delovanja RČN, ki so kazala veliko učinkovitost čiščenja. Na osnovi tega je EPA (ZDA) leta 1988 izdala glavne smernice postavljanja RČN. RČN uspešno čistijo različne odpadne vode v ZDA, Kanadi, na Kitajskem, Novi Zelandiji, v Avstraliji in drugod. V Evropi jih je v rabi več tisoč, pri čemer jih je največ v Nemčiji, Angliji in Franciji (Bulc, 2008).

Ideja čiščenja z različnimi mešanicami substrata, močvirskimi rastlinami in mikroorganizmi, ki jih tak sistem predstavlja, se je udejanila v obliki različnih, ponekod zelo inovativnih umetnih močvirij oziroma rastlinskih čistilnih naprav ter sonaravno urejenih močvirij. RČN so torej naprave, ki posnemajo samočistilne procese v naravnih močvirskih ekosistemih, s tem da je cilj strukture in funkcije teh sistemov v doseganju čim večje učinkovitosti čiščenja na čim manjšem prostoru. V te sisteme so vključene močvirske rastline, različni substrati in nanje vezani mikroorganizmi, ki odstranjujejo onesnaževala iz odpadne vode.

Kljub izrazu "naprava" v imenu so RČN naravni sistemi, ki obsegajo različno velike površine, kjer so na ustreznem substratu, skozi katerega se pretaka odpadna voda, posajene različne rastline, prilagojene na uspevanje v vlažnem okolju (Justin s sod., 2002). RČN izboljšujejo kvaliteto vode s pomočjo celega spektra bioloških procesov, ki se naravno pojavljajo v močvirskih okoljih. Čiščenje poteka v mikroekosistemih, v katerih celoto predstavlja rastlina s svojim koreninskim sistemom in okolnimi mikroorganizmi. Rastline igrajo aktivno vlogo pri odvzemu razpoložljivega dušika, fosforja in drugih snovi, kot so npr. težke kovine iz odpadne vode. Vloga rastlin pa ni samo v asimilaciji določenih snovi iz odpadne vode, temveč tudi zagotavljanje podlage in ustreznih pogojev za naselitev in razvoj mikroorganizmov, vlogo imajo v fizikalnih in kemijskih procesih, kjer poteka vezava snovi na nabite delce koreninskih laskov ter prehajanje atmosfere kisika v tla preko listov, stebel in koreninskega sistema v plast okoli korenin in s tem ustvarjanje aerobnih območij. Atmosferski kisik prehaja z difuzijo tudi neposredno v substrat. Korenine zrelega sistema RČN pa imajo pomemben vpliv tudi na hidravlično prevodnost substrata.

Močvirske rastline tako utrjujejo površino sistema, omogočajo dobre pogoje za filtracijo, preprečujejo tvorbo erozijskih kanalov, mašenje, upočasnjujejo tok vode, pozimi prispevajo k izolaciji, s svojo veliko površino podzemnega koreninskega sistema omogočajo naselitev številnim mikroorganizmom, kar je povezano tudi s sproščanjem kisika, ter asimilirajo hranilne snovi in kovine ter doprinesejo k okolju prijaznemu videzu. S tvorbo nove biomase pa ni zanemarljiv tudi njihov prispevek k vezavi CO<sub>2</sub>. Raziskave čiščenja v RČN brez ali z močvirskimi rastlinskimi vrstami so pokazale, da je delovanje naprav v prisotnosti rastlin boljše, predvsem zaradi sposobnosti privzemanja hranilnih snovi.



**Tabela 17: Vloga rastlin v rastlinski čistilni napravi.**

Vloga močvirskih rastlin v RČN
<ul style="list-style-type: none"><li>• Filtracija.</li><li>• Tvorba velike površine za pritrditev mikroorganizmov.</li><li>• Preprečevanje erozije.</li><li>• Razraščanje korenin rahlja substrat in tvori v njem kanale. S tem preprečujejo mašenje.</li><li>• Korenine upočasnijo tok vode, kar poveča usedanje delcev.</li><li>• Dovajanje kisika v rizosfero (in s tem pospeševanje rasti mikroorganizmov, ki pripomorejo k razgradnji različnih snovi v odpadni vodi).</li><li>• Senčenje preprečuje razvoj alg v sistemih s površinskim tokom vode. Manjša vsebnost planktonskih alg ima za posledico manjšo koncentracijo neraztopljenih snovi na iztoku.</li><li>• Zaradi evapotranspiracije se zmanjša količina vode.</li><li>• Zagotavljanje vira ogljika, ki ga nekateri heterotrofni mikroorganizmi potrebujejo za pretvorbe hranilnih snovi.</li><li>• Odpadli deli rastlin pozimi ščitijo tla pred zmrzovanjem.</li><li>• Vpliv na prehajanje svetlobe, temperature in vlage v okolju.</li><li>• Vgrajevanje hranilnih snovi iz odpadne vode.</li><li>• Sproščanje alelokemikalij (sproščanje kemijskih snovi rastlin, ki spodbujevalno ali zaviralno delujejo na druge organizme).</li><li>• Estetski učinek.</li></ul>

V aerobnih conah okrog koreninskih laskov poteka mikroba razgradnja organskih snovi. Ta se nadaljuje v območjih brez kisika, kjer delujejo anaerobni mikroorganizmi. Tako se oksidni in anoksidni procesi dopolnjujejo in povečujejo učinkovitost čiščenja. Mikroorganizmi tako soustvarjajo fizikalne, kemijske in biološke pretvorbe ter tako spreminjajo sestavo vode v sistemu RČN. Med nosilci čiščenja odpadne vode v RČN so bakterijske združbe in glive ene od najpomembnejših. Pretvorbe snovi iz odpadne vode pa so poleg prisotnosti ali odsotnosti kisika odvisne tudi od drugih zunanjih dejavnikov, kot so temperatura, pH, koncentracija hranilnih snovi, prisotnost strupenih snovi itd.

**Tabela 18: Vloga mikroorganizmov v rastlinski čistilni napravi.**

Vloga mikroorganizmov v RČN
<ul style="list-style-type: none"><li>• Metabolni procesi mikroorganizmov igrajo pomembno vlogo pri aerobnih in anaerobnih procesih odstranjevanja organskih onesnaževal.</li><li>• Pri pretvorbi in odstranjevanju anorganskih onesnaževal so pomembni predvsem pri pretvorbah dušika, žvepla, železa ...</li><li>• Zavzemajo vse vrste ekoloških niš (aerobni, anaerobni, heterotrofi, litoavtotrofi ...)</li></ul>

Izjemnega pomena pri načrtovanju RČN je izbira primerne mešanice substrata ob upoštevanju njegovih hidravličnih lastnosti. Substrat ima pomembno vlogo pri filtraciji, sorbciji, obarjanju, ionski izmenjavi in tvorbi kompleksov v odstranjevanju onesnaževal iz odpadne vode. Hkrati predstavlja oporo rastlinam in razpoložljivo površino za naselitev mikroorganizmov. Najpogosteje uporabljeni substrati v RČN so mineralnega izvora (glina, peščene naplavine, usedline) ter zemljine organskega izvora (šota).

**Tabela 19: Vloga substrata v rastlinski čistilni napravi.**

Vloga substrata (medija) v RČN
<ul style="list-style-type: none"><li>• Hidravlična prevodnost (pomen velikosti delcev za pravilen pretok/zadrževanje vode).</li><li>• Medij za ukoreninjenje rastlin.</li><li>• Medij za naselitev mikroorganizmov.</li><li>• Fizikalni mehanizmi čiščenja.<ul style="list-style-type: none"><li>• Filtracija.</li><li>• Sedimentacija.</li><li>• Sorbcija (raztopljene, suspendirane snovi, mikrobi, dušik, fosfor, kovinski ioni).</li><li>• Obarjanje (kovine, fosfor).</li><li>• Ionska izmenjava in tvorba kompleksov.</li></ul></li></ul>

Poglobljeno razumevanje strukture in funkcije posameznih nosilcev čiščenja je osnova za načrtovanje in učinkovito delovanje sistemov RČN. Različne vrste mikroorganizmov delujejo v širokem območju fizikalnih in kemijskih pogojev. Zaradi različnosti vrst in niš, ki jih naseljujejo, lahko močvirski sistem deluje kot čistilni sistem (Bulc, 2008).

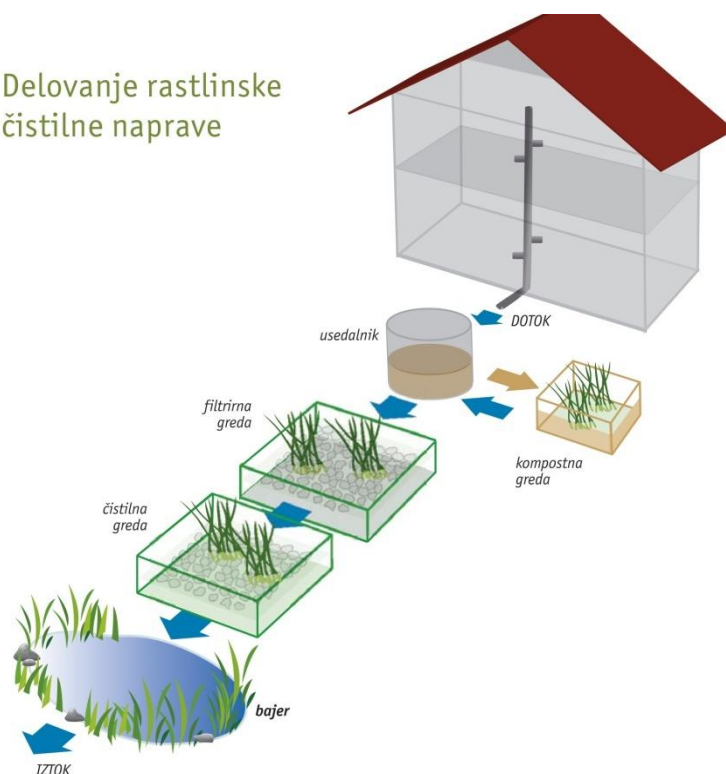
Ob primerni uporabi in pravilni konstrukciji lahko RČN učinkovito odstranijo večino onesnaževal, ki so prisotna v komunalnih in industrijskih odpadnih vodah. RČN so še posebej učinkovite pri odstranjevanju in zniževanju vsebnosti BPK (biološke potrebe po kisiku), suspendiranih trdnih delcev, dušika, fosforja, ogljikovodikov in tudi kovin.

Izgradnja in oblikovanje običajno vključuje mehansko predčiščenje za zadrževanje in sedimentacijo trdnih delcev, sistem gred RČN za čiščenja odpadne vode ter po potrebi iztočno laguno, ki kot končni člen v verigi omogoča poleg dodatnega čiščenja tudi večnamensko izrabo vode. Po mehanskem predčiščenju se voda steka v sistem vodotesnih gred, izoliranih s folijo in napolnjenih z različnimi mešanici substrata. V substrat, ki je navadno mešanica več vrst peska, so posajene različne vlagoljubne rastline, najpogosteje navadni trst (*Phragmites australis*), rogoz (*Thypha latifolia*), in tudi sitec (*Scirpus spp.*) ter šaši (*Carex spp.*)

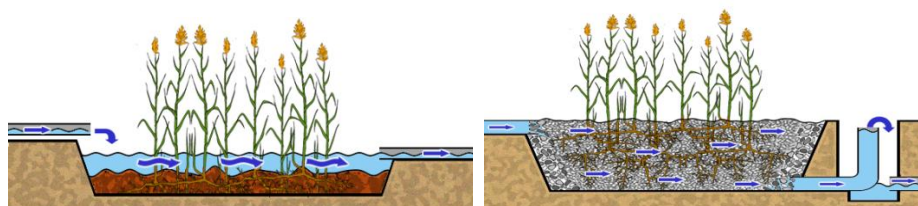


**Slika 22: Rastlinska čistilna naprava v Svetem Tomažu, Vir: arhiv Limnos.**

## Delovanje rastlinske čistilne naprave



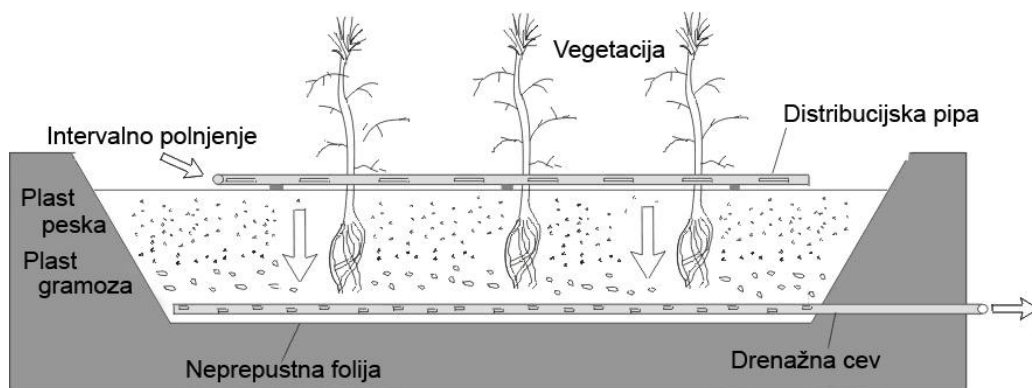
**Slika 23: Shema sestavnih delov rastlinske čistilne naprave (arhiv Limnos).**



**Slika 24: Rastlinska čistilna naprava s površinskim (levo) in podpovršinskim horizontalnim tokom vode.**

RČN, ki se uporabljajo dandanes, se v grobem delijo na RČN s površinskim in RČN s podpovršinskim tokom vode. V RČN s površinskim tokom vode je na površini prosta vodna površina, vendar so gosto zaraščene in z globino vode manj kot 4 m. V Sloveniji so manj v uporabi zaradi večje možnosti naselitve in razvoja neljubih insektov. RČN s podpovršinskim tokom vode nimajo proste vodne površine, temveč se voda pretaka pod površino substrata. Le-te nadalje delimo na RČN s horizontalnim tokom vode in RČN z vertikalnim tokom vode skozi sistem. Horizontalni oziroma vertikalni tok odpadne vode skozi RČN dosežemo z načinom postavitve dotočnih drenažnih cevi: prečna postavitev na začetku grede za doseganje horizontalnega toka ali na vrhu preko celotne površine gred za doseganje vertikalnega toka. Zaradi možnega mašenja poroznega substrata je v primeru RČN s podpovršinskim tokom potrebno zagotoviti mehansko predčiščenje odpadne vode za odstranitev delcev. V primerjavi s površinskim tokom pa je stična površina vode, bakterij in substrata pri teh sistemih bistveno večja. Danes se za doseganje visoke učinkovitosti odstranjevanja amonijaka najpogosteje uporabljajo RČN s prekinjenim vertikalnim tokom vode skozi sistem, ki omogoča večjo oksigenacijo substrata oziroma dovod kisika mikrobom, udeleženi pri odstranjevanju dušikovih spojin. Dotok je prekinjen v določenih intervalih in povzroči preplavitev celotne površine

substrata v gredah. Voda se nato počasi preceja skozi substrat in zbira na dnu sistema s pomočjo drenažnih cevi. Pred naslednjim polnjenjem sistema oziroma ob odtoku vode iz sistema se substrat napolni z zrakom, kar omogoča vnos večje količine kisika.



**Slika 25: Rastlinska čistina naprava z vertikalnim podpovršinskim tokom vode.**

Velika prednost pred ostalimi napravami za čiščenje odpadnih voda je preprosto vzdrževanje, saj za delovanje ne potrebuje stalno zaposlene delovne sile. V večini primerov ti sistemi delujejo brez električne energije. Potrebno je le redno vzdrževanje dotokov in iztokov na RČN, enkrat letno košnja rastlin in praznjenje mulja iz usedalnika, kjer se zadržijo trdni delci pred vtokom v čistilne grede naprave. Učinkovitost čiščenja spremljamo z mesečnimi analizami vode pred in po čiščenju.

Poleg naštetih so prednosti RČN še v enostavni postavitvi, ki ne zahteva velikih posegov v prostor, visoki učinkovitosti čiščenja, možnosti uporabe nastale rastlinske biomase. S podpovršinskim tokom ne povzročajo smradu in razvoja nevarnih insektov. V primeru izpada ali popravila strojnega dela pri drugih čistilnih napravah mikroba populacija za svojo obnovitev potrebuje nekaj dni, pri čemer surova odpadna voda odteka in obremenjuje okolje, do česar v RČN ne prihaja, saj ima sistem visoko pufersko sposobnost oz. prilagodljivost na sezonska nihanja kot tudi nihanja v hidravličnih obremenitvah in obremenitvah onesnaženja (različnih koncentracijah posameznih onesnaževal). Najrazličnejši načini kombinacije rastlin in oblikovanja gred omogočajo lepo vklapljanja v okolje.

V zadnjih letih poteka aktiven razvoj tudi na področju uporabe trstičnih gred za kompostiranje grezničnega mulja iz procesa mehanskega predčiščenja. Le-to omogoča sklenjen krog čiščenja odpadne vode. V svetu so v uporabi tudi veliki sistemi trstičnih gred za kompostiranje mulja iz klasičnih čistilnih naprav. Le-te pretvorijo mulj do visoko kvalitetnega proizvoda, ki se lahko uporablja v kmetijstvu.

Med slabostmi lahko omenimo, da RČN niso primerne za velika mesta in hude industrijske onesnaževalce (npr. farmacevtska industrija), saj narava težko prepozna sintetične molekule in je zato potrebno ustrezno tehnološko predčiščenje tovrstne odpadne vode. Za čiščenje komunalnih odpadnih vod večjega mesta bi potrebovali ogromne površine, ki pa so v slovenskem prostoru predrage in predragocene. Toda tudi te težave v svetu že rešujejo. Namesto centralne čistilne naprave z dolgimi kanalizacijskimi sistemi gradijo manjše za posamezna mestna območja, ki obenem predstavljajo zeleni del mesta.

Kakor koli, univerzalnih rešitev za vse vrste in količine odpadne vode ni. Pri izbiri najustrenejšega sistema čiščenja je namreč potrebno upoštevati vsa merila, in sicer njegovo učinkovitost in zanesljivost za določen tip vode, stroške izgradnje

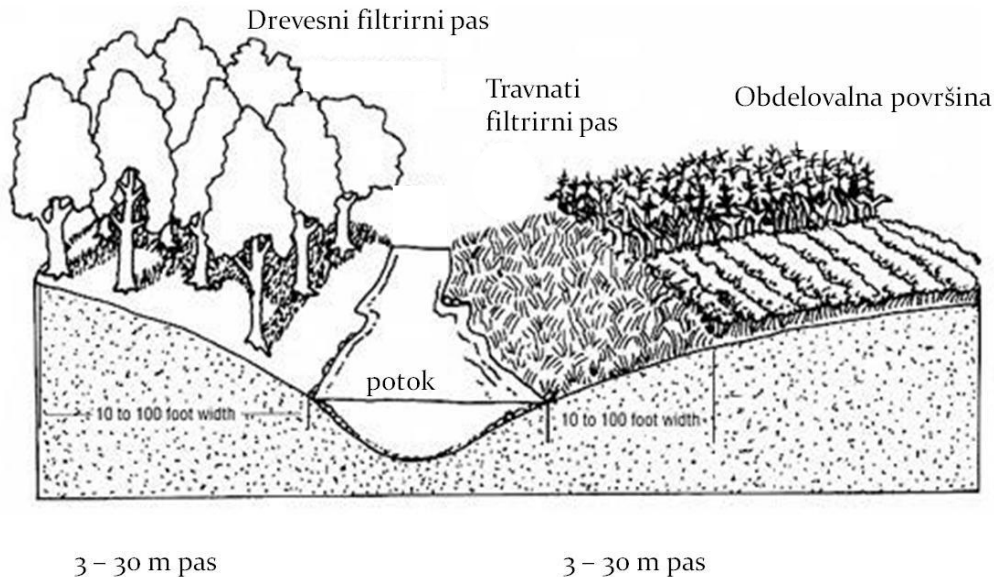
kanalizacijskega sistema in čistilne naprave, obratovanja in vzdrževanja ter vključevanje izbrane rešitve v naravno krajino.

### **Vegetacijski pasovi za preprečitev širjenja netočkovnega obremenjevanja okolja**

Zaradi kmetijske dejavnosti in prometa se srečujemo z netočkovnim obremenjevanjem voda. Gre za spiranje drobnih delcev tal in različnih onesnaževal z obdelovalnih površin in cestišč, ki povzročajo nalaganje sedimenta v vodotokih in kopičenje hranil in onesnaževal v vodnem stolpcu in sedimentu vodnega telesa, kar vodi v eutrofikacijo. Klasični pristopi čiščenja odpadne vode tu ne pridejo v poštev, saj je onesnaženje razpršeno in ga ne moremo zajeti na skupni točki čiščenja. Preprečevanje tovrstnega obremenjevanja lahko dosežemo z zmanjšanim vnosom onesnaževal (primernejše tehnike obdelave kmetijskih površin, izboljššan način gnojenja itd.), kot tudi s postavitvijo različnih vegetativnih barier.

Podobno se lahko s postavitvijo vegetativnih barier ubranimo širjenja smradu, prašnih delcev in hrupa.

Na splošno lahko vegetacijski pas (ali tudi vegetacijska bariera, filter, mejica, blažilni pas) opišemo kot površino tal z avtohtono (prvotno) ali nasajeno vegetacijo, umeščeno med potencialnim virom obremenjevanja in vodno ali kopensko površino, ki jo želimo zaščititi. Običajno gre za travnate trajnice ali drugo nizko nelesno vegetacijo z gosto razrastjo ter različne lesne vrste.



**Slika 26: Shema vegetacijskega pasu za preprečevanje netočkovnega obremenjevanja vodnih teles.**

Poleg preprečevanje obremenjevanja je ekosistemska funkcija tovrstnih vegetacijskih pasov še bistveno širša:

- Zaščita vodnih površin z zmanjševanjem spiranja in zadrževanjem:
  - delcev - sedimenta iz obdelovalnih površin, padavinskega odtoka,

- raztopljenih organskih in anorganskih snovi,
- kovinskih ionov,
- rastlinskih hranil,
- fitofarmaceutskih sredstev,
- dokazi tudi o učinkovitem odstranjevanju fekalnega onesnaženja (pašniki).
- Lokalna zaščita pred erozijo – ohranjanje kvalitete tal.
- Zaščita in varnost pred močnim vetrom, širjenjem smradu, hrupa.
- Vpliv na spremembo mikroklima (zadrževanje vlage, senčenje, uravnavanje temperature).
- Habitatna funkcija – večanje biodiverzitete v sicer monokulturni krajini; nudenje koridorjev za prehod živali med razdrobljenimi habitatami.
- Nudijo večjo varnost pri obdelovanju površin s stroji (obračališče kmetijskih strojev).
- Večajo estetsko vrednost.
- Možnost proizvodnje tržnih produktov (košnja krme, vir lesne biomase).
- Prispevek k večji rekreacijski vrednosti.

Glavna vloga obvodnih vegetacijskih pasov pri preprečevanju širjenja obremenjevanja voda je v zmanjševanju hitrosti toka vode in s tem povečanju infiltracije vode v talni profil, kjer se lahko odvijejo procesi čiščenja. Odlaganje suspendiranih delcev in sedimenta je tako glavni mehanizem njihovega odstranjevanja.



Slika 27: Ekosistemske storitve vegetacijskega pasu.

Pri njihovem umeščanju v krajino moramo upoštevati naslednje kriterije:

- vegetacijski pasovi za preprečevanje obremenjevanja voda so učinkovitejši ob manjših vodotokih,
- območja polnjenja podtalnice in mesta zbiranja odtokov so pomembna za postavitev pasov,
- vegetacijske pasove je pomembno postavljati na mestih z večjimi nakloni in fino teksturo tal (tam so hitrosti odtoka vode večje in s tem je večja možnost onesnaženja),
- postavitev pasu čim bliže viru obremenitev,
- potek pasu mora slediti nagibu terena, da je odtok čim bolj enakomeren (plitek tok),
- spremenljivi jakosti odtoka (količini potencialne obremenitve) mora slediti spremenjena širina pasu.



Slika 28: Travnati vegetacijski pas med obdelovalno površino in vodotokom.



Slika 29: Protivetrna bariera ob obdelovalni površini.

### ***Ekoremediacija kontaminiranih tal z uporabo fitoremediacijskih in bioremediacijskih pristopov***

Zaradi človekovega bivanja in njegovih dejavnosti tla kot naravni vir ogrožajo številni dejavniki. Med njimi so plazenje in erozija (vetrna, vodna), točkovno in razpršeno obremenjevanje tal, urbanizacija, zmanjšanje deleža organske snovi, poviševanje slanosti in kislosti tal, zmanjšanje biološke pestrosti in zbitost tal. Nekatere posledice degradacije so vidne (erozija, poselitev), druge manj

(onesnaženost, zmanjšana biološka pestrost), vendar ravno tako ogrožajo stabilnost ekosistemov in posledično človekov obstoj. Vzroki za naštetu degradacijo tal so emisije iz industrijske proizvodnje, intenzivnega kmetijstva, odlaganja odpadkov ter kurišč in prometa, kot tudi naraščajoča urbanizacija. V tleh se nalagajo organske in anorganske nevarne snovi, ki ostajajo v njih tudi po prenehanju obremenjevanja, saj nekatere le počasi razpadajo ali se iz tal izločajo (Justin, 2008).

Mnoge izmed naštetih problemov degradacije tal je moč preprečiti in popraviti s celostnim pristopom varovanja in remediacije tal. Poleg konvencionalnih tehniških pristopov, kot so izkop in odstranitev tal in druga fizikalna in kemijska obdelava, lahko izboljšanje kakovosti tal dosežemo z ekoremediacijskimi pristopi. V slednjem primeru imamo v mislih aktiviranje mikrobnih procesov v tleh ter vzpostavitev ali zasaditev rastlin za doseganje odstranitve onesnaženja, zmanjšanja erozije in s tem povrnitev ekološke integritete kopenskemu ekosistemu. Z uravnavanjem posameznih okoljskih parametrov, kot so dostopnost kisika, vode, zbitost tal, dostopnost organskih snovi v tleh itd., lahko stimuliramo najrazličnejše biogeokemijske procese v tleh in s tem dosežemo odstranitev in imobilizacijo onesnaževal (npr. procesi redukcije, oksidacije in mikrobnne mineralizacije, obarjanja ...) in omogočimo ali pospešimo rast rastlin. Tovrstni pristopi so še posebej primerni na območjih, kjer je potrebna odstranitev manjših, a stalno prisotnih organskih in anorganskih onesnaženj, na območjih, potrebnih rekultivacije in revitalizacije za preprečitev erozije in raznosa prašnih delcev, za izboljšanje strukture tal, povečanje biološke pestrosti in krajinske sprejemljivosti. V teh primerih se srečujemo s tehnikami, kot sta bioremediacija in fitoremediacija.

**Tabela 20: Možnosti obnove degradiranih tal z ekoremediacijskimi pristopi.**

<b>Problem</b>	<b>Kratkoročna / hitre rešitve</b>	<b>Dolgoročne rešitve</b>
<b>Neugodne fizikalne razmere</b>		
<b>Zbita tla</b>	oranje, brananje	zasaditev avtohtone vegetacije
<b>Izpostavljena tla</b>	kompakcija in prekritje s finim materialom	zasaditev avtohtone vegetacije
<b>Nestabilna tla</b>	stabilizacija, organska zastirka - nasutje organskega materiala	oplemenitenje, zasaditev avtohtone vegetacije
<b>Vlažna tla</b>	sušenje	zasaditev avtohtonih močvirskih rastlin
<b>Suha tla</b>	uporaba organske zastirke	zasaditev avtohtonih rastlin, prilagojenih na sušna okolja
<b>Pomanjkanje hranil</b>		
<b>Pomanjkanje dušika</b>	uporaba gnojil	zasaditev stročnic in drugih fiksatorjev dušika
<b>Pomanjkanje drugih hranil</b>	uporaba gnojil	zasaditev tolerantne vegetacije
<b>Toksične razmere</b>		
<b>Kisla tla</b>	apnenje	apnenje, zasadnja s tolerantno vegetacijo
<b>Bazična tla</b>	uporaba piritra ali drugega odpadka ali organskega materiala z nizkim pH	spiranje / zalivanje, zasadnja tolerantne vegetacije
<b>Prisotnost težkih kovin</b>	dodatek organske snovi, zasaditev s tolerantnimi rastlinami	prekritje z inertnim materialom, fitoremediacija (fitoekstrakcija), zasaditev tolerantnih rastlin
<b>Prisotnost organskega onesnaženja (ostanki naftnih derivatov)</b>	različne tehnike bioremediacije z zagotavljanjem okoljskih razmer v prid mikrobom, ki razgrajujejo tovrstna onesnaževala	odstranitev onesnaženja in zasaditev tolerantne vegetacije
<b>Slanost tal</b>	uporaba sadre, namakanje, spiranje, zasaditev tolerantnih rastlin	spiranje/zalivanje, zasaditev tolerantne vegetacije



## **Bioremediacija onesnaženih tal**

O bioremediaciji običajno govorimo, ko se lotevamo odstranjevanja onesnaževal iz tal s pomočjo mikroorganizmov (bakterije, glive), prisotnih v tleh. V tleh lahko najdemo številne mikroorganizme, ki so prilagojeni najrazličnejšim razmeram v njihovem lokalnem okolju. Tako lahko z uporabo različnih tehnik izolacije najdemo talne mikrobove, ki so npr. prilagojeni na življenje v zelo kislem okolju, na razmere visoke slanosti, ali pa živijo le v anoksičnih razmerah (razmerah, kjer ni prisotnega kisika) itd. Ko se pojavijo za njih ugodne razmere v okolju, postanejo aktivnejši in se razmnožijo, v neugodnih razmerah pa je njihova aktivnost zmanjšana na minimum in v različnih oblikah mirovanja (spore) počakajo na ugodnejše razmere za njihovo rast. To njihovo raznovrstnost in prilagoditve izkoriščamo v postopkih bioremediacije. Z zagotavljanjem določenih okoljskih razmer lahko pospešimo delovanje tistih mikroorganizmov, ki so npr. potrebni za odstranitev posameznega onesnaženja.

Okoljske razmere, od katerih je odvisen potek bioremediacije, lahko strnemo v naslednje kategorije:

- dostopnosti onesnaževala mikrobom (npr. topnosti),
- koncentracija onesnaževala (prevelike koncentracije so lahko strupene, zato dodajamo različne substrate, da dosežemo redčitev),
- biološka razgradljivost onesnaževala,
- temperatura,
- redoks potencial - prisotnost kisika,
- založenosti s hranili,
- pH,
- vsebnost vode,
- elektroprevodnost – ionska jakost – vsebnost soli,
- razpoložljivost prostora za pritrditev mikrobov,
- prisotnosti mikrobov,
- prisotnost inhibitorjev mikrobnega delovanja (strupene snovi).

V zgornjih primerih izkoriščamo potencial mikroorganizmov, prisotnih v tleh. V uporabi pa so tudi tehnike dodajanja predhodno v laboratoriju namnoženih bakterijskih kultur v tla. V tem primeru govorimo o bioaugmentaciji.

V splošnem delimo tehnike bioremediacije na *ex-situ* in *in-situ* tehnike. V primeru *ex-situ* tehnik gre za izkop onesnaženih zemljin in njihovo remediacijo na drugi lokaciji. Tehnika je primerna:

- za manjše količine zemljine, ki bi bila v času gradnje tako ali tako izkopana (npr. izkop gradbenih jam za novogradnjo na kontaminiranem industrijskem zemljišču),
- v primeru močno onesnaženih tal s strupenimi snovmi, kjer bi se *in-situ* tehnike težko obnesle,
- za odstranjevanje visoko hlapnih onesnaževal.

V uporabi so različni sistemi reaktorjev in čistilnih gred z izkopanim substratom v pokritih prostorih. Tovrstni pristopi so pravzaprav lahko vezani na visokotehnološke postopke.

V primeru *in-situ* tehnik gre za odstranjevanje onesnaženja iz tal na mestu njihovega onesnaženja. Poznane so različne tehnike rahljanja tal, vpihovanja zraka, črpanja vode, dodajanja hranil in sredstev za uravnavanje kislosti, ki pospešujejo mikrobovo delovanje.

## Fitoremediacija onesnaženih tal

Fitoremediacija izkorišča naravno sposobnost rastlin za privzem, akumulacijo in razgradnjo snovi v tleh in talnih raztopinah. Za razliko od bioremediacije, kjer je glavni poudarek na odstranjevanju organskih onesnaževal, je fitoremediacija uspešna tudi pri odstranjevanju onesnaženja tal s kovinami. Prednost fitoremediacijskih tehnologij predstavljajo predvsem nizki kapitalski vložki, nizki operativni stroški, trajnostne rešitve, širok spekter uporabnosti za različne vrste onesnaženja, velika estetska vrednost rešitev in velika splošna sprejemljivost s strani javnosti (Regrvar, 2008). Med pomanjkljivostmi pa so izpostavljene predvsem dolgotrajnost postopkov, vezanost na vegetativno sezono in uporabnost za le za zgornje plasti tal. Glede na način odstranjevanja onesnaževal delimo fitoremediacijo nadalje na fitotransformacijo, bioremediacijo rizosfere, fitostabilizacijo, fitoekstrakcijo, fitovolatilizacijo in rizofiltracijo.

**Tabela 21: Fitoremediacija in načini odstranjevanja onesnaževal.**

<p><b>Fitoekstrakcija (fitoakumulacija)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fizikalni privzen spojnin z rastlinskimi koreninami in akumulacija v nadzemnih delih</li> <li>• hiperakumulatorji – akumulacija nad presnovnimi potrebami (10ppm Hg, 10000ppm Zn, Ni)</li> <li>• cenejša alternativa klasični metodi remediacije tal in sedimentov fizični ekstrakciji in odlaganju</li> <li>• znane družine: <i>Brassicaceae</i>, <i>Euphorbiaceae</i>, <i>Asteraceae</i>, <i>Laminaceae</i>, <i>Scropulariaceae</i>, lesne vrste (<i>Salix</i>, <i>Populus</i>)</li> <li>• fitoekstrakcija samo tistih kovin, ki so rastlinam biološko dostopne</li> </ul>	<p><b>Fitotransformacija (fitorazgradnja)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ekstrakcija in razgradnja snovi v metabolnih procesih do inertne ali manj strupene oblike, ki je uporabna kot hranilo</li> <li>• razgradnja spojnin zunaj rastlin z meabolnimi izločki</li> <li>• uporaba za fitotransformacije organskih spojnin (klorirana topila, fenoli, herbicidi, BTEX, PAH)</li> <li>• uporabljene rastline: <i>Populus</i>, <i>Salix</i>, <i>Trifolium</i>, <i>Medicago</i></li> </ul>	<p><b>Rizosferna biorazgradnja (rizosferna bioremediacija, fitostimulacija, rizodegradacija)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• razgradnja spojnin v rizosferi tal, bogati s kisikom, s pomočjo mikrobov</li> <li>• razgradnja organskih spojnin: goriva, topila, pesticidi</li> <li>• vodni makrofiti (trsje, ločje), trave (ljudjka, bilnica)</li> </ul>
<p><b>Fitostabilizacija</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fizikalna omejitev spojnin v rastlinskih koreninah (imobilizacija z adsorbicijo)</li> <li>• preprečevanje migracije onesnaževala</li> <li>• zmanjšanje izpostavljenosti onesnaževala</li> <li>• preprečevanje erozije</li> <li>• Nadzor nad infiltracijo vode</li> <li>• tako stabilizirali: Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, Se, PAH, PCB, dioksine, furane, DDT ...</li> <li>• uporabne rastline z močnim koreninskim sistemom (<i>Juncus</i>, <i>Scirpus</i>, trave)</li> </ul>	<p><b>Fitovolatilizacija</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• rastlinski privzem in transpiracija spojnine v atmosfero</li> <li>• večji kot je privzem vode, večja je količina transpiracije</li> <li>• uporaba za čiščenje kloriranih topil, trikloroetilena, Se, Hg, As</li> <li>• učinkovite vrste so <i>Populus</i>, <i>Brassica juncea</i>, <i>Medicago satriva</i></li> </ul>	<p><b>Rizofiltracija</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• adsorbpcija ali obarjanje spojnin iz raztopine na ali v rastlinske korenine</li> <li>• uporaba in-situ in ex-situ</li> <li>• uspešno odstranjujejo Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, radionuklidi (Cs, Sr, U)</li> <li>• v uporabi <i>Eichornia</i>, <i>Scirpus</i>, <i>Myriophyllum</i>, <i>Brassica</i></li> </ul>

## 8.2 EKOREMEDIACIJE V VLOGI IMITACIJE ALI POSNEMANJA EKOSISTEMOV – IZGRADNJA NADOMESTNIH EKOSISTEMOV

V mnogih primerih se izkazuje potreba po vzpostavitvi ali popolni obnovi naravnega ekosistema za rešitev problema onesnaženja ali izgubljenega vira, v smislu izgub ekosistemov zaradi gradnje cest ali objektov, pojava golosekov itd. Izgradnja nadomestnih mokrišč je tako danes obvezni del omilitvenih ukrepov v primeru pozidave zemljišč na mestih s pestro strukturo habitatov in biodiverziteti, kot so mokrišča. Kljub vsemu pa možnost vzpostavitve nadomestnega ekosistema ne sme biti izgovor za izsuševanje in odstranjevanje mokrišč in pozidavo na prvovrstnih kmetijskih zemljiščih. Poseg gradnje je lahko sprejemljiv, če ni drugih alternativ in če je v nadomestnem mokrišču resnično možno vzpostaviti prej obstoječi hidrološki režim z enakimi okoljskimi razmerami za vzpostavitev prvotnih habitatov.

Pri izgradnji nadomestnih mokrišč moramo upoštevati naslednja načela:

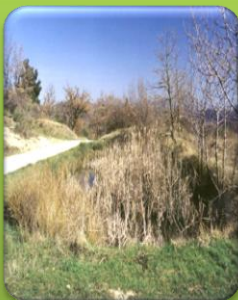
- dobro poznavanje ekologije mokrišča in principov (hidrologija, biogeokemija, prilagoditve, sukcesije),
- načrtovanje sistema z minimalnim vzdrževanjem in zanašanje na samoizgradnjo sistema,
- načrtovanje sistemov, ki uporabljajo naravno energijo (potencialna energija vodotoka, gravitacija),
- načrtovanje sistema z večnamensko funkcijo,
- dati sistemu čas za vzpostavitev,
- načrtovanje sistema za funkcijo, ne zgolj formo,
- čim manj inženirskih posegov s pravokotnimi oblikami bazenov, mrežasto strukturo in simetrično morfologijo; izogibanje vnosom vrst, ki jih sistem ne podpira itd.

Veliko vlogo ima tudi ponovna vzpostavitev gozda na območjih golosekov, ki so nastali kot posledica neprimerne sečnje pri izkoriščanju lesa ali za namene pridobivanja kmetijskih površin.

### Oživljanje kalov na Krasu:

#### zadrževanje vode, samočistilna funkcija, kal kot habitat

- Kale uvrščamo med antropogena mokrišča. Uvrščeni so v seznam mokrišč, ki sodijo v okvir Ramsarske konvencije o mokriščih.
- Vsi kali na določenem območju so neločljivo povezani v celoto (mrežo). Z zmanjševanjem njihovega števila se povečujejo razdalje med obstoječimi kali, zato se nekatere rastlinske in živalske vrste, ki so nanje vezane, ne morejo razmnoževati. Posledica je zmanjševanje števila vrst, za katere so kali edino primerno življenjsko okolje v regiji. Izginotje vsake rastlinske ali živalske vrste predstavlja nenadomestljivo izgubo za naravo in za človeka (<http://www.ckff.si/Kali/zlozenka.htm>).
- Zaradi številnih funkcij, ki jih kali opravljajo in katerih pomena se šele začenjamo zavedati, je smiselno razmišljati o obnovi teh ekosistemov.



Slika 30: Vloga in pomen kalov.

## 8.3 EKOREMEDIACIJE KOT PODPORA OBNOVI EKOSISTEMOV

Uspešne primere ekoremediacijskih ukrepov v pomoč obnovi ekosistemov lahko najdemo na območjih nekdanjih rudnikov, kamnolomov, neprimerno reguliranih vodotokov, rečnih ustij, degradiranih stoječih voda in akumulacij itd. V vseh primerih gre za uvajanje ukrepov, ki pospešijo obnovo degradiranih ekosistemov. V teh primerih je zelo pomembna časovna komponenta sprememb. V vseh primerih bi (ob prenehanju kontinuiranega onesnaževanja) brez kakršnih koli posegov prišlo do počasnih zaporednih sprememb v stanju in razvoju ekosistemov (sukcesije), ki bi privedle do postopnega izboljšanja stanja, vendar pa so lahko to z našega vidika zelo dolga časovna obdobja oziroma je lahko rezultat naravne sukcesije spremenjen ekosistem. S pravnimi ekoremediacijskimi ukrepi v teh primerih pospešimo prehod v zdrav in stabilen ekosistem.

### Stabilnost ekosistema:

prožnost ekosistema, da se povrne v prvotno stanje po motnjah ali večjih zunanjih vplivih oziroma sposobnost ekosistema, da kljubuje spremembam ob prisotnosti motenj

### *Primeri ukrepov obnove stoječih voda*

Zmanjšanje eutrofikacije stoječih voda lahko dosežemo s pomočjo različnih ukrepov in posegov v jezerski ekosistem ali z njihovo kombinacijo. Izbira ukrepa je odvisna od trenutne vrste in načina obremenitev, klimatskih ter ostalih razmer okolja, v katerem se stoječa voda nahaja:

- Nadzor nad hranili (gnojila)  
Vključuje ukrepe izboljšanja gnojilne prakse okoliških površin in omejevanja gnojenja z namenom zmanjšanja vnosa hranil v jezero in metode predčiščenja odpadne vode iz točkovnih in netočkovnih virov onesnaževanja. Predstavlja najpomembnejši ukrep, saj se loteva vzrokov problema.
- Mokrišča in zapore za zajezitev hranil  
Uvedba mokrišč in drugih oblik vegetacijskih barier, ki so posebej primerne ob netočkovnih virih onesnaževanja.
- Odvod odpadne vode  
Odvod obremenjene vode v manj občutljive ekosisteme ali grajene ekoremediacije (vegetativni filtrirni pas, grajeno mokrišče ali rastlinska čistilna naprava), kjer lahko poteka nadzorovano odstranjevanje delcev in hranilnih snovi.
- Odstranitev površinskega sedimenta  
V poštev pride le kot pomožen ukrep obnove v primeru zelo eutrofiziranih jezer z visoko nakopičeno količino sedimenta. Izkopani sediment ima zelo visoke vsebnosti hranil in strupenih snovi in je zato potrebno zanj predvideti celoten sistem ravnanja (čiščenje izcednih vod, obdelava in odlaganje sedimenta).
- Odstranjevanje makrofitov  
V poštev pride v primerih, ko so razrasli makrofiti rezultat eutrofikacije (pospešena rast rastlin zaradi večje prisotnosti rastlinskih hranil). Skupaj z odstranjevanjem makrofitov je smiselno omejiti vnos hranil (npr. zmanjšanje gnojenja okoliških površin).
- Prekritje sedimenta z inertnim materialom

Gre za alternativo odstranitvi zgornje plasti sedimenta. Namen je preprečiti izmenjavo hranil med sedimentom in vodo. V praksi se uporablja polietilen, polipropilen (katerega okoljska sprejemljivost je sicer vprašljiva), glino ... Tudi ta ukrep se osredotoča le na simptome in ne rešuje vzrokov problema.

- Odvod hipolimnijske vode  
Odvod s hranili bogate spodnje vodne plasti. Ukrep je možen le v jezerih, kjer se zaradi temperaturne razlike v določenih obdobjih leta zgornja in spodnja plast vode ne mešata (poletno obdobje). Tako lahko uspešno odstranimo anaerobno in s hranilnimi snovmi bogato spodnjo plast vode, vendar pa je potrebno vodo pred preprečevanjem v drug vodni vir očistiti, da ne dosežemo le prenosa onesnaženja.
- Flokulacija fosforja (kosmičenje)  
Obstaja možnost dodajanja aluminijevega sulfata ali železovega klorida za kosmičenje in nadaljnje usedanje fosforja iz površinske vode. Metoda ni splošno priporočljiva, saj ni nujno, da se bodo nastali kosmiči oborili, poleg tega se lahko v spremenjenih okoljskih razmerah fosfor iz sedimenta ponovno sprosti.
- Kroženje in aeracija vode  
Je enostavna metoda in preprečuje nastanek termokline in s tem anaerobnih con na dnu, ki omogočajo sproščanje fosforja iz sedimenta.
- Hidrološka regulacija  
V glavnem gre za zmanjšanje zadrževalnega časa vode v jezeru in s tem manjše koncentriranje hranil, kar vodi posledično v nižjo stopnjo evtrofikacije.
- Nevtralizacija s kalcijevim hidroksidom  
Za nevtralizacijo nizkega pH zaradi kislih padavin. Metoda je primerna predvsem tam, kjer je matična podlaga silikatna (primeri v Skandinaviji) in v vodi primanjkuje kalcija - nizka puferska kapaciteta.
- Algicidi  
V preteklosti so precej uporabljali bakrove soli, danes metoda ni več v uporabi zaradi strupenosti bakra.
- Obrežna vegetacija  
Zasadnja dreves za senčenje jezerske površine, primerno za manjša jezera. Senčenje preprečuje dovod svetlobe, kar zavira rast alg. Manjše je tudi segrevanje jezera, kar upočasnjuje mikrobne procese razgradnje, ter nihanje temperature med dnevom in nočjo, kar predstavlja ugodnejše razmere za rast alg.
- Biomanipulacija  
Gre za uvajanje karnivorih rib v jezero za zmanjšanje evtrofikacije. Pri koncentraciji fosforja večji 120 µg/L zooplankton ne more več nadzorovati količine nastalega fitoplanktona. Motnost vode naraste in to ovira lov karnivorih rib. Rezultat tega je povečanje števila planktivorih rib. Le-te pa se hranijo z zooplanktonom, kar zmanjša njegovo količino. V takih razmerah sistem nadzorujejo planktivore ribe in fitoplankton.  
Če v takih razmerah v sistem uvedemo karnivore ribe, lahko vzpostavimo sistem, ki mu dominirajo karnivore ribe in zooplankton: karnivore ribe se hranijo z planktivori ribami, manjša je predacija zooplanktona (v vodi ga ostaja več) in le-ta zato konzumira večje količine fitoplanktona. Motnost vode se tako zmanjša. Pri vnašanju vrst je pomembno, da vnašamo avtohtone vrste in še naprej z izlovom uravnavamo stabilnost sistema.
- Biološki nadzor  
Naselitev rastlinske ali živalske vrste, ki prepreči neželjeno razmnoževanje druge živalske ali rastlinske vrste ali pa ima sposobnost visoke akumulacije

hranilnih snovi ali težkih kovin (hiperakumulatorji). V primeru takih posegov je nujno potrebno poznavanje masnih bilanc vnosa in iznosa hranilnih snovi in na tej osnovi pravilno vzdrževanje sistema.

- Ponovna vzpostavitev podvodne vegetacije v plitvih jezerih  
Izkušnje so pokazale, da vzpostavitev podvodne vegetacije ob koncentraciji fosforja 100 do 250 µg na liter pripomore k zbistritvi vode. Prihaja do vezave hranil na vegetacijo in fitoplankton, ki povzroča motnost, ni več dominanten.

### **Primeri ukrepov pri obnovi degradiranih vodotokov**

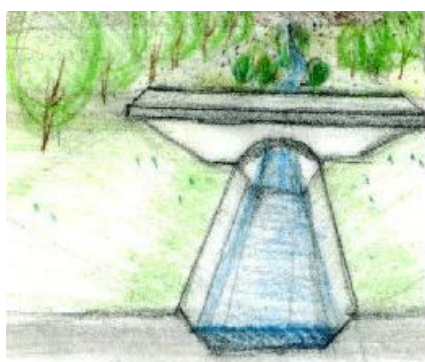
Z enostranskimi posegi v vodotoke (melioracije, kanaliziranje) so bili številni vodotoki uničeni, z njimi pa tudi nekateri izjemni ekosistemi z redkimi rastlinami in živalmi. S poglobljanjem in izravnavo strug je bilo mestoma doseženo odvodnavanje, kar pa ni preprečilo poplav dolvodno od posegov. Z odstranitvijo naravne razgibanosti vodotokov in njihove povezave z obrežnimi ekosistemi se je zmanjšala biološka pestrost in s tem samočistilna kapaciteta in kapaciteta zadrževanja vode. Z ustreznimi ekoremediacijskimi posegi je možno te tri funkcije ohraniti oziroma obnoviti (Vrhovšek in Korže, 2008).

**Tabela 22: Primeri obnove vodotokov.**

	<p><b>Rehabilitacija odsekov vodotokov - Izboljšanje razmer na kratkih odsekih vodotokov</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meandriranje odseka (umirjanje toka – usedanje delcev, dvig vodne gladine, razgibanje struge).</li> <li>• Odprtje/razširitev kanalizirane struge za tvorbo novih habitatov.</li> <li>• Sanacija brežin z vrbovimi popleti, kamnometi, lesenimi piloti.</li> <li>• Vzpostavitev stoječe vode, umetnega mokrišča ob / v povezavi z vodotokom (zadrževanje viškov vode, novi habitati).</li> <li>• Vzpostavitev prodišča, vnos večjih skal (nastanek novih habitatov, umirjanje / pospešitev toka).</li> <li>• Umetna skrivališča za ribe.</li> <li>• Ribji prehodi.</li> <li>• Postavitev odbijačev (umirjanje toka).</li> <li>• Umetni tolmun (umirjanje toka, dvig vodne gladine, kopičenje finega substrata – usedanje delcev, počivališče / skrivališče za vodne organizme).</li> <li>• Zasaditev vodne vegetacije.</li> <li>• Odstranitev vodne vegetacije (kopičenje finega substrata, umirjanje toka, privzem snovi, habitat za vodne organizme).</li> </ul>
	<p><b>Obnova povezav med odseki vodotokov - obnova prehodov vodotokov vzdolž toka reke ali potoka</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nadomestitev zapore z brzicami.</li> <li>• Nadomestitev zapore z meandri.</li> <li>• Vzpostavitev stranskih rokavov ob ohranjeni zapori.</li> <li>• Vzpostavitev brzice ob ohranjeni zapori.</li> <li>• Prehodi za ribe, vidre ...</li> </ul>
	<p><b>Rehabilitacija celotne rečne doline - obnova dolgih odsekov potokov in rečnih dolin kot hidrološke enote</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Povečevanje vodne gladine in zadrževanja vode (občasne preplavitve) z meandriranjem struge, dvigom brežin, povezovanjem iztokov v mokrišča, zajezitvami, poplavljanjem travnišč, zožitvijo / poglobitvijo struge.</li> <li>• Vzpostavitev jezer, zadrževalnikov, mokrišč.</li> <li>• Zasadnja / odstranitev vegetacije.</li> </ul>

Drug problem predstavljajo nenadzorovani odvzemi vode iz vodotokov, kot je npr. odvzem vode za hidroelektrarne in ribogojnice, kar lahko ogrozi njihov ekološki status. Za ohranjanje življenjskih pogojev v vodotoku je zato potrebno pravilno načrtovanje odvzemov vode in hkratno uvajanje omilitvenih ukrepov, ki omogočajo nadaljevanje ugodnih življenjskih razmer.

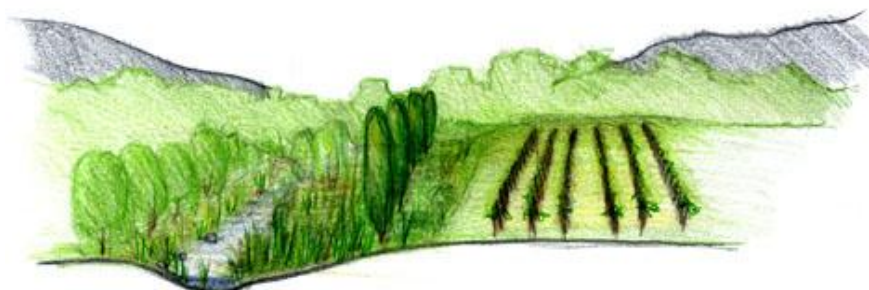
Danes je splošno sprejeto, da potrebujemo poleg aktivnih ukrepov za preprečevanje poplav (nasipi, odvodni kanali, spremembe pri gradnji in urbanističnem načrtovanju) tudi pasivne ukrepe (večnamenske zelene površine, ki so lahko v funkciji zadrževanja vode, zasaditev travnatih pasov in drevesnih nasadov, ki pospešujejo infiltracijo vode, ponovno vzpostavitev poplavnih ravnin ter revitalizacijo vodotoka samega) ter ustrezne ukrepe v času nevarnosti (opozorila o nevarnosti poplav, načrti upravljanja v času nevarnosti, načrti reševanja).



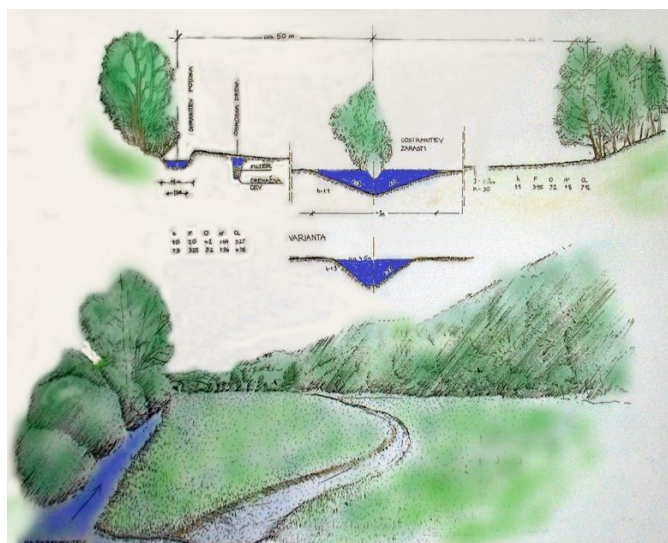
**kanalizirana struga**



**razgibanje struge z meandriranjem**



**vzpostavitev vegetacijskega pasu ob strugi**



vzpostavitev stranskega rokava

**Slika 31: Primeri obnove kanalizirane struge (Vir: arhiv Limnos).**

Pomembno vlogo pri reševanju poplav na urbanih območjih ima predvsem pravilno upravljanje zaledja. Celostno upravljanje z vodotoki, ki v načrtovanje vključuje obdelovalne površine in naravno okolje, kot so poplavne ravnice, mokrišča, preusmerjanje rečnih kanalov in ponovno povezovanje vodotokov s poplavnimi površinami, pripomore k zadrževanju in upočasnjevanju vode ter s tem k zmanjšanju poplav dolvodno, kot tudi zagotavljanju vode v času suš.

Revitalizacija pomeni obnovitev ekološkega ravnotežja v degradiranem vodotoku in obrežnem pasu v sonaravno stanje z ustreznimi vodnogospodarskimi posegi. Tako ciljano obnovimo zgradbo in funkcijo vodnega in obvodnega biotopa ter opredelimo ekosistemsko, krajinsko in večnamensko izrabo prostora.

Ekološko sprejemljiv pretok ( $Q_{es}$ ) je tista količina in kvaliteta vode, ki zagotavlja ohranitev ekološkega ravnotežja v in ob vodnem prostoru. K doseganju le-tega lahko pripomorejo številni omilitveni ukrepi v vodnem in obvodnem prostoru.

Obnova vodotokov lahko poteka na nivoju obnove posameznih odsekov, povezav med odseki ali na nivoju porečja.

## **8.4 EKOREMEDIACIJSKI UKREPI ZA SPREMEMBNO OBSTOJEČIH EKOSISTEMOV V SMERI VZPOSTAVITVE EKOLOŠKEGA RAVNOVESJA**

Nenadzorovano širjenje in vnos tujerodnih živalskih vrst lahko povzroči hude motnje v delovanju ekosistema. Tak primer je, ko tujerodna vrsta izpodrine določeno avtohtono vrsto in s tem spremeni celotno strukturo prehranjevalne verige oz. povzroči izumrtje še drugih vrst. V primeru kopenskih ekosistemov je tak primer npr. selektivna sečnja tujerodne rastlinske vrste, ki ovira rast avtohtonih rastlinskih vrst. Enako velja tudi za izlov določenih tujerodnih živalskih vrst, ki izpodrinjajo avtohtone vrste.



Uspešni so bili tudi primeri biomanipulacije oziroma vnosa posameznih živalskih vrst v vodni ekosistem za izboljšanje kvalitete vode. Primer je npr. vnos predatorskih rib v vodno telo, ki se hranijo z ribami, katerih hrana je zooplankton (drobne planktonske živali). To vodi v večjo razširjenost zooplanktona v vodi, ki zato odstrani večji delež alg. Z odstranitvijo alg pa se zmanjša motnost vode in znaki evtrofikacije. Seveda pa je pri takih posegih potrebno dobro poznavanje vseh ekoloških procesov in odnosov.

## **8.5 UPORABA EKOSISTEMOV V KORIST ČLOVEKU, NE DA BI S TEM PORUŠILI EKOLOŠKO RAVNOTEŽJE**

Uporaba oziroma izraba ekosistemov v korist človeka na ekološko osnovani bazi je najpomembnejša kategorija. Tipičen primer tega je ekološko poljedelstvo, živinoreja, ribištvo in gozdarstvo, ki ga imenujemo tudi trajnostno gospodarjenje z viri (Mitsch in Jørgensen, 2004). Donosi, klasično pojmovani v tonah pridobljenega pridelka, lesa ali izlova rib, so ponavadi nižji kot v intenzivnih načinih pridelave. Dolgoročno gledano pa gre za izrabo virov v okvirih, ki dopuščajo njihovo samostojno obnovo in tako predstavljajo dolgoročnejši vir dobrin in vseh ostalih z njimi povezanih ekosistemskih storitev.

## VIRI IN LITERATURA

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., Biogas handbook. University of Southern Denmark Esbjerg, Danska, 2008. [http://www.big-east.eu/downloads/IR-reports/ANNEX%20-39\\_WP4\\_D4.1\\_Master-Handbook.pdf](http://www.big-east.eu/downloads/IR-reports/ANNEX%20-39_WP4_D4.1_Master-Handbook.pdf)
- Bogdal, C., Schmid, P., Zennegg, M., Blast from the Past: Melting Glaciers as a Relevant Source for Persistent Organic Pollutants. *Environmental Science and Technology*. 43: 8173-8177, 2009.
- Bourne Jr., J.K., Zelene sanje, National geografic Slovenija, 10, str. 38 – 59, 2007.
- Brennan, S., Withgott, J., Environment the science behind the stories. Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings, 2005.
- Bulc, T.G., Čiščenje izcednih voda z rastlinskimi čistilnimi napravami (RČN). Gospod. odpad., december 1996, letn. 5, št. 20, str. 13-15, 1996.
- Bulc, T.G., Vloga rastlinskih čistilnih naprav v prihodnosti. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, Urednik: Razinger, J., KATR, Ljubljana, 2008.
- Carroll, C., Kam s starim: Kje se bosta znašla vaš zavrženi televizor in računalnik? National Geographic slovenija, št. 1, 58 – 75, 2008.
- COM 122, Commission of the European Communities, Report from the Commission, Environmental technology for sustainable development, Brussels, 2002.
- COM 38, Commission of the European Communities, Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Stimulating Technologies for Sustainable Development: An Environmental Technologies Action Plan for the European Union, 28. 1. 2004.
- Foth, F.D., Foundations of soil science. Eight edition, John Wiley & Sons, USA, 1990.
- Glavič, P., Lukman R., Review of sustainability terms and their definitions. Journal of Cleaner production, 15 1875-1885, 2007.
- Gravitis, J., Zero emission techniques and systems – ZETS strenght and weakness. Journal of Cleaner Production, 15, 11900-1197, 2007.
- IPPC v Sloveniji. Uredniki: Bogataj L.K., Fece V., Homšak M., Leban J., Mlakar T.L., Plut D., Roth J., Rožič M.A., Volfand J. Fit Media, Celje, 2008.
- Johnson, G.: Priklop na sonce, National Geographic Slovenija, št. 9, 30 – 53, 2009.
- Johnson, T., Kelley, D., Stevens, M.: The Rapid Growth of Composites in Air Pollution Control Processes. Ashland Performance Materials. 2009. <http://www.derakane.com/>
- Justin, M. Z., Vrhovšek, D., Bulc T.G., Razstrupljanje okolja z naravnimi procesi in rastlinske čistilne naprave. Proteus, letn. 65, št. 4, str. 165-172, 2002.
- Justin, M.Z. Ekoremediacija kontaminiranih zemljin, sedimentov in odlagališč odpadkov. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, Urednik: Razinger, J., KATR, Ljubljana, 2008.
- Kajfež-Bogataj, L. Podnebne spremembe in prilagajanje nanje. V: Prašnikar, J. (ur.), Cirman, A. (ur.). Globalna finančna kriza in eko strategije podjetij : dopolnjevanje ali nasprotovanje. 1. natis. V Ljubljani: Časnik Finance, str. 103-124, 2008.
- KOM 218, Komisija Evropskih Skupnosti, Sporočilo komisije svetu in evropskemu parlamentu, Osnutek Deklaracije o usmeritvenih načelih za trajnostni razvoj, 25. 5. 2005.
- KOM 37, Komisija Evropskih Skupnosti, Sporočilo komisije svetu in evropskemu parlamentu: Pregled 2005 Strategije trajnostnega razvoja EU: Začetne ocene in Prihodnje usmeritve, 2.9., 2005.
- Korže, A.V., Vrhovšek, D., Ekoremediacije za učinkovito varovanje okolja. Inštitut za promocijo varstva okolja, Maribor, 2006.
- Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC, 2005.

- Miller, P., Varčevanje z energijo začnimo doma, National geographic Slovenija, št. 3, 50 – 71, 2009.
- Mitsch, W.J., Jørgensen S.E., Ecological engineering and ecosystem restoration. John Wiley & Sons, inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- Our Common Future, Oxford: Oxford University Press, 1987.
- OVE - Obnovljivi viri energije v Sloveniji. Zelena Slovenija. Volfand Jože (Ur.), Fit media d.o.o., 2009.
- Paranychianakis, N. V., Angelakis A.N., Leverenz H., and Tchobanoglous G. Treatment of Wastewater With Slow Rate Systems: A Review of Treatment Processes and Plant Functions, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36:187–259, 2006.
- Poročilo o stanju okolja v Sloveniji. Agencija RS za okolje, 2002.
- Ravishankara, A.R., Daniel, J.S. & Portmann, R.W, Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. *Science*. 326:123-125, 2009.
- Razinger, J., Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, KATR, Ljubljana, 2008.
- Regvar, M., Fitoremediacijske tehnologije: možnosti in perspektive. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, Urednik: Razinger, J., KATR, Ljubljana, 2008.
- Rutz, D., Janssen, R., Biofuel Technology Handbook, WIP Renewable Energies, Nemčija, 2008. [http://www.big-east.eu/downloads/Biofuel\\_Technology\\_Handbook\\_version2\\_D5.pdf](http://www.big-east.eu/downloads/Biofuel_Technology_Handbook_version2_D5.pdf)
- Samec, N., Okoljsko inženirstvo. Fakulteta za strojništvo katedra za energetske procese in okoljsko inženirstvo, 2006.
- Schnitzer, H., Ulgiati S., Less bad is not good enough: approaching zero emissions techniques and systems. *Journal of Cleaner Production*, 15, 118-1189, 2007.
- Ur. l. RS, št. 102. Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti, uradno prečiščeno besedilo (ZVISJV-UPB2), Uradni list RS, št.102 z dne 21.9.2004.
- Ur. l. RS, št. 84. Pravilnik o ravnanju z odpadki. Uradni list RS, št. 84 z dne 11. 12. 1998.
- Ur. l. RS, št. 109. Uredba o spremembah in dopolnitvi Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja. Uradni list RS, št. 109 z dne 30. 11. 2007.
- Ur. l. RS, št. 81. Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja. Uradni list RS, št. 81 z dne 7. 9. 2007.
- USAID, 2009 World population data sheet, Population reference bureau, Washington DC, USA [http://www.prb.org/pdf09/09wpds\\_eng.pdf](http://www.prb.org/pdf09/09wpds_eng.pdf), 2009.
- Vrhovšek, D., Korže, A.V., Ekoremediacije kanaliziranih vodotokov. Limnos d.o.o., Univerza v Mariboru Filozofska fakulteta, Mednarodni center za ekoremediacije, 2008.
- Vrhovšek, D., Korže, A.V., Ekoremediacije. Univerza v Mariboru Filozofska fakulteta, Mednarodni center za ekoremediacije in Limnos d.o.o., Maribor, Ljubljana, 2009.
- Vrhovšev, D., Justin, M.Z., Naravni procesi in kakovost vode. V: Slovenija – vodna učna pot Evrope. Urednik: Plut, D., Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Ljubljana, 2005.
- Vuk, D., Ravnanje z odpadki. Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, 1997.
- Vuk, D., Uvod v ekološki management. Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, 2000.