

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

# **ONEČIŠĆENJE I ZAŠTITA TLA**

**Dr.sc. Tahir Sofilić**



**Sisak, 2014.**

Naslov: ONEČIŠĆENJE I ZAŠTITA TLA

Autor: Dr.sc. Tahir Sofilić, docent

Recenzenti: Dr.sc. Ferdo Bašić, prof. emeritus Sveučilišta u Zagrebu, Agronomski fakultet,  
Svetošimunska 25, 10000 Zagreb.

Dr.sc. Josip Halamić, redoviti profesor, Hrvatski Geološki Institut,  
Sachsova 2, 10000 Zagreb.

Izdao: Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.

Skripta su namijenjena studentima 3. godine studija Metalurgije – smjer Industrijska ekologija na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a u svrhu stjecanja i dopunjavanja znanja iz područja zaštite okoliša, točnije, značenja onečišćenja i zaštita tla. Premda sadržaje o tlu i njegovoj zaštiti sadrži i kolegij *Onečišćenje i zaštita zraka i tla*, ovim zasebnim priručnikom kao integralnim djelom nastavne literature, autor želi upoznati studente sa značajkama, uloga kao i mogućim uzrocima onečišćenja tla. Kao sastavnica biosfere tlo je do unazad desetak godina, bilo nepravедno zanemarivano, premda ga možemo smatrati kolijevkom i zaštitnicom ljudskog života i života uopće.

Namjera je autora na ovaj način studentima približiti problem onečišćenje tla kao oblik njegova oštećenja, te mu ukazati na ozbiljnost pojave onečišćenja tla i nužnosti njegove zaštite. Pri tome će se, s obzirom na temeljna znanja koja se stječu na ovom fakultetu, posebna pozornost posvetiti utjecaju metalurških procesa na onečišćenje tla onečišćujućim tvarima kojima je izvor ova djelatnost te sanaciji i zaštiti tla od ove vrste onečišćenja.

Uvodno poglavlje daje opći pregled mogućih štetnih utjecaja čovjekove djelatnosti na okoliš, praćenja stanja onečišćenosti okoliša, posebice tla, kao i poduzetih mjera za održanje njegove kakvoće u hrvatskim ruralnim i urbanim sredinama.

tlu kao prirodnoj tvorevini, osnovnim čimbenicima i procesima, kao i o općim, fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama tla govori se u drugom poglavlju.

Budući je tlo višenamjensko dobro, u trećem poglavlju se opisuju, osim proizvodne uloge, i druge, ne manje važne uloge tla, poput ekološko regulacijske uloge prirodne pohrane (skladištenja) tvari, prostorne uloge tla, uloge tla u oblikovanja krajobraza te konzervacijsko-arhivske uloge, kojima se također konačno posvećuje pozornost.

Četvrto poglavlje opisuje oštećenja tla i klasifikaciju oštećenja, dok se o onečišćenju tla kao vrsti oštećenja, govori detaljnije. Ukazano je na brojnost mogućih izvora onečišćenja tla, a od antropogenih onečišćenja pozornost je posvećena industrijskim izvorima onečišćujućim tvarima koje iz ovih izvora najčešće dopijevaju u tlo i njihovim graničnim vrijednostima. U istom poglavlju prikazano je stanje onečišćenosti u europskim tlima i tlima R. Hrvatske.

U petom poglavlju studente upoznajemo s vrstama, oblicima, tehnikama i tehnologijama remedijacije tla, uvidom u složenost postupaka njegove sanacije, značajem zaštite tla od onečišćenja.

S obzirom da studenti od ranije poznaju metalurške procese, posebice proizvodnje i prerade željeza i njegovih slitina, nužno ih je upoznati s mogućnostima onečišćenja tla iz ovih izvora, a što je sadržano u šestom poglavlju.

U sedmom poglavlju prikazana su osnovna načela zaštite tla i načini održivog gospodarenja tлом s naglaskom na primjenu kontrolirane konvencionalne i aktualne alternativne poljoprivredne proizvodnje, vodeći računa o ograničenoj proizvodnosti i ranjivosti tla, stupnju namjenske pogodnosti tla i zemljišta te prihvatljivim hidro ili/i agromelioracijskim mjerama.

Skripta su pisana koristeći se dostupnom literaturom i pravnom stečevinom EU koja je transponirana u zakonodavstvo R. Hrvatske.

Autor

**KAZALO**

1. UVOD	7
2. O TLU I NJEGOVIIM ZNAČAJKAMA	10
2.1 Osnovni čimbenici i procesi nastanka tla	13
2.1.1 Opće značajke tla	15
2.1.2 Fizikalne značajke tla	18
2.1.2.1 Mehanički sastav tla/tekstura tla	18
2.1.2.2 Struktura tla	20
2.1.2.3 Relativna gustoća tla	22
2.1.2.4 Poroznost tla	22
2.1.2.5 Temperatura tla	23
2.1.3 Kemijske značajke tla	24
2.1.3.1 Humus u tlu	24
2.1.3.2 Sorptivna sposobnost tla	24
2.1.3.3 Kemijski sastav tekuće faze tla	25
2.1.3.4 Reakcija tla	27
2.1.4 Biološke značajke tla	28
2.1.5 Plodnost tla	29
3. ULOGA TLA U OKOLIŠU	30
3.1 Proizvodno-gospodarska uloga tla	31
3.1.1 Primarna proizvodnja organske tvari	31
3.2 Ekološko-regulacijska uloga tla	32
3.2.1 Klimatsko-regulacijska uloga	32
3.2.2 Tlo kao prijemnik (receptor), sakupljač (akumulator)	34
3.2.3 Tlo kao prirodni izmjenjivač (transformator)	35
3.2.4 Tlo kao prirodni pročištač (filter) vode	36
3.2.5 Tlo kao puffer	37
3.3 Biološko-regulacijska uloga tla	37
3.3.1 Tlo kao izvor genskog bogatstva i zaštite biološkog raznovrsja	37
3.4 Tlo kao medij prirodne pohrane (skladištenja) tvari	39
3.5 Prostorna uloga tla	40
3.5.1 Tlo kao prostor za naselja i infrastrukturu	41

3.5.2	Odlaganje otpada na tlo	42
3.5.3	Tlo u oblikovanju krajobraza	43
3.6	Konzervacijsko-arhivska uloga tla	45
4.	OŠTEĆENJE I ONEČIŠĆENJE TLA	47
4.1	Oštećenje tla	47
4.1.1	Klasifikacija oštećenja tla	48
4.1.2	Onečišćenje kao oblik oštećenja tla	48
4.1.3	Onečišćujuće tvari u tlu	51
4.1.4	Najčešće onečišćujuće tvari u tlu	54
4.1.4.1	Teški metali u tlu	54
4.1.4.2	Policiklički aromatski ugljikovodici u tlu	55
4.1.4.3	Postojane organske onečišćujuće tvari u tlu	57
4.1.4.4	Radionuklidi u tlu	58
4.1.5	Granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu	59
4.1.6	Stanje onečišćenog tla u Europi	62
4.1.7	Stanje onečišćenog tla u Republici Hrvatskoj	66
5.	RUDARSTVO I METALURŠKA INDUSTRIJA – IZVOR ONEČIŠĆENJA TLA	72
5.1	Utjecaj eksploatacije mineralnih sirovina na onečišćenje tla	72
5.2	Utjecaj procesa proizvodnje željeza i čelika na onečišćenje tla	76
5.2.1	Onečišćenje tla iz procesa proizvodnje koksa	77
5.2.2	Onečišćenje tla iz procesa sinteriranja željezne rude	80
5.2.3	Onečišćenje tla iz procesa proizvodnje željeza VP postupkom	82
5.2.4	Onečišćenje tla iz procesa proizvodnje čelika EP postupkom	84
5.2.4.1	Onečišćenje tla priv. skladištenjem čeličnog otpada	87
5.2.4.2	Onečišćenje tla odlaganjem proizvodnog otpada	93
5.2.5	Onečišćenje tla iz industrije lijevanja metala	99
6.	SANACIJA (REMEDIJACIJA) ONEČIŠĆENOG TLA	102
6.1	Biološka remedijacija	103
6.1.1	Bioremedijacija tla	103
6.1.2	Bioventilacija tla	105
6.1.3	Fitoremedijacija tla	106
6.1.3.1	Fitoekstrakcija/fitoakumulacija	106
6.1.3.2	Fitostabilizacija	109
6.1.3.3	Fitovolatizacija	110

6.2	Kemijska remedijacija	111
6.2.1	Elektrokemijska remedijacija	111
6.2.2	Poplavljanje tla	113
6.2.3	Ispiranje tla	114
6.2.4	Solidifikacija/stabilizacija	115
6.2.5	Prirodno čišćenje	116
6.3	Fizikalna remedijacija	117
6.3.1	Prekrivanje/kapsuliranje tla	118
6.3.2	Iskop tla	119
6.3.3	Miješanje tla	120
6.4	Termalna remedijacija	121
6.4.1	Spaljivanje tla	122
6.4.2	Vitrifikacija/postakljanje tla	123
6.4.3	Solarna-fotokemijska razgradnja tla	124
7.	ZAŠTITA TLA	125
7.1	Zaštita tla i njegovo trajno motrenje u R. Hrvatskoj	125
7.2	Zaštita poljoprivrednog tla u R. Hrvatskoj	128
7.2.1	Mjere zaštite poljoprivrednog tla od oštećenja	129
7.3	Zaštita tla u zakonodavstvu R. Hrvatske	131
8.	LITERATURA	134
9.	POPIS OZNAKA, KRATICA I POKRATA	145

## 1. UVOD

Svaki gospodarski razvoj predstavlja i porast životnog standarda kojeg prati intenziviranje ljudske djelatnosti koja vodi ka izgradnji industrijskih postrojenja, povećanju potrošnje energije i sirovina, proširenju i pojačanoj upotrebi obradivih površina, korištenju svih postojećih resursa, a sve to dovodi do novog i neminovnog opterećenja okoliša.

Čovjek je ovime promijenio i poremetio izmjene tvari u okolišu kako s promjenom njihovih koncentracija u svim njegovim sastavnicama, tako i tvorbom novih u prirodi nepoznatih spojeva. Na ovaj način uništen je niz genetskih informacija trajnim smanjenjem biološke raznolikosti, a razvojem genetskog inženjerstva i stvaranjem novih informacijskih sadržaja nastali su novi problemi s, u ovom trenutku, nepoznatim posljedicama.

Opterećenjem okoliša kao cjeline, nije pošteđena niti jedna od njegovih sastavnica, što je dovelo do oštećenja i samog tla koje predstavlja važnu komponentu čovjekova okoliša i danas privlači sve veću pozornost. Ozbiljnost ovog problema ogleda se i u činjenici da oštećenje i uništavanje tla može imati za posljedicu negativne učinke i na ostale dijelove ekosustava kao npr. hidrološki režim okoliša, raznolikost biljnih i životinjskih vrsta i tome slično.

Zdrav okoliš, pa tako i neoštećeno tlo, temeljna je pretpostavka za očuvanje zdravlja ljudi i kvalitete življenja. Kvantitativna ocjena utjecaja okolišnih čimbenika koji mogu biti štetni po zdravlje ljudi iziskuje interdisciplinarno i u pravilu dugoročno i ciljano praćenje stanja okoliša i zdravlja populacije, jer zaštita svih dijelova ekosustava i sprječavanje njihovog onečišćenja ljudskom djelatnošću nameće se kao jedno od temeljnih načela održanja života na Zemlji.

U R. Hrvatskoj postoji niz područja koja se u tom smislu ne prate sustavno, a razlozi su nepostojanje zakonske obveze, nedovoljna dokazivost povezanosti okolišnih čimbenika sa njihovim učincima na zdravlje ljudi, nedostatak standardiziranih pokazatelja, kao i izostanak financijskih sredstava. Iako nedostaju relevantni podaci za provedbu cjelovitih i odgovarajućih analiza i procjena o utjecaju okolišnih čimbenika na zdravlje čovjeka, ipak, dostupni podaci na razini Hrvatske upućuju na mogući negativan utjecaj okoliša na zdravlje ljudi, posebice u blizini industrijskih izvora onečišćenja.

Postupak ustrojbe cjelovitog sustava trajnog motrenja i pohranjivanja podataka o stanju tla još uvijek nije uspostavljen, iako se u posljednjih nekoliko godina ozbiljno pristupilo ovom problemu i određene aktivnosti su u tijeku. Do sada prikupljeni uzorci tla analizirani su korištenjem različitih analitičkih metoda, a rezultati ukazuju na lokalna onečišćenja ukupnim i mineralnim uljima, policikličkim aromatskim ugljikovodicima, polikloriranim bifenilima, ostacima herbicida i pojedinim teškim metalima.

Tlo urbanog prostora, zbog svoje polivalentne namjene, u prošlosti je bilo izloženo značajnim oštećenjima koja su prije svega posljedica izgradnje industrijskih objekata poput ciglana, cementara, termoenergetskih postrojenja, postrojenja kemijske, petrokemijske, metalurške i metaloprerađivačke industrije itd. Takvi lokaliteti, kao i lokaliteti u njihovoj neposrednoj blizini, koji su služili za odlaganje proizvodnog otpada na nezaštićenim zemljanim površinama, nakon prestanka eksploatacije, nisu potpuno rekultivirani. Naime, vrlo često su bili "prenamijenjeni" za odlagališta različitih vrsta otpada koja nisu zadovoljavala niti minimalne tehničke uvjete, te je onečišćenje podzemnih i nadzemnih voda, kao i samo tlo bilo moguće.

Od velikog broja onečišćujućih tvari koje ugrožavaju tlo i narušavaju njegovu kvalitetu, svakako jednu od značajnih uloga imaju pojednini metali koji dolaze iz metalurške i metalopre- rađivačke industrije. Metali kao onečišćenja, zbog moguće akumulacije u biološkim sustavi- ma u tlu i na tlu, visoke toksičnosti, male mogućnosti njihove detoksikacije prirodnim proce- sima, moguće migracije u vodene ekosustave i sl. predstavljaju ozbiljan problem.

S obzirom da su poznata fiziološka i toksična svojstva većine onečišćujućih tvari koje dospje- vaju u i na tlo, posebice teških metala, i njihov mogući utjecaj na živi svijet u tlu i na tlu, kao i činjenica da tlo ima ekološku, proizvodnu, industrijsku, društveno-ekonomsku i kultur- no-povijesnu funkciju i značaj, u posljednjih tridesetak godina se u svijetu pristupilo sustav- nom praćenju onečišćenja tla. Ova istraživanja, koja se provode i danas, doprinjela su utvrđi- vanju postojećeg stanja onečišćenosti velikog broja urbanih i ruralnih tala u pojedinim regi- jama. Osim toga, izučavanjem procesa migracije onečišćujućih tvari u tlu, transformacije i imobilizacije njihovih toksičnih spojeva u tlu, razvijeni su postupci obnove onečišćenih tala te predložene različite mjere sprječavanja daljnjeg onečišćenja tala kao i mjera zaštite tala od štetnih utjecaja iz industrije, poljoprivrede, odlagališta otpada, prometa, itd.

U cilju boljeg razumijevanja problematike onečišćenja i zaštite tla, ovdje ćemo navesti značenje pojedinih pojmova, a na temelju postojeće relevantne hrvatske legislativ<sup>1-3</sup>:

- **Bioraznolikost** je sveukupnost svih živih organizama u tlu i na njegovoj površini koji su sastavni dijelovi ekosustava, a uključuje raznolikost unutar vrsta, između vrsta, životnih zajednica te raznolikost ekosustava,
- **Ekosustav** je dinamičan kompleks odnosa zajednica biljaka, gljiva, životinja, algi i mikro- organizama i njihova živog i neživog okoliša, koji međusobno djeluju kao funkcionalna jedinica na nekom prostoru,
- **Emisija** je ispuštanje ili istjecanje tvari, u tekućem, plinovitom ili čvrstom agregatnom stanju, i/ili ispuštanje topline, buke, vibracije iz stacionarnih ili difuznih prirodnih ili an- tropogenih izvora u okoliš, te ispuštanje svjetlosti i organizama, iz pojedinog izvora u okoliš,
- **Granična vrijednost emisije** je propisana ili određena maksimalna vrijednost, koncentra- cija i/ili razina emisije u posebnim pokazateljima, izražena kao prosjek tijekom zadanog vremenskog razdoblja, pod posebnim referentnim uvjetima, koja u jednom ili tijekom više vremenskih razdoblja ne smije biti prekoračena,
- **Imisija** je primanje tvari emitiranih iz nekog izvora emisije i koncentracija na određenom mjestu i u određenom vremenu u okolišu,
- **Industrijska emisija** je ispuštanje ili istjecanje tvari, ispuštanje energije (toplina, buka, vibracije) iz industrijskih postrojenja u zrak, vodu i tlo,
- **Industrijska nesreća** je događaj koji je posljedica nekontroliranog slijeda događanja u tijeku neke radnje ili aktivnosti u postrojenju, tijekom proizvodnje i/ili uporabe proizvoda, skladištenja i/ili rukovanja proizvodom ili odlaganja otpada,
- **Krajobraz** je određeno područje viđeno ljudskim okom, čija je narav rezultat međusobnog djelovanja prirodnih i ljudskih čimbenika, a predstavlja bitnu sastavnicu čovjekovog ok- ruženja, izraz raznolikosti zajedničke kulturne i prirodne baštine te temelj identiteta pod- ručja,



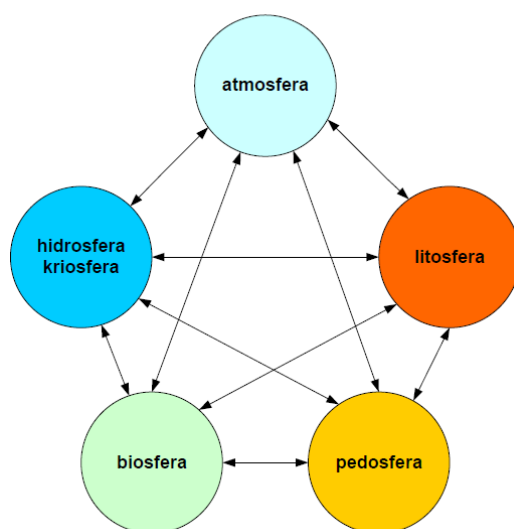
- **Kulturni krajobraz** je krajobraz u kojemu dominira utjecaj čovjeka, u pravilu dio poljoprivrednog prostora ili agrosfere, u kojemu se uzgaja jedna ili više kulturnih biljaka,
- **Održivo korištenje prirodnih dobara** je korištenje prirodnih dobara na način kojim se ne ugrožavaju druga dobra, bez o na način da se održava njihova prirodna uloga, udovoljilo potrebama sadašnjice i u budućnosti, odgovarajuće ekološke, gospodarske i socijalne uloge na lokalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini.
- **Okoliš** je prirodno i svako drugo okruženje organizama i njihovih zajednica uključivo i čovjeka, koje omogućuje njihovo postojanje i njihov daljnji razvoj: zrak, more, vode, tlo, zemljina kamena kora, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja koje je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja,
- **Onečišćivanje okoliša** je promjena stanja okoliša zbog nedozvoljene emisije i/ili drugog štetnog djelovanja, ili izostanaka potrebnog djelovanja, ili utjecaja zahvata koji može promijeniti kakvoću okoliša,
- **Onečišćivanje** poljoprivrednog tla je proces izravnog unošenja ili postupnog rasprostranjenja (transportom ili taloženjem) onečišćujućih tvari (polutanata, nečisti) njihovim nakupljanjem u tlu iznad granične vrijednosti propisane odredbama posebnog Zakona<sup>3</sup>,
- **Onečišćenje** je izravno ili neizravno unošenje tvari, vibracija, topline ili buke u zrak, vodu ili tlo kao posljedica ljudske aktivnosti. Ono može biti štetno za zdravlje ljudi ili kvalitetu okoliša, može dovesti do oštećenja materijalne imovine ili narušiti ili umanjiti vrijednost i načine korištenja okoliša,
- **Onečišćenjem poljoprivrednog tla** smatra se odbacivanjem otpada na tlo kao i gospodarenje otpadom na tom zemljištu na način protivan propisima koji uređuju gospodarenje otpadom.
- **Onečišćenje/oštećenje tla** je štetni proces i utjecaj na tlo koji smanjuje njegovu upotrebnu vrijednost ili ga isključuje iz neke od prirodnih uloga koje tlo obavlja,
- **Onečišćivač** je svaka fizička i pravna osoba, koja posrednim ili neposrednim djelovanjem, ili propuštanjem djelovanja uzrokuje onečišćavanje okoliša,
- **Onečišćivač poljoprivrednog tla** je svaka pravna ili fizička osoba čije djelovanje posredno ili neposredno uzrokuje onečišćenje poljoprivrednog tla,
- **Onečišćujuća tvar - polutant, nečist** (u tlu) je svaka tvar koja može prouzročiti promjene kemijskih, fizikalnih i bioloških značajki tla, zbog čega se umanjuje njegova vrijednost, odnosno smanjuje proizvodna sposobnost i ograničava korištenje u poljoprivredi,
- **Onečišćujuća tvar** (općenito) je tvar ili skupina tvari, koje zbog svojih svojstava, količine i unošenja u okoliš, odnosno u pojedine sastavnice okoliša, mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi, biljni i/ili životinjski svijet, odnosno bioraznolikost i krajobraznu raznolikost,
- **Opterećivanje okoliša** je svaki zahvat ili posljedica utjecaja zahvata u okoliš, ili utjecaj na okoliš određene aktivnosti, koja sama ili povezana s drugim aktivnostima, može izazvati ili je mogla izazvati onečišćavanje okoliša, smanjenje kakvoće okoliša, štetu u okolišu, rizik po okoliš ili korištenje okoliša,
- **Praćenje stanja okoliša** (trajno motrenje - monitoring) je niz aktivnosti koje uključuju uzorkovanje unaprijed određenom dinamikom, ispitivanje i sustavno mjerenje emisija, imisija, praćenje prirodnih i drugih pojava u sastavnicama okoliša u svrhu zaštite okoliša,

- **Poljoprivredno zemljište** su poljoprivredne površine: oranice, vrtovi, livade, pašnjaci, voćnjaci, maslinici, vinogradi, ribnjaci, trstici i močvare kao i drugo zemljište koje se uz gospodarski opravdane troškove može privesti korištenju u poljoprivredi.
- **Poljoprivredno tlo** je dio poljoprivrednog zemljišta, podrazumijeva se od površine do neizmjenog matičnog supstrata.
- **Prirodno dobro** je dio prirode koje je isključivo ili istodobno prirodno javno dobro, prirodni izvor ili prirodna vrijednost,
- **Sanacija** je skup propisanih mjera i/ili aktivnosti kojima se uspostavlja stanje okoliša koje je bilo prije nastanka oštećenja, odnosno onečišćenja okoliša,
- **Sastavnice okoliša** su: zrak, vode, more, tlo, krajobraz, biljni i životinjski svijet te litosfera - Zemljina kora,
- **Tlo** je gornji sloj Zemljine kore, smješten između kamene podloge i površine. Tlo se sastoji od čestica minerala, organske tvari, vode, zraka i živih organizama.
- **Zaštita okoliša** je skup odgovarajućih aktivnosti i mjera kojima je cilj suzbiti opasnosti za okoliš i nastanak oštećenja i/ili onečišćenja okoliša, smanjivanje i/ili otklanjanje šteta nanijetih okolišu te povrat okoliša u stanje prije nastanka oštećenja.
- **Zaštita tla** je očuvanje zdravlja i funkcije tla, sprječavanje njegovih oštećenja, praćenje stanja i promjenu kakvoća tla te saniranje i obnavljanje oštećenih tala i lokacija.

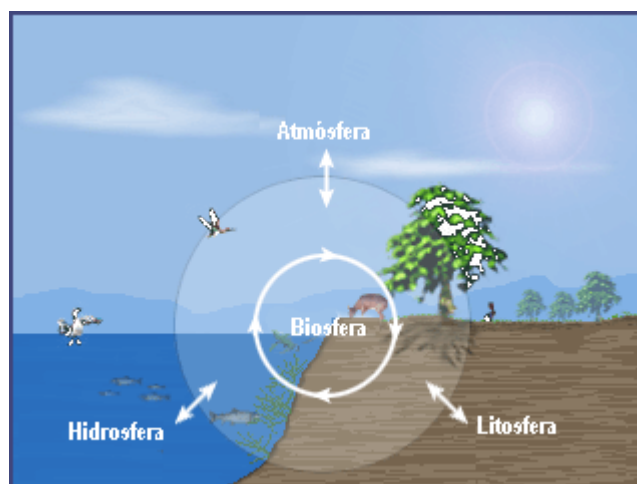
## 2. O TLU I NJEGOVIM ZNAČAJKAMA

Ekosfera, koja obuhvaća atmosferu, hidrosferu, kriosferu, litosferu, pedosferu i biosferu, slika 1, predstavlja vrlo složeni sustav velikog broja čimbenika koji su pojedinačno ili u svojim skupnim djelovanjima, podvrgnuti različitim promjenama. Zbog toga je teško opisati štetne utjecaje čovjeka na biosferu, posebice na pedosferu, odvojeno od mogućih utjecaja i na ostale sastavnice ekosfere.

Poznato je da je biosfera, sfera života i označava ekološki sustav koji obuhvaća najvišu razinu jedinstva žive i nežive prirode na planetu, a koji, kako je i prikazano<sup>5</sup> na slici 2, ne uključuje samo Zemljinu površinu, nego i zrak, vodu, tlo i sve žive organizme na našem planetu koji imaju svoja staništa u hidrosferi, atmosferi, litosferi i pedosferi (gornji dio litosfere).



Slika 1. Shematski prikaz ekofsere i međusobne povezanosti/ovisnosti subsfera<sup>4</sup>



Slika 2. Pojednostavljen prikaz biosfere<sup>2</sup>

Za razliku od drugih sastavnica "ekološke trijade" (vode i zraka) u okviru dosadašnjih istraživanja procesa narušavanja ravnoteže u okolišu i njegovog onečišćenja, tlu se nije pridavala jednaka pozornost kao vodi i zraku, iako su podjednako važni za opstanak života na Zemlji. Tlu se naime, oduvijek prilazilo s predrasudom da je samo po sebi "prljavo", i kao takvo otporno na mnogobrojna onečišćenja, te da je raspoloživi fond tala neiscrpno velik. Tek u posljednje vrijeme, kada su se u fokusu našli problemi vezani uz oštećenja i onečišćenost poljoprivrednih tala, počinje zanimanje stručnjaka, a i javnosti za ovo pitanje.

Prije nego se dođe do odgovora na pitanja kada je tlo oštećeno, a kada onečišćeno, potrebno je odgovoriti na vrlo jednostavno pitanje – što je tlo? Dati odgovor na pitanje „što je tlo“ nije baš toliko jednostavno koliko se čini na prvi pogled, iako nebi pogriješili kada bi kazali da je to *površinski sloj zemljine kore kojeg čine mineralne čestice, organske tvari, voda zrak i živi organizmi u njemu*. Naime, u posljednjih 220 godina različiti znanstvenici su pokušavali, svaki na svoj način, definirati tlo, pa se razvojem znanosti o tlu (pedologija) došlo i do opće prihvaćene definicije koja glasi: *Tlo je rastresiti sloj na površini Zemlje, smješten između litosfere i atmosfere, nastao od matične stijene pod utjecajem čimbenika pedogeneze djelovanjem procesa pedogeneze*<sup>6</sup>.

Tlo je dakle prirodna tvorevina, nastala složenim i uglavnom dugotrajnim procesima djelovanjem klime, vegetacije i makro i mikro organizama na matičnu stijenu, odnosno supstrat. Koliko su to dugotrajni procesi najbolje govore podaci da se za sloj tla od 30 cm proces nastajanja kreće u rasponu od nekoliko tisuća do preko milijun godina, što zavisi o značajkama supstrata<sup>7</sup>. Na ovaj način, a ovisno o danim uvjetima, na površini Zemlje su nastajala tla različite građe. Na slici 3 prikazan je profil tla travnjaka<sup>8</sup>.



Slika 3. Profil tla u kojemu su uočljivi različiti genetski horizonti koji služe za identifikaciju tipa tla<sup>8</sup>

Ovdje je bitno napomenuti i razliku među pojmovima *tlo* i *zemljište*, koji se vrlo često zamjenjuju. Naime, kako je već rečeno, *tlo* je prirodna tvorevina nastala procesima tvorbe tla, a pojam *zemljište* se odnosi na površinu kopna, slika 4.



<http://www.agroklub.com/poljoprivredni-oglasnik/oglas/poljoprivredno-zemljiste-marinci/9052/>

Slika 4. Zemljište

Znači, *zemljište* je širi pojam<sup>6</sup> i označava kopnenu površinu i bioproduktivni sustav koji obuhvaća *tlo*, vegetaciju, druge životne zajednice te ekološke i hidrološke procese. Iskazuje se u jedinicama za površinu, ha, ral, jutro, ar, dulum. Prema tome, na jednom hektaru poljoprivrednog zemljišta u pravilu ćemo naći više tipova tala.

## 2.1 Osnovni čimbenici i procesi nastanka tla

Kako je ranije rečeno, tlo nastaje pod utjecajem velikog broja pedogenetskih čimbenika od kojih su glavni slijedeći:

- matični supstrat (litosfera),
- temperatura, voda, vjetar i ostali čimbenici klime,
- kemijski agensi (voda, kiseline, lužine, soli, plinovi,..),
- biljke i životinje i
- čovjek sa svojim djelovanjem.

Djelovanjem pedogenetskih čimbenika na stijenu (matičnu supstrat - litosferu) stijena se postupno usitnjava stvarajući najprije trošinu (regolit), koja je sposobna držati vodu, a ona uzrokuje procese kemijskog trošenja primarnih minerala, ali dolazi do sinteze novih spojeva - sekundarnih minerala iz produkata toga trošenja, zatim dolazi do naseljavanja, najprije jednostavnih autotrofnih organizama - bakterija i algi, zatim i lišaja koji osobito snažno djeluju na matičnu stijenu, oslobađaju biogene elemente, a poslije odumiranja iz njih se stvara humus i uvjeti za prve više biljke. To su najprije jednostavne biljke skromnih zahtjeva, kao što su sukulente biljke, kserofiti a zatim i više biljke. Tek kada se u trošinu naseli život i stvara humus govorimo o tlu.

Svi procesi koji sudjeluju u nastajanju tla odnosno razvoju pedosfere, nazivaju se pedogenetski procesi i razvrstavaju se pet temeljnih skupina<sup>6</sup>:

- **trošenje litosfere** – pri čemu se mijenjaju njene fizikalne i kemijske značajke, a kompaktna masa stijene se usitnjava u rahlu i rastresitu trošinu, izgrađenu od istih, mineralnih spojeva;
- **tvorba organske tvari pedosfere** – to su procesi u kojima se nastala rahla trošina, obogaćuje živom organskom tvari odnosno naseljavanjem živim organizmima koji vlastitom proizvodnjom nastavljaju obogaćivanje tla novim organskim tvarima;
- **razgradnja organske tvari u pedosferi** – odvija se mikrobiološkim procesima (truljenje, gnijiljenje), a nastavlja procesima sinteze produkata raspadanja u organsku tvar jako složenog sastava koju nazivamo humus. To je najaktivnija i najvrijednija sastavnica tla i ključ njegove plodnosti.
- **otapanje i premještanje tvari u pedosferi** – događa se pod utjecajem vode - oborina, koja prolazi kroz tlo, otapa topljive sastavnice i premješta u dublje slojeve tla ili u pozemnu vodu. Najprije se iz tla gube lako topljive soli, kao što su kloridi i sve soli natrija, slijede srednje topljive soli - karbonati i sulfati, među kojima je najvažniji kalcijev karbonat. Ispiranje karbonata otvara put zakiseljavanju tla ili acidifikaciji, koja smanjuje plodnost tla.
- **unutarnje premještanje** odnosi se na premještanje ili tzv. eluvijalno-iluvijalnu migraciju čestica gline. Naime, nakon što zakiseljavanje dostigne stanoviti stupanj, čestice gline, koje su nastale prije u neutralnoj reakciji i tlu bogatom bazama - kationima, postaju nestabilne pa dolazi do njihove peptizacije ili raspršavanja u otopini tla i premještanja s vodom oborina. Ako se premještaju cijele čestice gline govorimo o *lesivaži*, a u ekstremno kiselim tlima najprije dolazi do razgradnje čestica gline na spojeve željeza i alumosilikate, koji se zatim ispiru u niže horizonte. Taj, jako pojednostavljeno opisan proces naziva se *podzolizacija*.
- **površinsko premještanje** obično uzrokuju kiše, bujice, ledenjaci, vjetrovi itd., odnose dio tla ili cijelo tlo je najvažniji čimbenik razvoja vanjske morfologije pedosfere, jer u ovim procesima premještanja dijelova pedosfere nastaju najrazličitiji morfološki oblici.
- **novotvorba** – su procesi koji se odvijaju u trošini, a predstavljaju sintezu produkata trošenja mineralne tvari pa tako nastaju sekundarni minerali ili minerali gline. Slični se procesi odvijaju i s organskom tvari. Sirova organska tvar (lišće, obamrli korijen, stabljika) se najprije mikrobiološkim procesima razgrađuje u jednostavnije spojeve, a zatim drugi mikroorganizmi vrše sintezu u vrlo složene spojeve i tako stvaraju vrlo vrijednu koloidnu tvar crne boje - humus<sup>6</sup>.



### 2.1.1 Opće značajke tla

Kao prirodno tijelo tlo ima unutarnju i vanjsku morfologiju, fizikalne, kemijske i biološke značajke<sup>9</sup>.

- **vanjska morfologija tla** – određena je reljefom te živim i mrtvim pokrovom (skeletne površine, mrtvi organski pokrov, površine voda stajaćica i tekućica).
- **unutarnja morfologija tla** – očitava se na vertikalnom profilu koji se otvara kopanjem *pedološkog profila* odnosno *pedološke* jame, od površine do neizmjenjenog matičnog supstrata - slika 5. Na profilu razvijenog tla raspoznaju se slojevi koji se nazivaju *horizonti*, a formirali su se tijekom nastajanja i razvoja tla. Unutarnja morfologija tj. profil tla najvažniji je pokazatelj njegova postanka, dinamike i svojstava. Na pedološkom profilu mogu se razaznati slijedeći slojevi/horizonti<sup>9</sup> promatrajući profil od površine prema dubini:

**O** – **organski horizont**, površinski sloj listinca koji se formira u šumi odlaganjem lišća i grančica listopadnog drveća ili iglica vazdazelenih šumskih vrsta. Obradene površine, pustinje ili travnate površine nemaju **O** horizont.

**(A) inicijalni humusno akumulativni horizont** tamne boje, isprekidan izbijanjem matičnog supstrata na površinu, kao što je to u našim kamenjarima na kršu. Erozijska tla vodom ili vjetrom razlog je odnošenja tla pa se ono zadržava u početnim stadijima razvoja.

**A** – humusno akumulativni horizont tamne boje koji sadrži humus. U poljoprivrednim tlima to je obrađivan sloj, često izmješšan sa podoraničnim slojem pa sadrži manje humusa od istog tipa tla. Ako sadrži dosta organske tvari onda je optimalne mrvičaste (granularne) strukture.

**(B) - smeđi horizont** nastao intenzivnim kemijskim trošenjem - raspadanjem primarnih minerala "nasljeđenih" iz matičnog supstrata i stvaranjem - sintezom sekundarnih minerala (pretežno minerala glina) i to na licu mjesta („*in situ*“) na silikatno karbonatnim ili silikatnim bazama (kalcij, magnezij) bogatim supstratima.

**(B)rz rezidualni smeđi horizont** (od riječi; rezidij - ostatak) poseban je oblik ovog horizonta koji se javlja samo na vapnencu i dolomitu, a nastaje akumulacijom netopivog ostatka (rezidij). Topive sastavnice tih stijena otapanjem odlaze u krško podzemlje, a na površini ostaje samo taj ostatak iz kojega nastaje tlo. Može imati crvenu boju pa to tlo nazivamo crvenica (terra rossa). Taj je proces vrlo spor, što oslikava podatak da je za postanak sloja od 1 cm debljine tla potrebno oko 10 000 godina, što znači da je crvenica duboka 1 m, koju vidite na kršu našega uzorja stara najmanje milijun godina! Ne čuvamo li je, možemo je izgubiti s jednom jedinom kišom!

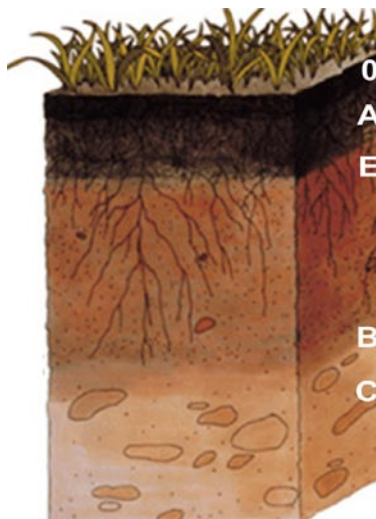
**E** – eluvijalni horizont, koji se nalazi ispod **O** ili **A** horizonta, nastao lesivažom pa obično sadrži manje gline od horizonta koji se nalazi ispod. Ako je nastao podzolizacijom boja mu ima izgled pepela i u horizontu se uočava, a pod prstima osjete zrnca kvarca - kremenca, kao sastavnice matičnog supstrata netopive u kontinentalnoj klimi. Uvijek ima svijetliju nijansu u boji od oba horizonta s kojima graniči. Izuzetak mogu biti oranična tla, u kojima je obradom izmiješan **A** i **E** horizont pa je boja tamnija i zavisi o masi tih horizonata. Ako je više humusa boja je tamnija i obrnuto.

**B** – iluvijalni mineralni horizont u kojem se taloženjem nakupljaju glina (u slučaju lesivaže), a u slučaju podzolizacije spojevi željeza i spojevi aluminija - alumosilikati isprani iz **E** horizonta, ili organska tvar isprana iz **A** horizonta. Uglavnom je crvenkaste, žutosmeđe

ili tamnosmeđe boje od minerala gline (lesivaža) ili spojeva željeza (podzolizacija), ali svjetliji od horizonta **A**. Ako je u pitanju lesivaža taj horizont ima znatno više gline od **E** horizonta iznad njega.

**C** – je najdonji horizont - matična stijena od rahlog materijala (pijesak, les, lapor).

**R** - (od rock - stijena) je matična stijena od čvrstog materijala (karbonati, siliciklastične sedimentne stijene, metamorfne i eruptivne stijene).



<http://soils.usda.gov/education/resources/lessons/profile/>

Slika 5. Shematski prikaz pedološkog profila

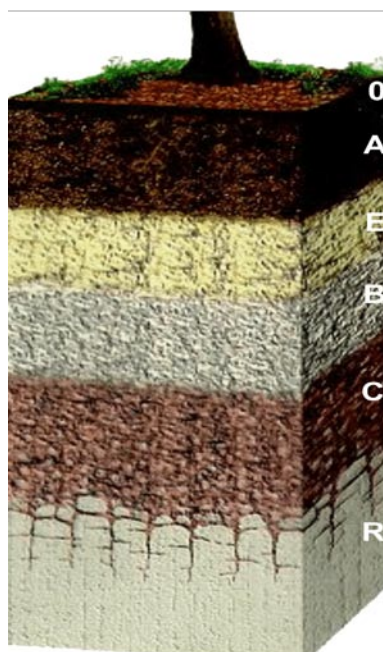
Često se na prikazima profila tla nalazi i oznaka sloja **D** – koji označava stijenu ili rastrošenu masu koja nije matični supstrat za tlo koje se nalazi na njemu, a obično se radi o nasutom materijalu dovezenom sa drugog područja (šljaka, razni materijali iz kamenoloma isl.).

**G horizont** – koji predstavlja glejni horizont kojeg karakteriziraju redukcijski i oksidacijski procesi prisutnog Fe i Mn od kuda mu i boja može biti modra, zelenkasta, siva, a ponekad uz prisustvo crvenkastih do tamno smeđih nakupina - mrlja.

Naravno, svi tipovi tala nemaju sve nabrojene horizonte. Opisat ćemo genetsku ili evolucijsku seriju tala na lesu da bi prikazali kako nastaju pojedini horizonti tih tala. Mlada tla na početku pedoevolucije imaju (A)-C, a u šumi O-(A)-C građu, nakupljanjem humusa nastaje duboko tlo A - C građe, ujedno i najplodnije tlo koje priroda poznaje - černozem. Ispiranjem  $\text{CaCO}_3$  iz toga tla dolazi postupno do zakiseljavanja, razgradnje primarnih i tvorbe sekundarnih minerala pa nastaje (B) horizont i tlo A - (B) - C građe profila. Nastavi li se zakiseljavanje dolazi do eluvijalno-iluvijalne migracije - lesivaže. Minerali gline gube stabilnost, raspršuju se (peptiziraju) i ispiru iz površinskih horizonata u dublje, pa se formira najprije tanak eluvijalni E horizont i jednako tanak iluvijalni B horizont. Proces se nastavlja pa se formira tlo A - E - B - C građe profila - lesivirano tlo.



Često se na prikazima profila šumskog tla razaznaje horizont **E**, slika 6, iz kojeg su obično minerali gline, željeza, aluminija i organska tvar isprani, pa taj horizont ima pepeljastu ili bijelu boju, a svakako je svjetliji od horizonta ispod i iznad. Slijedi iluvijalni B horizont u kojemu su nakupljene tvari isprane iz E horizonta.



[http://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a\\_profile.aspx](http://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a_profile.aspx)

Slika 6. Pedološki profil lesiviranog tla ili podzola, tipičan za šumska tla

Svi ovi horizonti mogu imati i više pothorizonta koji se označavaju prema procesima koji se u njima odvijaju. To su u stvari dijelovi osnovnih horizonata koji se mogu izdvojiti kao zasebne zone i označavaju se kombinacijom velikog i malog slova (npr.: Ol, Of, Oh, Bh, itd.), pri čemu mala slova označavaju proces koji prevladava kao npr.:

Ol – (lat. *litter* – listinac, prostirka) je pothorizont nerazgrađene organske tvari u kojemu se jasno opažaju organski ostatci;

Of – (fermentacija) pothorizont polurazgrađene organske tvari u kojem se teže opažaju organski ostatci;

Oh – (humus) humificirani organski pothorizont na granici s mineralnim dijelom tla, a u njemu se javljaju mineralne čestice tla;

Bh – humusno iluvijalni B horizont obogaćen humusom, koji je u uvjetima kisele reakcije ispran iz O i E horizonta.

## 2.1.2 Fizikalne značajke tla

Prema svojim značajkama tlo je trofazni (trofazni) sustav sastavljen od krute, tekuće i plinovite sastavnice (faze), koje su međusobno tako raspoređene da tlu daju osobine porozne odnosno šupljikave, a ne kompaktne, mase koji je zapravo životni prostor biljnog korijena i živih organizama, koji žive u tlu. Krutu sastavnicu tla, koja čini 50% od njezove ukupne zapremine, čine mineralni dio na koji otpada 90% što je ujedno 45% ukupne zapremine tla, te organski dio na koji otpada 10% ili 5% ukupne zapremine tla<sup>6,10</sup>, slika 7.



Slika 7. Prikaz volumnog sastava tla po sastavnicama<sup>6,10</sup>

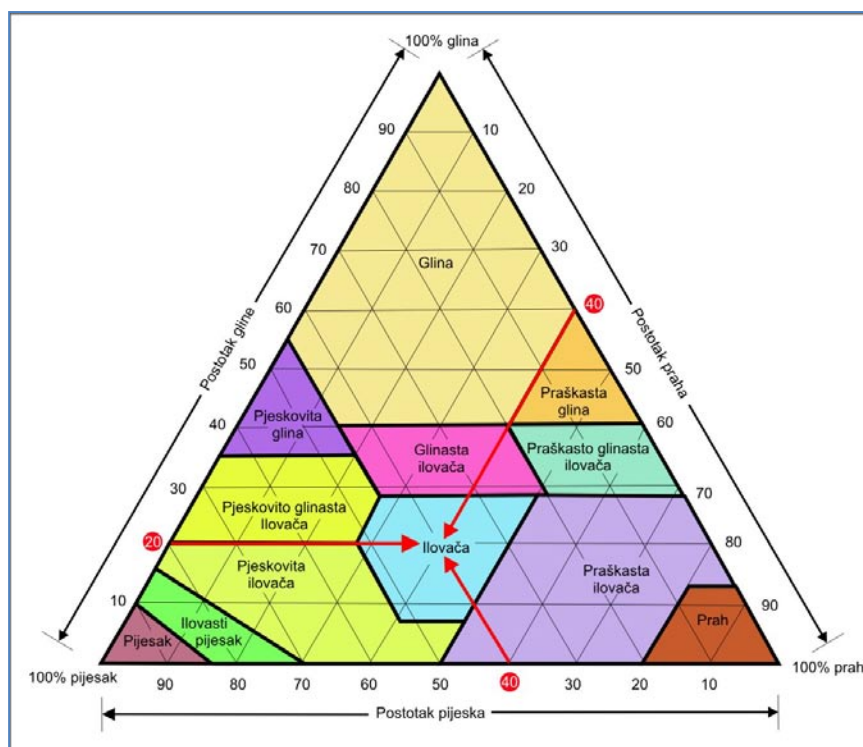
Međusobni odnos sastavnica je dinamična vrijednost, koja se mijenja praktički iz minute u minutu. Naime, čim korijen biljke primi neku količinu vode iz pora tla, na mjesto te vode dolazi zrak. Dinamika i odnosi uglavnom ovise o mehaničkom sastavu tla, klimi, trenutačnim vremenskim prilikama, godišnjem dobu i nizu drugih vanjskih čimbenika. Mineralne krute tvari potječu od matične stijene, a organska kruta tvar je uglavnom humus nastao od organske tvari biljnih ostataka ili je dodan gnojidbom. Tekuću sastavnicu čini voda odnosno otopina koja sadrži u vodi topljivih dijelova tla. Plinovitu sastavnicu čini zrak, koji se stalno izmjenjuje sa atmosferskim zrakom - tlo "diše", odnosno prima kisik, a ispušta CO<sub>2</sub>, kao i sva živa bića.

**2.1.2.1 Mehanički sastav tla / tekstura tla** – Kruta sastavnica tla sastoji se od čestica različitih dimenzija, a čije se dimenzije kreću u intervalu od golim okom nevidljivih iona, molekula i koloida do čestica kamena. Ove čestice, koje nisu podložne daljnjem usitnjavanju pod utjecajem slabih sila, a koje obično zovemo mehaničkim ili granulometrijskim elementima, rijetko se u tlu javljaju odvojeno i uglavnom tvore krupnije čestice tzv. strukturne agregate.

Mehanički ili granulometrijski elementi se razvrstavaju u skupine s dogovorno određenom donjom i gornjom granicom veličine, a te skupine se nazivaju granulometrijske frakcije. Maseni udio pojedinih frakcija u nekom tlu određuje njegovu teksturu, odnosno mehanički sastav.

Tekstura tla može biti raznovrsna, jer udjel svake pojedine frakcije može varirati u širokom intervalu, pa su moguće i različite kombinacije kvantitativnog udjela pojedine frakcije, što je dovelo do pojave više različitih teksturnih klasa tla.

U svijetu se primjenjuju različite klasifikacije, no u Republici Hrvatskoj se primjenjuju klasifikacije Međunarodnog društva za proučavanje tla i tzv. Atterbergova klasifikacija prema kojoj se grafičkom metodom na temelju podataka o udjelu pojedine frakcije iz tzv. Atterbergova trokuta očitava teksturna oznaka, slika 8.



<http://www.soiltestpro.com/soil-texture-components/>

Slika 8. Atterbergov trokut za određivanje mehaničkog sastava tla

Granulometrijske frakcije tla promjera  $>2$  mm nazivaju se *skelet*, a čestice manjih dimenzija nazivaju se *sitno tlo* ili *sitnica*. Stoga se prema sadržaju skeleta tla dijele na skeletna jer sadrže  $>50\%$  ove frakcije i skeletoidna koja sadrže  $<50\%$  skeleta.

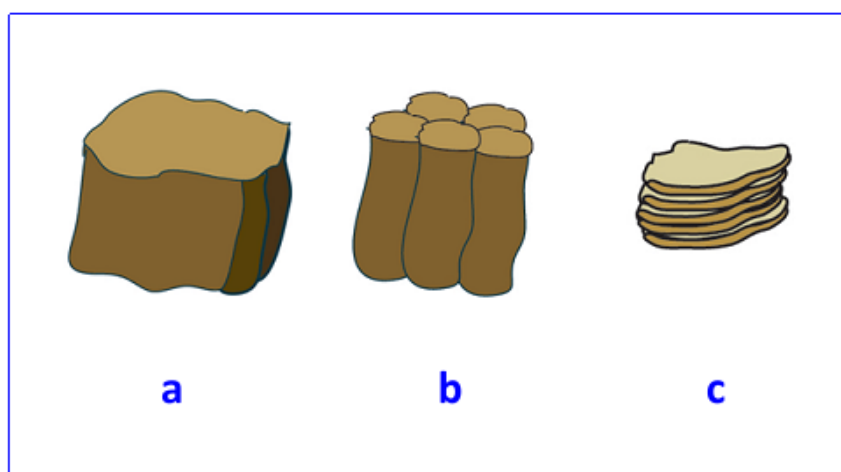
- **skelet – kamen i šljunak** – čestice promjera 2-20 mm, gruba frakcija tla koja nastaje fizikalnim trošenjem matične stijene. Čestice mogu biti zaobljene (šljunak) ili oštrobodne (grus) što ovisi o njihovu premještanju u odnosu na mjesto nastanka<sup>6,9</sup>;

- **pijesak** – čestice promjera 0,2-2 mm, rastresita frakcija koja nastaje fizikalnim trošenjem matične stijene. Ne sadrži vodu i jako je propustan za vodu, nije plastičan i nije ljepljiv. Može sadržavati glinu;
- **prah** – čestice promjera 0,02-0,2 mm, manje rastresita frakcija od pijeska, a koja također nastaje fizikalnim trošenjem matične stijene. Dobro zadržava vodu i slabije ju propušta, nije ljepljiv i slabo je plastičan;
- **glina** – čestice promjera <0,002 mm, najvažnija je i najaktivnija mehanička frakcija tla. Kao fino-zrnati agregat odlikuje se plastičnošću kad se pomiješa s vodom, a koji prilikom sušenja ili pečenja stvrdne.

Sve se klase prema svojim značajkama mogu podijeliti na tri osnovne skupine – vrste tla: pjeskovita, ilovasta i glinovita tla, pri čemu se glinovita tla označavaju i kao *teška tla*, a pjeskovita kao *laka tla*.

**2.1.2.2 Struktura tla** – pojedine granulometrijske frakcije ili kako se još nazivaju – mehanički elementi, u tlu se ne nalaze odvojeno jedni od drugih, već su povezani u veće nakupine koje čine tzv. strukturne agregate. Ovo je posljedica djelovanja sila privlačenja mase među česticama unutar strukturnih agregata, koje su veće od sila privlačenja između pojedinih agregata. Strukturni agregati, koji mogu biti prirodni i antropogeni, u tlu se nalaze manje - više odvojeni jedni od drugih i svojom veličinom, oblikom, i načinom rasporeda u tlu određuju *strukturu tla*. Razvrstavanje strukture može se provesti na više načina (prema obliku i veličini pora, mikrostrukтури i sl.), a najčešće se razvrstavanje vrši na temelju veličine i oblika strukturnih agregata tj. njihovog promjera<sup>6</sup> i to kako slijedi: *mikroagregati* (do 0,25 mm; *mezoagregati* 0,25-2,00 mm; *makroagregati* 2,00-50,0 mm i *megaagregati* iznad 50,0 mm).

Strukturni agregati se prema obliku dijele na kockaste, prizmatične ili stubaste i plosnate, slika 9, koji se u prirodi međusobno spajaju (agregacija) ili raspadaju (deagregacija) ovisno o danim uvjetima.



[http://vro.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth\\_soil\\_structure](http://vro.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_soil_structure)

Slika 9. Različiti oblici strukturnih agregata (a-kockasti; b-prizmatični ili stubasti i c-plosnati)

Strukturni agregati, slika 10, odlikuju se različitom stabilnošću u vodi i mehaničkom stabilnošću. U vodi stabilni agregati su oni koji se ne raspadaju na mehaničke elemente ili manje agregate, a mehanički stabilni su oni koji se odupiru dazagregaciji mehaničkim silama.

Struktura tla je jedan od najvažnijih čimbenika plodnosti tla jer ovisno o strukturi tla mogu biti prozračna, rahla, rastresita, itd. Pjeskovita tla npr. nemaju strukture jer njihove čestice leže slobodno jedna pored druge, slika 10, dok glinasta i ilovasta tla imaju strukturne agregate različitih veličina i oblika, čija veličina i stabilnost određuju mnoga druga svojstva tla, slika 11.



Slika 10. Izgled neagregiranog pjeskovitog tla<sup>11</sup>



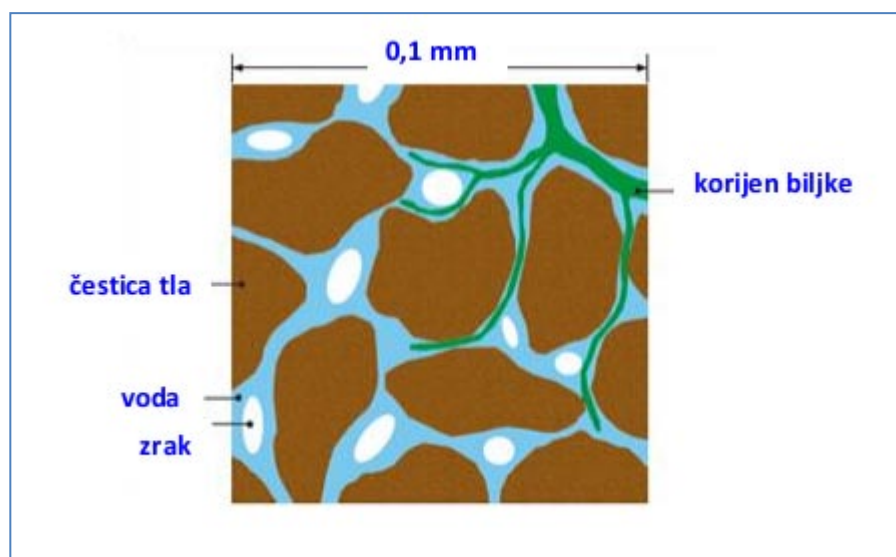
Slika 11. Izgled agregiranog glinovitog tla<sup>11</sup>

**2.1.2.3 Relativna gustoća tla** – relativna gustoća tla je broj koji pokazuje koliko je puta njegova masa veća od mase jednakog volumena vode pri čemu se razlikuje relativna gustoća prava ( $R_{gp}$ ) i relativna gustoća volumna ( $R_{gv}$ ). Naime, kod određivanja  $R_{gp}$  se pore ne uzimaju u obzir, već samo masa krute sastavnice tla, a kod  $R_{gv}$  se pore ne izuzimaju. Vrijednost  $R_{gv}$  je promjenjiva veličina i mijenja se obradom (rahlenjem) i zbijanjem, pa tako npr. tla s većim sadržajem humusa imaju manji  $R_{gv}$  zbog malog  $R_{gp}$  i velike poroznosti. Tla s visokim vrijednostima  $R_{gv}$  su zbijena i loših fizikalnih osobina.

**2.1.2.4 Poroznost tla** – pore ili šupljine u tlu su slobodni prostori između strukturnih agregata, a njihov ukupni prostor tj. sadržaj izražen u volumnim postocima naziva se *poroznost tla* i označava se velikim tiskanim slovom  $P$ , a određuje se prema formuli:

$$P [\%] = \left(1 - \frac{R_{gv}}{R_{gp}}\right) \times 100$$

U porama se može nalaziti zrak, voda ili dijelovi žive prirode, a pore se obično dijele na makropore ili nekapilarne pore promjera  $>10 \mu\text{m}$  i mikropore ili kapilarne pore promjera  $<10 \mu\text{m}$ , koje mogu biti ispunjene zrakom i/ili vodom, slika 12.



<http://www.stevenswater.com/articles/irrigationscheduling.aspx>

Slika 12. Shematski prikaz pora u tlu koji može biti ispunjen vodom i/ili zrakom



Rahlenjem tla mijenja se sadržaj pora u tlu odnosno niže vrijednosti ukupne poroznosti se javljaju zbijanjem tla. Ukupan sadržaj i dimenzije pora utječu na sve sastavnice plodnosti tla (količinu vode i zraka, biološke osobine tla i hranidbeni potencijal tla).

Zrak u porama tla sastoji se od različitih plinova koji dolaze iz atmosfere ili nastaju u različitim mikrobiološko-biokemijskim procesima u tlu. Tako se volumni udjel plinova u tlu kreće u rasponu: N<sub>2</sub> 78-80%; O<sub>2</sub> 0,1-20%; CO<sub>2</sub> 0,1-15%. U tlima male prozračnosti u redukcijskim uvjetima tj. nedovoljne koncentracije kisika u tlu, mogu nastati i relativno male količine NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub> i drugih plinova.

**2.1.2.5 Temperatura tla** – sunčeva energija je glavni izvor zagrijavanja tla, pri čemu samo 1/3 ukupne emitirane sunčeve energije dopiže na površinu tla. Energija upijena u tlo zagrijava krute, tekuće i plinovite sastavnice tla i širi se od površine prema dubljim dijelovima. Količina topline kao i brzina širenja topline u tlu ovisi o položaju, godišnjem dobu, vrsti pokrova i sl. Zagrijavanje tla u ljetnim mjesecima je znatno jače nego zagrijavanje zraka, a u proljeće se zagrijavanje tla odvija od površine prema dubljim slojevima, dok u jesen taj proces teče obrnuto tj. najkasnije se hlade dublji dijelovi tla. Toplina je od posebne važnosti za aeraciju tla, kretanje vlage u tlu, klijanje i nicanje bilja i niz drugih aktivnosti.

Dnevna kolebanja temperature<sup>12</sup> bilježe se od same površine do dubine od 60 cm, pa je tako najveća amplituda dnevnog kolebanja na samoj površini tj. dubini od nekoliko cm i može biti od 20-40°C. Prema većim dubinama u tlu kolebanja temperature se postupno smanjuju i iznose npr. na dubini od 30 cm oko 3°C, dok na dubini od 60 cm nisu veća od 1°C.

Sezonska kolebanja temperature tla su puno manja i prije svega ovise o klimi nekog područja. Dubina do koje se osjećaju sezonske promjene temperature je najveća u hladnim kontinentalnim područjima i iznosi do 20m, a najmanja u tropima i iznosi do 10 m. U našem podneblju, razlika između srednje ljetne i srednje zimske temperature u gornjih 100 cm tla iznosi oko 5°C.

Iz dostupnih literaturnih izvora<sup>13,14</sup>, za razdoblje 1951.-1975. i 1961.-2009. godine srednje mjesečne temperature tla u R. Hrvatskoj na dubini od 5 cm kretale su se u ljetnim mjesecima od oko 22°C do oko 27°C. Najniže vrijednosti su na toj dubini zabilježene u siječnju, a kretale su se od 0.1°C do 6.5°C. Na dubini od 20 cm najviše srednje mjesečne temperature bile su uglavnom ljeti i kretale su se od 20°C do 26°C, a najniže srednje mjesečne temperature na dubini od 30 cm bile su u siječnju i kretale su se od 1,7°C do 8,1°C. Danas se temperature tla u Hrvatskoj mjere<sup>15</sup> na 58 meteoroloških postaja i to na dubinama 2, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 cm.

### 2.1.3 Kemijske značajke tla

Kemijske značajke tla posljedica su velikog broja raznovrsnih pedogenetskih procesa i predstavljaju vrlo važan čimbenik plodnosti tla te izravno utječu na biološke, mehaničke i fizikalne značajke tla i plodnost tla. Kemijskim procesima u tlu iz primarnih minerala nastaju novi spojevi, ovisno o danim uvjetima temperature, vlažnosti i tlaka, pri čemu se neki od nastalih spojeva nepovratno gube u procesima ispiranja tla, a neki se uključuju u geokemijske ili biološke cikluse pa se brojnim daljnjim transformacijama vraćaju u tlo.

Najvažnija kemijska sastavnica tla je *humus*.

**2.1.3.1 Humus u tlu** – pod humusom kao specifičnom organskom tvari tla koloidnog karaktera, podrazumijeva se sva mrtva organska tvar u tlu koja je nastala nepotpunom razgradnjom u procesima *humifikacije* biljnih, životinjskih ostataka te mikroorganizama. Humus je stabilna amorfna, smeđa do crna smjesa koloidnih supstanci vrlo složenog sastava, koji se ne može izraziti jedinstvenom kemijskom formulom. Primarno sadrži<sup>16</sup> ugljik u koncentraciji od 52-60%, kisik 32-38%, vodik 3-4%, dušik 4-5%, fosfor 0,4-0,6%, sumpor 0,4-0,6% i huminske tvari koja uključuje *fulvo kiseline*, *huminske kiseline* i *humine*. S obzirom na sadržaj pojedinih frakcija, razlikujemo dva osnovna oblika humusa: *blagi* ili *zreli* humus te *kiseli* ili *sirovi* humus. Blagi ili zreli humus pretežito se sastoji od huminskih kiselina i njihovih soli, otporan je na razgradnju i tlu osigurava najbolje kemijske, fizikalne i biološke značajke (poboljšava agregaciju, vodni kapacitet, otpornost prema eroziji; povećava pristupačnost hranjiva za rast biljaka, izvor je N, P i S; izvor je energije za mikro i makro organizme, povećava mikrobiološku raznolikost itd.) Kiseli ili sirovi humus nastaje sporom humifikacijom u uvjetima hladne i vlažne klime, niskog pH tla, a organski ostaci su siromašni bazama i dušikom. Kiseli ili sirovi humus je nepovoljan oblik humusa.

Između ova dva oblika humusa postoji više prelaznih oblika, čije značajke i utjecaj na tlo ovise o nizu različitih čimbenika (osobine tla, vrsta vegetacije, broj i vrsta mikroorganizama i dr.).

**2.1.3.2 Sorptivna sposobnost tla** – je vrlo važna značajka tla koja uglavnom ovisi o teksturi tla, a predstavlja sposobnost tla da u sebi veže i zadržava različite tvari – ione i molekule u otpini tla, koloidne čestice suspendirane u vodi, čestice većih dimenzija i mikroorganizme koji žive u tlu. Mehanizmi tog vezanja mogu biti mehanički, fizikalni, kemijski, fizikalno-kemijski i biološki.

- **mehanička sorpcija** – je zadržavanje čestica u tlu čije su dimenzije veće od dimenzija pora te im je onemogućeno kretanje kroz tlo tj. tlo sa svojim sustavom pora djeluje kao prirodni filter. Ova sorpcija ima pozitivnu ulogu jer zadržava glinovitu frakciju i smanjuje vodopropusnost.
- **fizikalna sorpcija** – je proces fizikalnog vezanja molekula plinova ili u vodi otopljenih molekula na koloidne čestice tla. Ovo vezanje se događa pod utjecajem sila površinskog privlačenja koje nastaju na granici između



krute i tekuće faze tla. Na ovaj način se oko krutih čestica nagomilavaju tvari koje smanjuju površinski napon, a smanjuje koncentracija tvari koje ga povećavaju (nitrati i kloridi).

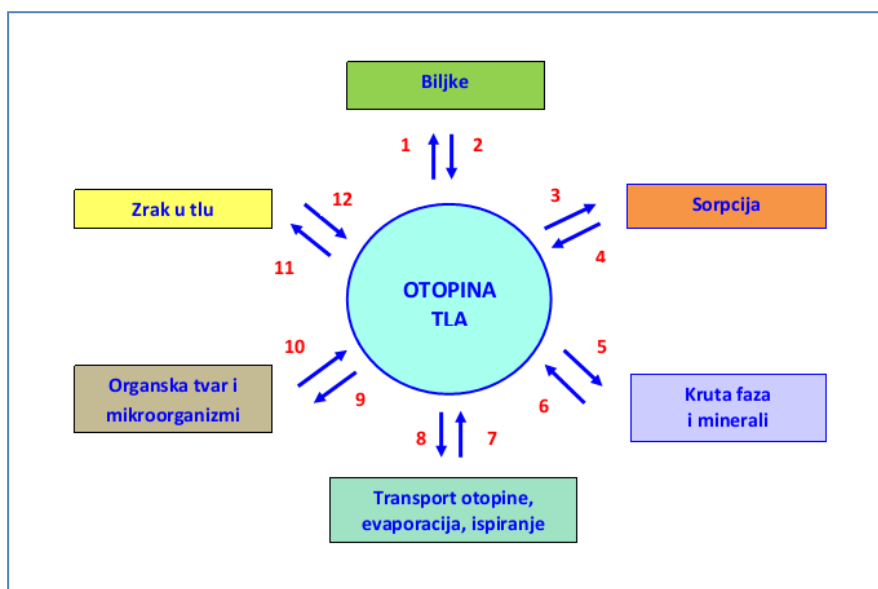
- **kemijska sorpcija ili kemisorpcija** – je proces transformacije kemijskim putem lakotopljivih spojeva u teže topljive spojeve ili pak kada ti spojevi stupaju u reakciju s kationima vezanim u adsorpcijskom kompleksu tla. Kemijska adsorpcija obično je ireverzibilna, ostvaruje se kemijskim vezama pri čemu nastaje monomolekularni sloj novog kemijskog spoja koji dobro prijanja uz površinu i teško se od nje odvaja. S obzirom na tendenciju ka kemisorpciji spojevi u tlu se dijele u tri skupine i to:
  - spojevi koji se kemijski *ne sorbiraju* jer se ne mogu vezati u teže topljive oblike (kloridi, nitrati i nitriti);
  - spojevi koji se kemijski *slabo sorbiraju* (sulfati) i
  - spojevi koji se kemijski *jako sorbiraju* (fosfati, karbonati i silikati).
- **fizikalno-kemijska sorpcija** – sastoji se u tome što je tlo u stanju zamijeniti jedan dio svojih kationa s ekvivalentnom količinom kationa iz otopine tla. Naime, to je proces u kojem se na površinu koloidne čestice negativnog naboja fizikalno-kemijskim silama vežu kationi iz otopine tla i to tako da ih biljka preko korijena može primati. Svi organski i mineralni koloidi koji imaju sposobnost sorpcije kationa nazivaju se adsorpcijski ili kationsko-izmjenjivački kompleks tla<sup>6</sup>. Ovaj adsorpcijski kompleks utječe na mnoge osobine tla, opskrbu biljaka biogenima elementima, a vrlo važna činjenica je da utječe i na mogućnost vezivanja onečišćujućih tvari.
- **biološka sorpcija** – je pojava kada biljka iz otopine tla prima hraniva i druge tvari u ionskom obliku ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , itd.) i tako akumulira biogene elemente u netopljivi organski oblik, a sve se događa uz sudjelovanje viših biljaka i mikroorganizama. Jedna od vrlo važnih značajki ovog oblika sorpcije je pojava selektivnosti, a sastoji se u tome što korjenov sustav živih biljaka i mikroorganizmi apsorbiraju iz tla mineralne spojeve koji im služe za ishranu.

**2.1.3.3 Kemijski sastav tekuće faze tla** – Za vodu u tlu se ne može reći da se nalazi u čistom stanju (bez boje, okusa i mirisa), jer uvijek, makar i u malim količinama sadrži otopljene različite tvari, pa se može reći da je voda u tlu zapravo otopina ili suspenzija tla<sup>17</sup>. Naime, voda koja u obliku padalina dopiše na tlo, na svom putu kroz atmosferu prima i otapa različite plinove, prašinu, čađu i soli koje joj mijenjaju kemijski sastav. Kemijski sastav ove vode se nastavlja mijenjati svojim prolaskom kroz tlo, s obzirom da stupa u niz reakcija s krutom i plinovitom fazom tla, obogaćujući se mineralima i tvarima iz tla.

Tako nastala vodena otopina tla predstavlja vrlo dinamičan sustav u kojem se odvija niz reakcija<sup>18</sup> unutar tekuće faze, slika 13, a što ovisi o nizu čimbenika.

Na slici 13 je prikazana dinamička ravnoteža reakcija u tlu gdje iz vodene otopine tla biljke uzimaju ione (1), a nakon razgradnje ostataka biljke, nastali produkti ulaze u otopinu tla (2). Ione iz otopine tla može vezati adsorpcijski kompleks tla, dakle glina i organski koloidi (3), a one desorpcijom mogu biti vraćene u otopinu tla (4). U uvjetima prezasićenosti otopine bilo kojim kationom, isti se može istaložiti (5) sve dok se ne postigne ravnoteža, a jednako tako, ako otopina nije prezasićena, on može biti otopljen i preći u otopinu tla (6). Ioni iz otopine mogu ispiranjem biti transportirani kroz masu tla do podzemnih voda (7), a jednako tako zbog sušenja tla evaporacijom i transpiracijom dolazi do kapilarnog dizanja vode i u njoj otopljenih iona do površine (8). Slično biljkama, i mikroorganizmi mogu biti konzumenti iona biogenih elemenata iz otopine tla (9), a ugibanjem organska tvar njihove mase bude razgrađena, pri čemu se ioni oslobađaju i vraćaju natrag u otopinu tla (10). Plinovi mogu biti sastavni dio zraka u tlu (11) ili biti otopljeni u otopini tla (12).

Sadržaj otopljenih tvari u otopini tla izražava se u  $mg/l$  ( $mg/dm^{-3}$ ) ili u masenim postotcima u odnosu na tlo. Koncentracije otopljenih tvari variraju, a njihove promjene su ovisne o uvjetima u tlu i intenzitetu procesa otapanja minerala, adsorpcije, desorpcije, ispiranja ili fiksacije. I mehanički sastav tla posredno utječe na satav otopine tla jer vrijedi pravilo da se lakša tla, u odnosu na teška, lakše i brže ispiru<sup>6</sup>.



Slika 13. Prikaz ravnotežnog stanja otopine tla<sup>18</sup>

**2.1.3.4 Reakcija tla** – je vrlo važna značajka tla jer izravno utječe na kemijske procese u tlu i ishranu bilja, odnosno pristupačnost biogenih elemenata i životne funkcije organizama tla. Među mnogim procesima koji se odvijaju u otopini tla, jedan od vrlo značajnih za vodenu otopinu svakako je disocijacija kiselina i njihovih soli, odnosno baza i njihovih soli, pri čemu se oslobađaju  $H^+$  (ioni vodika) i  $OH^-$  (ioni hidroksilne skupine).

Ovisno o koncentraciji  $H^+$  odnosno  $OH^-$  iona otopina tla može biti kisela, ako dominiraju vodikovi ioni, neutralna ako im je koncentracija izjednačena, ili lužnata, ako u otopini prevladavaju hidroksilni ioni.

Reakcija otopine tla se kvantitativno izražava u *pH* jedinicama. Ako se u 1 litri otopine tla nalazi manje od  $10^{-7}$  vodikovih iona ( $H^+$ ), ona će biti bazična (lužnata), a ako ih ima više, takva će otopina biti kisela. Dakle, vrijednost  $pH < 7$  označava kiselu reakciju, a  $pH > 7$  označavaju bazičnu (lužnatu reakciju). Iako vrijednost  $pH = 7$  označava neutralnu otopinu, sa stajališta kemije tla, neutralna vrijednost reakcije tla<sup>6,10</sup> kreće se u području *pH* vrijednosti od 6,5 do 7,2.

Povećanje kiselosti tla (višak  $H^+$  iona) u otopini tla posljedica je disocijacije slabih anorganskih i slabih organskih kiselina (ugljične, sulfite, ...) koje u tlo mogu dospjeti iz atmosfere kišnicom (tzv. kisele kiše), ili pak primjenom fiziološki kiselih gnojiva.

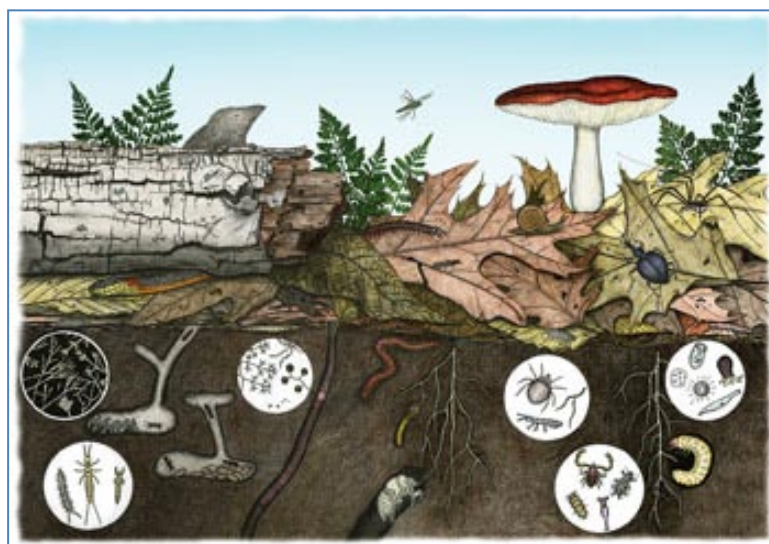
Porast koncentracije  $OH^-$  iona u tlu obično je posljedica disocijacije lužina, bazičnih soli (prije svega Na-, Ca- i Mg-karbonata i bikarbonata) u procesu adsorpcije  $Na^+$  iona na kolidnom kompleksu tla te disocijacije u vodi otopljenog amonijaka ( $NH_3$ ).

Koncentracija  $H^+$  odnosno  $OH^-$  iona je promjenjiva veličina i različita je za različite tipove tala, i ona se zna razlikovati u pojedinim horizontima istog profila tla, a mijenja se i u toku godine. To je i za očekivati, s obzirom na to da različiti utjecaji na tlo pojedinačno ili u kombinaciji više njih određuju kemijsku reakciju otopine tla, a oni mogu biti: različito pritjecanje vode u tlo, vrlo dinamični procesi transformacije i premještanja mineralne i organske sastavnice tla, promjenjiva aktivnost organizama u tlu (disanje i produkcija  $CO_2$ ), kapacitet i stanje zasićenost adsorpcijskog kompleksa tla, te antropogeno djelovanje na tlo (agrotehničke mjere, navodnjavanje, gnojidba) itd.

Vrlo je važna kiselost tla, koja može izazvati poremećaj ishrane bilja, jer blokira hranjiva u tlu, tako da ih biljke ne mogu primati. Jednako tako, ako je vrijednost  $pH > 7,5$  radi se se o bazičnoj reakciji. I u ovom slučaju dolazi do poremećaja primanja hraniva od strane biljaka. Vrijednosti *pH* u obrađenim tlima kreću se u rasponu  $pH 5,0 - pH 8,0$ . U slučaju odstupanja od tog intervala u poljoprivrednim tlima moguće je izvršiti korekciju reakcije tla kalcizacijom (dodavanje vapnenih materijala) čime se kisela reakcija popravljiva do neutralne, a sadrenjem (dodavanje sadre) to se postiže u bazičnim tlima. U našim poljoprivrednim tlima češća se javlja prekomjerna kiselost pa stoga treba primijeniti mjeru kalcizacije, odnosno primjenu vapnenog materijala kako bi se smanjila kiselost tla.

### 2.1.4 Biološke značajke tla

Biološke značajke oslikavaju podobnost tla kao staništa za raznoliki živi svijet, jer je tlo velika životna zajednica, u kojoj su svoje stanište našle mnogobrojne biljke i životinje. Vrlo grubim razvrstavanjem ih možemo razvrstati u dvije skupine i to na makroorganizme, koji su vidljivi našim okom, i mikroorganizme, koji nisu vidljivi, kako je to i prikazano<sup>19</sup> na slici 14. Njihov broj može dostići i nekoliko milijardi u samo jednom gramu tla, a među njima najbrojniji pripadaju u slijedeće grupe: bakterije, alge, gljive, protozoe, insekti.



Slika 14. Živi svijet na tlu i u tlu<sup>19</sup>

Tlo je stanište i genski rezervat brojnih mikro i makro organizama, odnosno pedoflore i pedofaune, pa se obično kaže da je tlo početna i završna točka bioloških kruženja te rezervat gena i temelj biološke raznolikosti. Broj živih organizama ispod površine tla višestruko je veći nego na površini tla, o čemu rječito govori podatak da dobro, plodno tlo u oraničnom sloju sadrži oko 25 t/ha živih organizama, od toga 10 tona bakterija i aktinomiceta, 10 tona gljivica, 4 tone kišnih gujavica, a jednu tonu ostalih organizama, među kojima čitav niz izuzetno korisnih<sup>7,20</sup>. Mnogi živi organizmi u tlu nisu puno veći od glave pribadače, a njihova brojnost se može slikovito prikazati podatkom da jedna jušna žlica tla sadrži oko 50 milijardi mikroba, ili procjenom<sup>21</sup> da se u svakom gramu tla nalazi oko  $3 \times 10^6$  do  $5 \times 10^8$  bakterija;  $10^6$  do  $2 \times 10^7$  aktinomiceta;  $5 \times 10^3$  do  $10^6$  gljivica;  $10^3$  do  $10^6$  kvasca;  $10^3$  do  $5 \times 10^5$  protozoa;  $10^3$  do  $5 \times 10^5$  algi i oko 10 do  $5 \times 10^3$  nematoda.

Plodno tlo se odlikuje visokom biogenosti, biološkom aktivnosti i biološkom raznolikošću pa tako vrijedi što je tlo plodnije, to je ukupni broj organizama i njihova raznolikost veća. Važno je napomenuti, da ovaj živi svijet koji živi u tlu i na tlu se ne smatra dijelom tla – pedosfere, već pripada biosferi<sup>6</sup>, iako ima značajan utjecaj na tlo i njegove značajke.

Organizmi tla (flora i fauna) tijekom svog životnog ciklusa vrše izmjenu tvari i energije odnosno sudjeluju u različitim procesima transformacije organske i mineralne tvari. Tako npr. *trave* svojim gustim žiličastim korijenovim sustavom dobro prožimlju tlo i čimbenik su tvorbe stabilne mrvičaste strukture tla. Akumuliraju velike količine biogenih elemenata u površinskom, humusnom horizontu i čuvaju ih od ispiranja.

U odnosu na travne biljne zajednice, *šume* ostavljaju manje organskih ostataka i tvore šumsku prostirku – *listinac*, koji upija velike količine vode i onemogućava njeno otjecanje po površini, pa na taj način umanjuje erozijske procese. Listinac regulira toplinski režim tla, a kroz procese humifikacije i mineralizacije sudjeluje u tvorbi humusa i oslobađanju biogenih elemenata.

*Kulturne biljke* za razliku od prirodne vegetacije ne vraćaju svu organsku tvar tlu<sup>22</sup> na koje su rasle, jer se pri uzgoju kulturnog bilja iz tla iznose velike količine hranjiva, pa tako tlo osiromašuje biogenim elementima. S druge strane, intenzivnom obradom tla pospješuju se aerobni procesi njegove mineralizacije i na taj način smanjuje sadržaj humusa u tlu.

U *mikrofaunu* tla ubrajaju se nematode, protozoa i rotatoria, a zadaća im je razgraditi organsku tvar i miješati ju s mineralnom komponentom.

U *mikroorganizme* se ubrajaju bakterije, aktinomiceti, gljive i alge, a sudjeluju u različitim procesima transformacije organske tvari.

*Makrofauna*, naročito kišne gliste kao najzastupljenija vrsta u vlažnim tlima sudjeluje u tvorbi stabilne strukture tla, miješa i prozračuje tlo. U tlu se nalazi 10 – 1000 kg/ha žive organske tvari kišnih glista. U suhim tlima, rad glista zamjenjuju grinje, stonoge i insekti, a od sisavaca prevladavaju tekunica, hrčak, jazavac, krtica i poljski miš.

### 2.1.5 Plodnost tla

Plodnost tla je njegova sposobnost da biljkama osigura potrebne hranjive elemente, vodu, zrak, toplinu, odnosno da osigura sve povoljne uvjete za razvoj korjenovog sustava, dok se plodnost *netaknutog* ("djevičanskog") tla može definirati kao njegov kapacitet da zadovolji potrebe prirodne uravnotežene populacije<sup>23</sup>.

Pod pojmom *plodnost tla* podrazumijevamo sposobnost tla da biljkama osigura pogodne uvjete za njihov razvoj, a to su hranjive tvari, voda, zrak, toplina<sup>6,7,24</sup>, pa je prema tome vrlo važna za osnovnu proizvodnju organske tvari, kao ključnog procesa za život na Zemlji. Značajke tla ključne za njegovu plodnost, mogu se mjeriti, kvantificirati i na temelju toga ocijeniti plodnost tla.

Plodnost tla se dijeli na više načina, pa se tako npr. prema našem tloznanstveniku akademiku M. Gračaninu (1901.-1981.) dijeli na *potencijalnu* i *efektivnu* plodnost<sup>25</sup>:

- **potencijalna plodnost** – ili ukupna plodnost je definirana ukupnim sadržajem vode, zraka i biljnih hranjiva u tlu i toplinskim prilikama tla.
- **efektivna plodnost** – predstavlja količinu biljci pristupačne vode, zraka i biljnih hranjiva, dakle sposobnost da osigura biljkama uvjete za rast i razvoj. Najpoudanije mjerilo efektivne plodnosti tla je veličina *prinosna* kultura na nekom tlu uz određene klimatske prilike i njegu, pa se često naziva i *produktivnost* tla.

V. Mihalić i F. Bašić u svojoj knjizi<sup>26</sup> pojašnjavaju tzv. Edelmanovu podjelu plodnosti tla na *primarnu, prirodnu, tradicionalnu i tehnološku* (plodnost poremećenih tala):

- **primarna plodnost** – predstavlja plodnost tzv. "djevičanskog" tla nakon privođenja kulturi uklanjanjem prirodne vegetacije, kratkotrajna je, a nakon njenog iscrpljivanja mineralizacijom humusa akumuliranog pod prirodnom vegetacijom slijedi prirodna plodnost.
- **prirodna plodnost** – preostaje nakon iskorištenja primarne plodnosti i to je plodnost većine tala u *eksploataciji*. Ovisi o tipu tla, dubini tla, reljefu, teksturi, građi profila, dreniranosti, itd. Na oraničnim tlima prirodna plodnost je glavni pokazatelj sposobnosti tla kao supstrata za uzgoj kultura.
- **tradicionalna plodnost** – predstavlja plodnost tla pod tradicionalnim korištenjem, nakon duže uporabe stajskog gnoja, uzgoja djetelinsko-travnih smjesa, leguminoza – tradicionalnih sustava zahvata na tlu.
- **tehnološka plodnost** – se temelji na primjeni modernih sredstava i znanstvenih rješenja u uzgoju bilja; suvremene mehanizacije, melioracijskih zahvata odvodnje i navodnjavanja, mineralnih gnojiva i sredstava za zaštitu bilja.

### 3. ULOGA TLA U OKOLIŠU

Tlo je prirodni, uvjetno obnovljivi resurs u kojem je moguća vrlo brza degradacija, međutim čije je nastajanje i regeneracija vrlo spora, o čemu korisnik tla treba voditi brigu bez obzira na način korištenja tla. Prema svojim značajkama tlo je višenamjensko dobro, čije gospodarenje mora biti usklađeno s konceptom Međunarodne konferencije održane u Maastrichtu 1999. u organizaciji FAO i Nizozemske vlade, pod nazivom Višenamjensko obilježje poljoprivrede i tla – VOPT (engl. *Multifunctional character of agriculture and land – MFCAL*). Naime, tlu je nakon niza godina, osim proizvodne uloge, posvećena pozornost kao prirodnom dobru koje ima i druge ne manje važne uloge, poput ekološko-regulacijske, biološko-regulacijske, uloge prirodne pohrane (skladištenja) tvari, prostorne uloge tla, uloge oblikovanja krajobraza te konzervacijsko-arhivske uloge<sup>7,20</sup>.

U prilog ovom govori i niz literaturnih podataka<sup>27-31</sup> o interesu znanstvene javnosti koja u posljednjih desetak godina intenzivnije proučava, uz proizvodnu ulogu, i ostale uloge tla.

Koncept koji polazi od činjenice da tlo ima višenamjenske uloge, sadržan je i dokumentima pravne stečevine EU, gdje se tlu i njegovoj zaštiti daje pozornost, iako neki tvrde nedovoljna. Naime, još 2006. godine izrađen je prijedlog<sup>32</sup> Direktive Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju okvira za zaštitu tla i izmjenama Direktive 2004/35/EC (engl. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC*) u kojem je utvrđen okvir zaštite tla i osposobljavanje tla za obavljanje svih okolišnih, gospodarskih, društvenih i kulturnih uloga.



### 3.1 Proizvodno gospodarska uloga tla

#### 3.1.1 Primarna proizvodnja organske tvari

Najvažnija, nezamjenjiva i primarna uloga tla je njegova proizvodna uloga, odnosno opskrba biljke vodom, zrakom i hranjivima, što omogućuje proizvodnju biomase – organske tvari procesom fotosinteze koji je ključni proces za život na Zemlji - slika 15. U toj ulozi tlo je nezamjenjiv čimbenik održavanja prirodne i kulturne vegetacije, dakle poljoprivrede i šumarstva - gospodarskih grana koje su oslonac održivog razvitka. Proizvodnjom organske tvari u ovim gospodarskim granama čovjek podmiruje svoje prehrambene i neprehrambene potrebe, slika 16, tj. opskrbljuje se hranom (kruh, meso, voće, povrće), sirovinama za izradu odjeće i obuće (vuna, koža, lan, konoplja), lijekovima i začinima (ljekovito i začinsko bilje), energijom (uljarice, ogrijevno drvo, alkohol, biodizel), itd.



<http://likovna-kultura.ufzg.unizg.hr/jedinice.17.htm>  
<http://www.os-skolara-hercegovac.skole.hr/ivotinjsko-carstvo/biljni-svijet>  
<http://www.turizamvukovar.hr/index.php?stranica=18>  
<http://www.ljepota.ba/novost/22105/Naizagaenije-voe-i-povre>

Slika 15. Tlo kao "kolijevka" organske tvari – života na Zemlji



<http://www.jutarnji.hr/eu-otkrila-da-je-biodizel-iz-soje-stetniji-od-nafte-/738612/>  
<http://okusno.ie/clanek/zdravo/tip-prehranjevanja/kaj-lahko-jemo-namesto-mesa.html>  
<http://www.kosulje.rs/vuneni-dzemperi-materijal-i-kvalitet/>  
<http://durmitor.wordpress.com/2011/03/23/moc-ljekovitog-biljazastite-zdravlje-prirodnim-antibioticima/>

Slika 16. Tlo kao medij za podmirenje čovjekovih prehrambenih i neprehrambenih potreba

U prilog značaju tla kao medija za podmirenje čovjekovih prije svega prehrambenih, a zatim i drugih potreba, govori i podatak da se danas oko 95 % hrane koja stiže na naš stol proizvodi na tlu<sup>20</sup>. Iako se danas za korištenje tla u navedenim gospodarskim granama koriste napredne tehnologije i suvremeni procesi obrade, još uvijek gospodarenje tlom nije na potrebnoj razini i njegova zaštita nije dovoljna, što potvrđuje i činjenica da je tlo kao sastavnica ekosustava tj. njegovo korištenje i zaštita u središtu interesa znanstvenika širom svijeta.

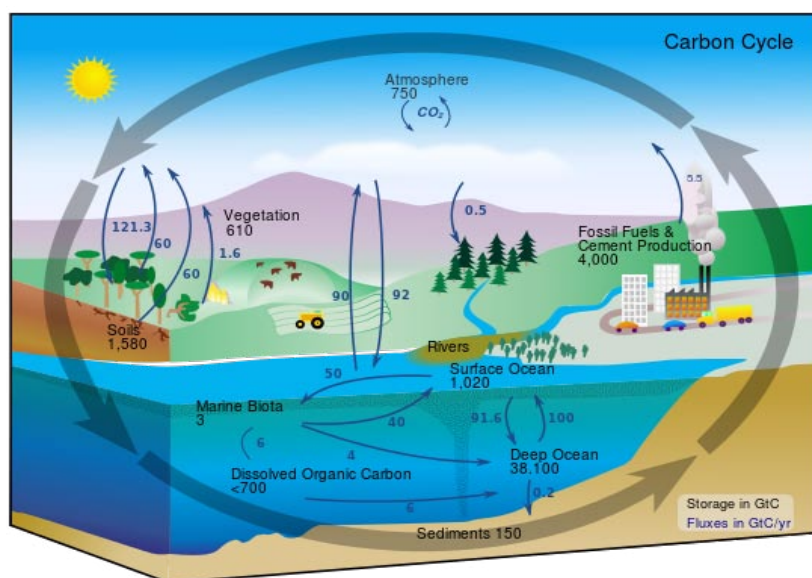
## 3.2 Ekološko-regulacijska uloga tla

### 3.2.1 Klimatsko-regulacijska uloga

Tlo zauzima značajno mjesto u biološkom kruženju tvari i energije i predstavlja početnu i završnu kariku u lancu biotransformacije organskog ugljika te snažno utječe na sadržaj i ukupnu količinu kako CO<sub>2</sub> tako i drugih stakleničkih plinova. Naime, sloj humusa na našem planetu ili *humosfera* koja je treći po redu rezervoar ugljika i sadrži 23x10<sup>14</sup>kg (2300 Gt) ugljičnog dioksida, odmah poslije oceana koji sadrži najviše tj. 38x10<sup>15</sup>kg (38000 Gt) i litosfere koja sadrži 5x10<sup>15</sup>kg (5000 Gt). Ovaj humosferin rezervoar ugljika je u izravnoj vezi s rezervoarom *biosfere* koji sadrži ugljik u količini od 6x10<sup>14</sup>kg (600 Gt) i *atmosfera* sa njenih 77x10<sup>13</sup>kg (770 Gt) ugljika<sup>33</sup>, slika 17.



U ovim sastavnicama biosfere, svakodnevno se događaju promjene sadržaja ugljika odnosno ugljikova dioksida i to zbog dobro poznatih procesa fotosinteze kojim biljke pretvaraju  $\text{CO}_2$  u organsku tvar, zatim razgradnje organske tvari i vraćanja  $\text{CO}_2$  u atmosferu<sup>34</sup>, kao i zbog djelovanja metabolita faune tla, poljoprivredne djelatnosti, onečišćenja tla iz različitih izvora itd.



Slika 17. Globalni biogeokemijski ciklus ugljika<sup>33</sup>

Značaj tla i njegova klimatsko-regulacijska uloga se može ilustrirati slijedećim primjerom<sup>35</sup>: Ako se s jednog hektara oranične površine odvoji površinski sloj tla do 30 cm, to odgovara količini tla od  $3.000 \text{ m}^3$  ili masi od 4.000 t (spec. tež. tla  $\sim 1,3 \text{ kgdm}^{-3}$ ). Ako je sadržaj humusa u tome tlu 2,5 %, što je realna vrijednost, tada bi u sloju tla od 30 cm po hektaru bilo čak 100 tona humusa. Pretpostavimo li da ovaj humus sadrži 58 % ugljika, to će u tih 100 tona po hektaru u površinskom sloju tla biti vezano 58 tona ugljika što odgovara količini od 212 t  $\text{CO}_2/\text{ha}$ . Na temelju ovakvih izračuna, pojavila se i zamisao koja je u početku izgledala obećavajuće i vizionarski, a temeljila se na mjerama za povećanjem sadržaja humusa u tlu koji bi vezao  $\text{CO}_2$ , što bi predstavljalo jedan od načina zaštite klime. No, ova zamisao je imala i ograničenja u vidu bioloških barijera koje su se ogledale u činjenici da se sadržaj humusa ne može povećavati unedogled kao i to i da je sustavno povećanje sadržaja humusa složen i dugotrajan proces.

Ovdje je napomenuti da, iako humus akumulira ugljik, a time i  $\text{CO}_2$ , sustavnom proizvodnjom humusa se ne može spasiti (svjetska) klima, ali se može poboljšati "poljoprivredna bilanca", jer se u humusu može vezati jedan dio  $\text{CO}_2$  nastalog u poljoprivrednim aktivnostima. Stoga, zaštita klime će biti učinkovitija ako i drugi sektori (promet, industrija, proizvodnja energije) na održiv način reduciraju emisije  $\text{CO}_2$  iz svojih djelatnosti, jer se ne smije zaboraviti da tlo ima svoju funkciju i značenje u skladištenju ugljika – no, ne treba ju precjenjivati.

### 3.2.2 Tlo kao prijemnik (receptor), sakupljač (akumulator)

S obzirom na položaj tla između litosfere i atmosfere, izravan dodir s hidrosferom i antroposferom, odnosno biosferom, tlo je prijemnik (akceptor) niza različitih tvari koje na njega dospjevaju iz atmosfere oborinama ili gravitacijskim taloženjem (kisele kiše i suha depozicija – prašina) ili ih čovjek hotimice i manje-više nekontrolirano unosi pri uporabi tla u izgradnji i korištenju infrastrukture (onečišćenje tla ispiranjem autocesta) ili pak korištenjem tla u poljoprivredne svrhe (sredstva za zaštitu bilja, gnojiva), slika 18. Sve ove onečišćujuće tvari su ekološki relevantne za sve sastavnice biosfere i okoliša uopće.

Ovoj skupini tvari pripadaju na prvom mjestu teške kovine i sva organska onečišćenja iz industrije, ali i niz sredstava koja se koriste u poljoprivredi kao što su biljna hranjiva unijeta u tlo gnojidbom, kao i ostaci sredstava za zaštitu bilja.

Posebno mjesto u onečišćenju tla zauzimaju industrijska postrojenja koja svojim emisijama ispuštaju u okoliš različite prašine koje su obično različita kruta onečišćenja poput spojeva metala i nemetala (oksidi, karbonati, hidroksidi, ...) te plinovita onečišćenja poput  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , itd. Posebno značajno mjesto zauzimaju teški metali i njihovi spojevi kao i niz organskih onečišćenja poput benzena, fenola, policikličkih aromatskih ugljikovodika, polikloriranih bifenila (PCB), polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina (PCDD), polikloriranih dibenzofurana (PCDF), itd.



<http://www.jutarnji.hr/cestice-cade-zavile-u-crno-vrtove-i-automobile-u-sisku/289090/>

<http://www.klix.ba/forum/racija-bih-izgradnja-autoputeva-i-ekologija-t54798.html>

<http://www.scoop.it/t/fertilizers-industry/p/2545164454/2012/08/30/law-would-reduce-phosphorus-in-fertilizers>

<https://www.google.hr/#q=acid+rain+photos>

Slika 18. Neki od izvora onečišćenja tla  
(industrijska prašina, kisele kiše, mineralna gnojiva,...)

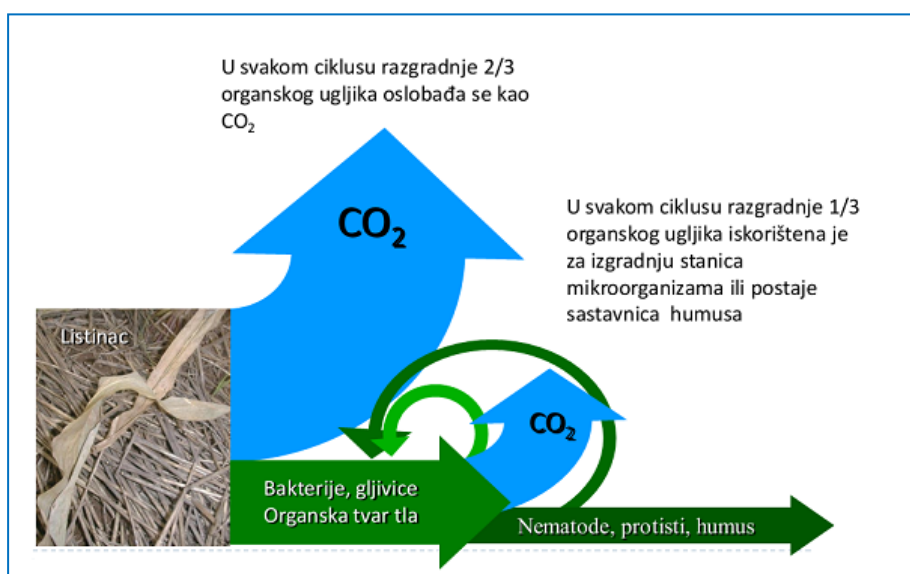
Zahvaljujući mehaničkoj, fizikalnoj i fizikalno-kemijskoj sorpciji mnoge od navedenih onečišćujućih tvari se mogu nakupljati u tlu pa tako tlo postaje medij koji ima ulogu sakupljača (akumulatora). Onečišćujuće tvari iz tla mogu dospjeti u druge sfere, primjerice u hranidbeni lanac – biosferu ili ispiranjem dospjevaju u podzemne vode, te na taj način tlo postaje izvor onečišćenja.

Veliki broj onečišćujućih tvari u tlu, mogu zaostati u tlu ili se akumulirati u sedimentima pa otuda dospjeti izravno u prehranbeni lanac. Također se mogu isprati oborinama i dospjeti u vodene tokove, a otuda i u pitku vodu te izazvati velike zdravstvene smetnje u ljudi, odnosno životinja. Zbog toga se danas poduzima niz mjera i postupaka kojima se tlo, a i cijeli okoliš nastoji zaštititi od daljnjeg onečišćenja posebice postojanim organskim tvarima kao što je većina pesticida. O razinama postojanih organo kloriranih spojeva u tlu u našoj zemlji relativno je malo podataka, jer se do nedavno nisu provodila sustavna ispitivanja.

Neki literaturni podaci<sup>36-38</sup> određivanja ukupnih PCB-a u uzorcima površinskih tala, pokazali da su u većini uzoraka skupljenih u urbanim i ruralnim područjima maseni udjeli PCB-a karakteristični za globalno onečišćenje okoliša (<10 µg/kg suhog uzorka) dok su više koncentracije određene u tlima u neposrednoj blizini transformatorskih stanica, osobito onih razore-nih tijekom Domovinskog rata, zatim aerodroma i u industrijskim područjima.

### 3.2.3 Tlo kao prirodni izmjenjivač (transformator)

Sve tvari koje tlo akumulira vežu se u njemu stanovito vrijeme i pri tome su izložene mikrobiološkoj razgradnji, transformaciji i sintezi u nove spojeve, ili pak razgradnji do tvari s kojima je počela fotosinteza, a to su CO<sub>2</sub> i voda, slika 19, kao prva i posljednja karika u ciklusu malog ili biološkog kruženja tvari i energije. Zahvaljujući sposobnosti transformacije tlo razgrađuje sve posliježetvene ostatke na poljoprivrednim tlima, masu lišća listopadnih vrsta i iglica četinjača u šumskim ekosustavima.



[http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec\\_001/ins\\_001/pedologija/004%20Organizmi%20i%20organska%20tvar-razgradnja.pdf](http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec_001/ins_001/pedologija/004%20Organizmi%20i%20organska%20tvar-razgradnja.pdf)

Slika 19. Shematski prikaz razgradnje organskih ostataka tla

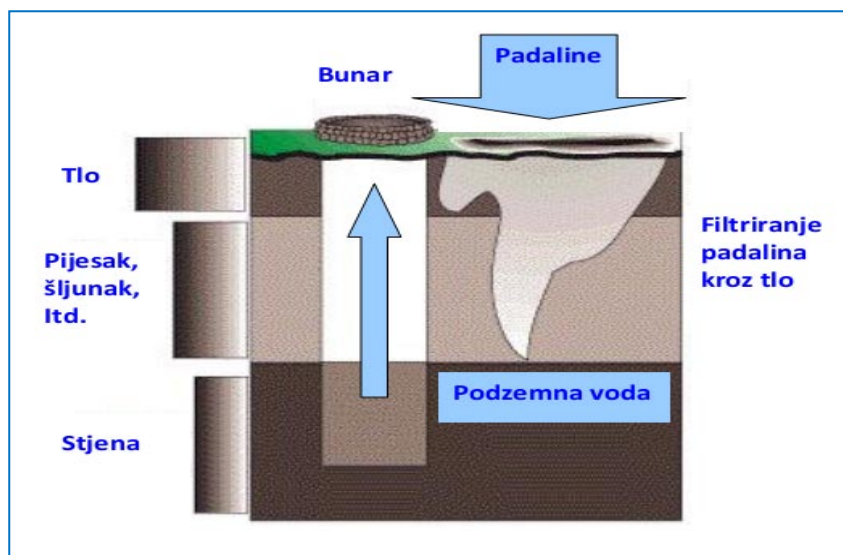
Razgradnji u tlu, u kraćem ili dužem vremenskom razdoblju, podložna su i gotovo sva organska onečišćenja, kao što su PAH, ostaci pesticida i petrokemikalije.

### 3.2.4 Tlo kao prirodni pročistač (filter) vode

Jedna od najznačajnijih uloga tla, svakako je njegova sposobnost pročistača ili filtera za oborinsku vodu, čime štiti pitku podzemnu vodu od onečišćenja, slika 20. O značaju te sposobnosti govori podatak da 65% pučanstva Europe koristi pitku vodu iz podzemne vode<sup>7</sup>, pa je vrlo važno da voda koja se nakuplja u podzemlju bude dobre kvalitete za piće i da ne sadrži štetne tvari koje "ispiranjem" atmosfere padalinama mogu dospjeti u podzemnu vodu.

Jednako tako je važno da u procesima sorpcije i desorpcije iz tla, za vrijeme protjecanja oborinskih voda kroz tlo, ne dođe do "ispiranja" onečišćujućih tvari iz tla u podzemne vode. Naime, poznato je da poljoprivredna djelatnost ima i svoje negativne strane tj. može biti izvor pojave nekih onečišćujućih tvari u tlu, pa tako npr. najozbiljnije onečišćenje pitke podzemne vode su nitrati iz dušičnih mineralnih gnojiva, bez kojih nema visokih prinosa.

Stoga se primjeni mineralnih gnojiva i mogućim posljedicama u obliku zadržavanja i akumulacije u tlima njihovih ostataka (nitrati, fosfati, sulfati) koji mogu imati štetne posljedice po zdravlje ljudi, pridaje značajna pozornost.



<http://extension.missouri.edu/p/WQ24>

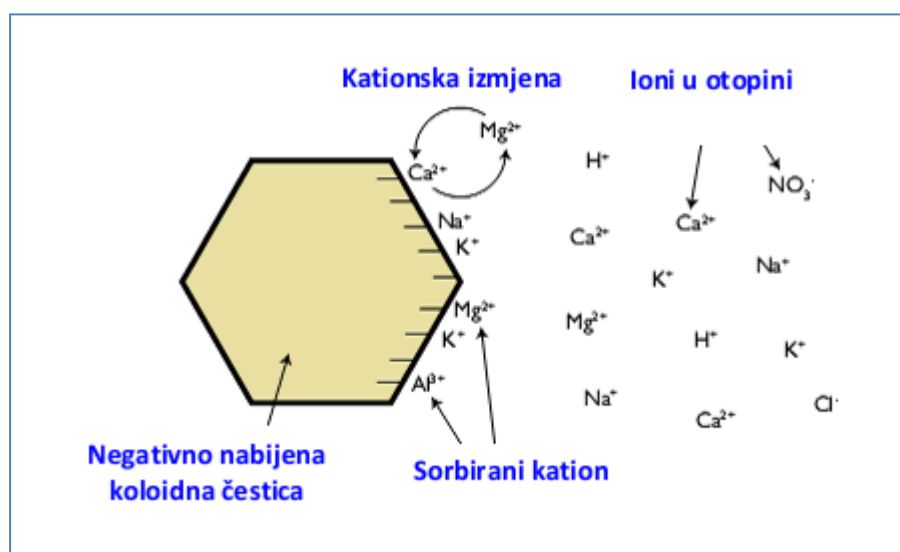
Slika 20. Shematski prikaz filtriranja oborinskih voda u sloju tla

Filtracijsko djelovanje tla ovisi o njegovoj sorptivnoj sposobnosti koja je izravno povezana s teksturom tla, a predstavlja sposobnost tla da u sebi veže i zadržava različite tvari – ione i molekule u otpini tla, koloidne čestice suspendirane u vodi, čestice većih dimenzija i mikroorganizme s kojima dođe u doticaj. Mehanizmi tog vezanja mogu biti mehanički, fizikalni, kemijski, fizikalno-kemijski i biološki, a o čemu je bilo riječi u poglavlju 2.1.3.2.

### 3.2.5 Tlo kao pufer

Djelujući kao snažan puferi sustav tlo sve onečišćujuće tvari, koje suhom ili mokrom depozicijom dopiju u njegovu masu ili se pak oslobađaju u njemu mineralizacijom organske tvari, transformira u neaktivni oblik. Na taj način tlo sprječava stresne promjene u tlu koje bi mogle izazvati štetne posljedice po pedofloru i pedofaunu. Tako npr. tlo puferira kisele sastavnice pomoću kationa, kao što su  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , i dr., i tako sprječava nagle veće promjene reakcije tla.

Puferizacija se vrši i drugim mehanizmima, kao što je vezanje onečišćujućih tvari na adsorpcijski kompleks. Kapacitet adsorpcije odnosno puferizacije tla tj. njegova sposobnost vezivanja tvari, kako je prikazano<sup>39</sup> na slici 21, je ograničena i od trenutka kada njegov adsorpcijski kompleks postane zasićen, tlo može postati izvor emisije onečišćenja u podzemne vode.



Slika 21. Shematski prikaz adsorpcijskog kapaciteta<sup>39</sup>

## 3.3 Biološko-regulacijska uloga tla

### 3.3.1 Tlo kao izvor genskog bogatstva i zaštite biološkog raznovrsja

Tlo je stanište vrlo velikog broja biljnih i životinjskih organizama i predstavlja temelj biološke raznolikosti ili biodiverziteta (engl. *Biological diversity/Biodiversity*). Pojmom biološke raznolikosti obuhvaćeni su svi živi organizmi u atmosferi, na tlu i u vodi, a uključene su raznolikosti unutar vrsta (genetske raznolikosti), između vrsta (raznolikost organizma) i ekosustava (ekološke raznolikosti)<sup>7,40</sup>.



Tlo je jedan od prirodnih najsloženijih ekosustava i sadrži tisuće različitih organizama, koji doprinose odvijanju globalnih ciklusa bez kojih život nebi bio moguć. Broj živih organizama ispod površine višestruko je veći nego na površini tla, o čemu rječito govori podatak da dobro, plodno tlo u oraničnom sloju sadrži oko 25 tona/ha živih organizama, među kojima čitav niz izuzetno korisnih.

Naime, nigdje u prirodi nisu vrste mikro i makro organizama tako gusto raspoređene kao u zajednicama koje su našle svoje stanište u tlu. Primjerice, više od 1 000 vrsta beskralješnjaka mogu se naći u jednom četvornom metru europske bukove šume; mnogi od svjetskih kopnenih vrsta kukaca su stanovnici tla u bar nekoj fazi njihovog životnog ciklusa; jedan gram tla može sadržavati milijune jedinki i nekoliko tisuća vrsta bakterija. Tlo, koje nije onečišćeno može sadržavati nekoliko vrsta kralježnjaka, nekoliko vrsta glista, 20-30 vrsta grinja, 50-100 vrsta kukaca, na desetke vrsta nematoda, stotine vrsta gljiva, a možda i tisuće vrsta bakterije i aktinomiceta<sup>40</sup>, slika 22.



Slika 22. Neki od živih organizama u tlu<sup>40</sup>

Pedofauna obuhvaća niz makroorganizama, od gujavica, puževa, pauka, kukaca, grinja, stonoga do nematoda, skokunaca i dr. To su isključivo heterotrofi, koji se hrane mikroorganizmima, biljnim ostacima ili korijenom viših biljaka pa djeluju kao štetnici.

Kao što je poznato, osobito veliko, zapravo nenadoknadivo značenje imaju kišne gujavice. Gujavice prozračuju i dreniraju tlo, slika 23, formiraju veoma vrijedne strukturne agregate i pouzdan su indikator povoljnog stanja u tlu.

S obzirom da plodno tlo ima visoku biogenost, biološku aktivnost i biološku raznolikost pa vrijedi: što je tlo plodnije to je ukupan broj organizama i njihova raznolikost veća.



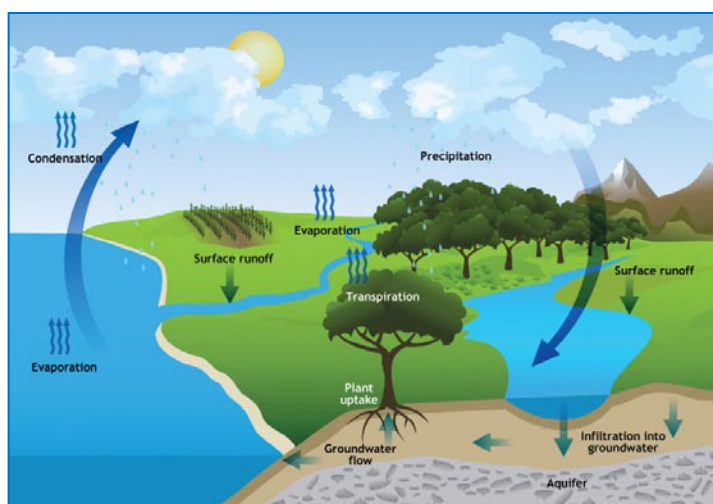
<http://njaes.rutgers.edu/organiclandcare/lifeofsoil.html>

Slika 23. Gujavica u tlu

### 3.4 Tlo kao medij prirodne pohrane (skladištenja) tvari

Zahvaljujući svojoj poroznosti i fizikalnim silama adhezije, površinske napetosti i kapilarnim silama tlo u svojoj masi drži velike količine vode, koju biljke uzimaju putem korijena i koriste za fotosintezu. Opisanim mehanizmima sorpcije, najviše zahvaljujući koloidnim česticama tla – humusu i glini, tlo obavlja za život izuzetno značajnu ulogu prirodnog skladištenja biljnih hranjiva, pri čemu taj mehanizam držanja nije jednostavan. Naime, voda i hranjiva se za tlo vežu adsorpcijskim silama koje su veće od sile teže, i tako se odupiru ispiranju, a manje od sila kojima ih korijen biljke usisava.

Biljka hraniva otopljena u vodi uzima putem korijena, a najveći dio vode ispušta u atmosferu<sup>41</sup>, snažno utječući na vodni režim i klimatske prilike, slika 24.



Slika 24. Ciklus vode u prirodi<sup>41</sup>

### 3.5 Prostorna uloga tla

Oduvjek je tlo koristilo čovjeku u zadovoljavanju njegovih životnih potreba, pa je pedosfera u povijesti čovjeku osiguravala prostor za bavljenje poljoprivrednom i šumarskom djeltanošću, izgradnju naselja, industrijskih i poslovnih prostora, prometnica, sportskih i rekreacijskih objekata itd.

Kada se govori o prostornoj ulozi tla, važno je razlikovati pojam *tlo* od pojma *zemljište*. S obzirom da smo na početku *tlo* definirali kao gornji sloj Zemljine kore, smješten između stjenske podloge i atmosfere, a sastoji se od čestica minerala, organske tvari, vode, zraka i živih organizama, *zemljište* je fizikalni prostor<sup>42-44</sup> koji obuhvaća: tlo, klimu, hidrološka i geološka svojstva, te vegetaciju u opsegu koji utječe na mogućnost korištenja, zatim rezultate prošle i sadašnje aktivnosti čovjeka s ili bez društveno-ekonomskih uvjeta. Prema tome, zemljište je u širem smislu pojam za *način korištenja tla*.

Zemljište se, sukladno IPCC smjernicama<sup>45</sup>, razvrstava u šest kategorija:

- **Šumsko zemljište** (engl. *Forest Land – FL*) – obraslo šumsko zemljište, ali sa šumom definiranom kao područjem većim od 0,1 hektara i drvećem višim od 2 metra te sklopom krošnji većim od 10%;
- **Zemljište pod usjevima** (engl. *Cropland - CL*) – uključuje sve površine s jednogodišnjim usjevima i višegodišnjim nasadima, kao i zemljište koje se privremeno ne obrađuje. Jednogodišnji usjevi uključuju žitarice, uljarice, povrće, korjenasto povrće, krmu. Višegodišnji nasadi uključuju drveće i grmlje u kombinaciji sa zeljastim kulturama, kao i voćnjake i vinograde;
- **Travnjaci** (engl. *Grassland – GL*) – obuhvaćaju pašnjake i ostale slične površine koje se ne smatraju zemljištem pod usjevima. Također, uključuju površine od zapuštenih zemljišta do rekreacijskih površina, kao i agrokulturne i šumsko-pašnjačke sustave kojima se gospodari i one kojima se ne gospodari;
- **Močvarno zemljište** (engl. *Wetland – WL*) – su sve površine pokrivene ili zasićene vodom tokom cijele ili dijela godine, a koje nisu već uključene u ostale površine (šumske, poljoprivredne, travnjake ili naselja). Ova kategorija može biti podijeljena na površine kojima se gospodari i one kojima se ne gospodari; npr. prirodne rijeke i jezera (područja kojima se ne gospodari), a akumulacije kao površine kojima se gospodari.
- **Naseljena područja** (engl. *Settlements – SL*) – se smatraju sve izgrađene površine, uključujući prometnu infrastrukturu i naselja svih veličina, ukoliko nisu uključene u drugim kategorijama. Uključuje sve tipove urbanih nasada koje funkcionalno ili administrativno moraju pripadati naseljima: drvorede, privatne i javne vrtove i parkove;
- **Ostalo zemljište** (engl. *Other Land – OL*) – obuhvaćaju golo tlo, stijene, led i sve ostale površine kojima se ne gospodari i koje ne spadaju u prije navedene kategorije.

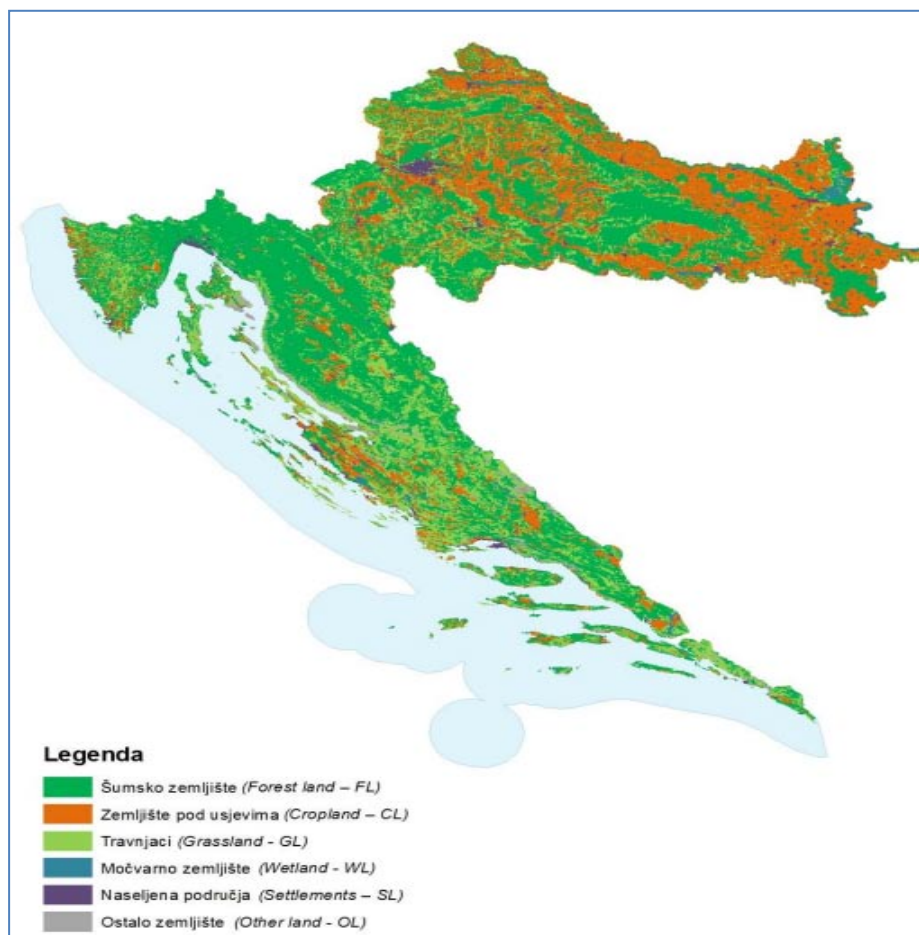
Raspored zemljišta kontinentalnog dijela R. Hrvatske, čija površina<sup>46</sup> iznosi 56 594 km<sup>2</sup> odnosno oko 5 659 400 ha razvrstanog prema osnovnim kategorijama prikazan je na slici 25.

Prema literaturnim podacima<sup>44</sup>, u 2010. godini je od ukupne kopnene površine R. Hrvatske na šumsko zemljište otpadalo 2 317 000 ha ili 41%; na zemljište pod usjevima 1 548 000 ha



ili 27,5%; travnjacima je bilo pokriveno 1 219 000 ha ili 21,5%; pod močvanim zemljištem 74 000 ha ili 1,3%; naseljena područja su zauzimala površinu od 259 000 ha ili 4,5% i ostalo zemljište je zauzimalo površinu od 242 000 ha ili 4,2%.

S obzirom da prema IPCC smjernicama<sup>45</sup>, *zemljište pod usjevima i travnjaci čine poljoprivredno zemljište*, to je s aspekta prikaza površina i namjene korištenja površine zemljišta, poljoprivredno zemljište u 2010. godine zauzimalo površinu od 2 767 000 ha ili gotovo 49% od ukupne površine R. Hrvatske.

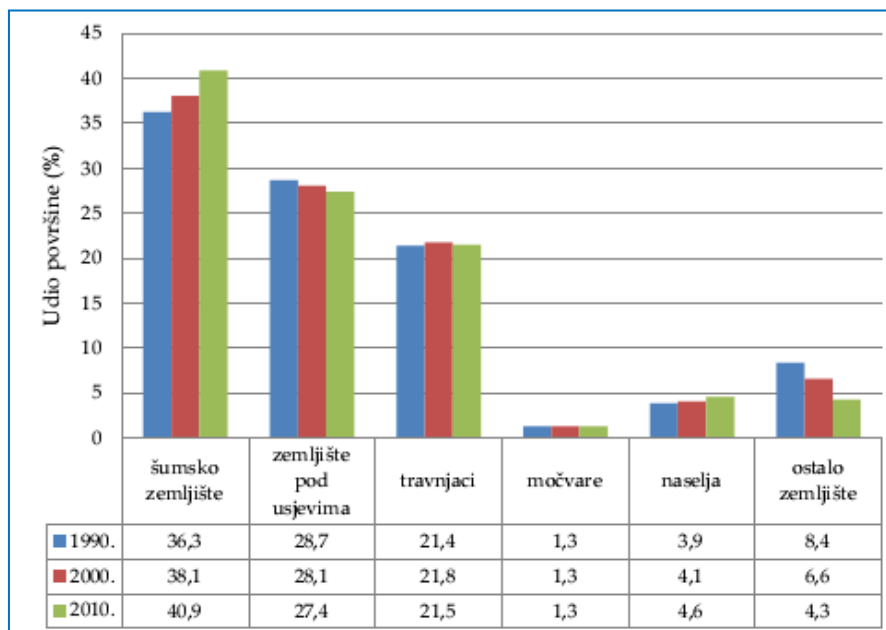


Slika 25. Raspored zemljišta kontinentalnog dijela RH prema kategorijama<sup>44</sup>

### 3.5.1 Tlo kao prostor za naselja i infrastrukturu

Prema dostupnim literaturnim podacima<sup>42</sup> za 2006. godinu, glavni pokrov europskog zemljiša čine šume i iznosi oko 35%, zatim obradive površine oko 25%, pašnjaci i druga vegetacija 25%, vodene površine 3%, močvare 2% i tzv. umjetna - izgrađena područja 4%. Podaci<sup>43,44</sup> za R. Hrvatsku pokazuju da glavni pokrov čine šume i u razdoblju od 1990. do 2010. godine on je iznosio od 36,3 do 40,9%, zatim poljoprivredne površine odnosno zemljište pod usjevima

od 28,7 do 27,4%, prirodni travnjaci od 21,4 do 21,5%, površina pod naseljima iznosila je od 3,9 do 4,6% ukupne kopnene površine, slika 25.



Slika 25. Udio površine tla R. Hrvatske prema načinu korištenja<sup>44</sup>

Suvišno je napominjati da se površine pod naseljima, prometnicama, industrijskim objektima i sl. s pravom smatraju trajno izgubljenim za primarnu namjenu tla - proizvodnju organske tvari, i tretiraju kao trajni – nepovratni gubitak tla. No, istovremeno je apsurdno zahtijevati i očekivati potpuno zaustavljanje korištenja tla u navedene svrhe, ali ga svakako treba imati pod djelotvornim nadzorom.

### 3.5.2 Odlaganje otpada na tlo

Tlo je nažalost, kroz povjest čovječanstva ne rijetko korišteno i za odlaganje otpada. U početku je to bio otpad iz kućanstva, a razvojem civilizacije na tlo je odlagano sve više različitih vrsta otpada koje su dovele do značajnog onečišćenja tla i podzemnih voda, čime je bilo izravno ugrožavano zdravlje ljudi i životinja.

I unas je, kao i u svijetu, nekontroliran način odlaganja otpada na ne zaštićene površine tla, ostavio traga posebno u vrijeme industrijalizacije nakon Drugog svjetskog rata, kada su u blizini tvornica i rudnika nicala odlagališta šljake, pepela, rudnih jalovina, muljeva i drugih vrsta proizvodnog otpada.

Ovakva praksa je odavno napuštena, a suvremeni trend zbrinjavanja otpada<sup>47-51</sup> u većini je razvijenih zemalja utemeljen na tzv. "cjelovitom sustavu gospodarenja otpadom" koji podrazumjeva smanjivanje količina otpada, ponovnu upotrebu bez obrade, obnavljanje i recikliranje, s konačnim ciljem – napuštanje odlaganja otpada tj. bezdeponijski koncept zbrinjavanja.

Prema podacima iz Strategije gospodarenja otpadom R. Hrvatske<sup>46</sup> tj. 2003. godine u R. Hrvatskoj je bilo aktivno 252 odlagališta na ukupnoj površini tla u iznosu od 865 ha koja se s pravom smatra trajno izgubljenim tлом za njegovu primarnu namjenu - proizvodnju organske tvari, i tretira se kao trajni – nepovratni gubitak tla.

Tako je na temelju podataka<sup>52</sup> iz Registra onečišćavanja okoliša za 2010. godinu, unas bilo prijavljeno 122 odlagališta od kojih se na 84 odlagao samo komunalni otpad, a na 62 uz komunalni otpad odlagao i proizvodni otpad. Ukupno je bilo odloženo 1 858 127 t otpada. Na samo 6 odlagališta je tijekom 2010. godine odloženo 67 821 t građevinskog otpada i 13 133 t proizvodnog otpada. Nažalost, otpad se ne odlaže samo na uređena odlagališta koja su izgrađena sukladno zakonskim propisima, već se nekontrolirano odlaže i na površine tla u neposrednoj blizini urbanih središta, graničnim poljoprivrednim područjima ili šumskim tlima.

Procjenjuje se da u Hrvatskoj ima oko 3000 divljih/neslužbenih odlagališta koja predstavljaju vrlo veliku opasnost po tlo i okoliš u cjelini, slika 26, jer se na ovim lokacijama nekontrolirano odlagao otpad o čijim vrstama, karakteristikama i količinama se može samo nagađati. Od ukupnog broja procijenjenih divljih/neslužbenih odlagališta u R. Hrvatskoj, sanirano je 750 lokacija, uglavnom metodom uklanjanja otpada, a u tijeku su sanacije još 257 lokacija<sup>52</sup>.



<http://www.ipress.hr/gradovi-i-opcine/umag/divlje-odlagaliste-u-umagu-izmaklo-kontroli-18215.html>

Slika 26. Jedno od mnogih divljih odlagališta otpada u R. Hrvatskoj

### 3.5.3 Tlo u oblikovanju krajobraza

Prema definiciji iz Europske konvencije o krajobrazima<sup>53</sup> (engl. *European Landscape Convention*), krajobrazom se smatra određeno područje viđeno ljudskim okom, čija je narav rezultat djelovanja i međudjelovanja prirodnih i/ili ljudskih čimbenika. U prostorno-planskom kontekstu pojam krajobraza označava cjelovitu prostornu, biofizičku i antropogenu strukturu,

u rasponu od potpuno prirodne do pretežno ili gotovo potpuno antropogene strukture (visoko-urbanizirani ili tehničko-tehnološki prostori).

Relativno veliki broj različitih čimbenika, koji utječu na stvaranje i obilježja krajobraza, može se podijeliti u nekoliko skupina:

- **Fizički čimbenici** – u koje se ubrajaju geologija, reljef, drenaža, tlo, ekologija;
- **Antropogeni čimbenici** – su arheologija, povijest krajobraza, korištenje zemljišta, objekti i naselja;
- **Estetski čimbenici** – u koje se ubrajaju vizualni čimbenici (proporcije, mjerilo, vizure) i ostali osjeti (zvukovi, mirisi, okusi);
- **Asocijacije** – koje mogu biti povijesne (povijest naselja, posebni događaji) i kulturne (poznate osobe i umjetnost).

Cjelokupni izgled određenog prostora, tj. njegov krajobraz određen je temeljnim fizičkogeografskim elementima, osobito reljefom, vodama i biljnim pokrovom, te, ovisno o prisutnosti čovjeka, i intenzitetu njegova rada.

Kao vrlo važan čimbenik za dobrobit pojedinca i društva te kvalitetu života, krajobraz igra važnu ulogu u ostvarenju čovjekovih težnji. Tako krajobraz ima važnu ulogu u području kulture, ekologije, zaštite okoliša itd., te predstavlja bogatstvo koje pogoduje gospodarskoj aktivnosti, posebice turizmu.

Ključnu ulogu u oblikovanju i održavanju krajobraza ima tlo, jer ono svojim značajkama određuje pogodnosti i opcije za moguće načine korištenja prostora. Različite populacije organizama distribirane su u prostoru ovisno i o svojstvima tla, pa se može reći da izgled krajobraza izravno ovisi i o svojstvima tla.

Nažalost, razvoj poljoprivrede, šumarstva, industrijskih i rudarskih proizvodnih metoda te regionalnog planiranja, urbanističkog planiranja, prometa, infrastrukture, turizma i rekreacije, te na općenitijoj razini, promjene u svjetskom gospodarstvu često oštećuju krajobraze ili brišu njihova specifična obilježja, a time izravno utječu na kvalitetu tla.

Upravo zbog sve intenzivnijeg, a najčešće i potpuno nekontroliranog djelovanja čovjeka, posebno u našim društvenim prilikama, u prostoru je sve manje izvornih prirodnih krajobraza, čija zaštita nije zadovoljavajuća (ograđivanje rezervata i nacionalnih parkova, i sl.).

Hrvatska, kao malo koja zemlja u Europi, uz utjecaj različitih kulturnih sfera ima raznovrstan reljef i raznolik krajobraz, slika 27. Krajobrazi predstavljaju jednu od najvećih prostornih vrijednosti i važnu sastavnicu nacionalnog identiteta R. Hrvatske.

Prostorni izgled R. Hrvatske rezultat je djelovanja najraznovrsnijih prirodnih čimbenika kao i mnoštva oblika ljudskog djelovanja. Velika prirodna i krajobrazna raznolikost te različite povijesne i gospodarske okolnosti rezultirale su različitim lokalnim tradicijama korištenja prostora. Kako se danas u svijetu krajobrazna raznolikost (engl. *landscape diversity*) sve više uzima kao vrijednost i bogatstvo neke zemlje, nedvojbeno je da Hrvatska to bogatstvo ima.



Slika 27. Neki iz niza različitih krajobraza u R. Hrvatskoj

Zaštita krajobraza podrazumjeva djelovanje radi zaštite i održavanja njegovih značajnih ili karakterističnih obilježja, što se opravdava njegovom vrijednošću kao baštine, koja je proizašla iz prirodne konfiguracije i/ili ljudske aktivnosti. Stoga je zaštita krajobrazne raznolikosti svakog područja nerazdvojna od zaštite tla u prostoru i treba predstavljati svake nacionalne, pa tako i naše "*krajobrazne politike*" koja definira odnos nadležnih javnih vlasti kojim ove izražavaju opća načela, strategije i smjernice koje omogućuju poduzimanje određenih mjera s ciljem zaštite, upravljanja i planiranja krajobraza.

S obzirom da je zaštita krajobraznih vrijednosti jedan je od temelja ukupnog vrednovanja prostora, R. Hrvatska, prateći europske trendove u očuvanju krajobraza, provodi aktivnosti kojima se pridaje veća važnost krajobraznim vrijednostima. Iako se zaštita krajobraza provodi već godinama, ona je uglavnom bila svedena na normativne mjere, kojima su se štitila samo posebno zaštićena i evidentirana područja prirodne i kulturne baštine, te na mjere zaštite utvrđene u postupcima Procjene utjecaja na okoliš, za zahvate za koje je obvezatno provesti taj postupak. Zaštita krajobraza i njegovih općih vrijednosti provodi se također i tijekom izrade prostorno-planske dokumentacije, što predstavlja obvezu bez obzira radi li se o urbanim, ruralnim ili prirodnim i to na čitavom teritoriju R. Hrvatske.

### 3.6 Konzervacijsko-arhivska uloga tla

Čitav naš urbani i ruralni krajolik golem je povijesni arhiv jer se u njegovom tlu, kao i na njegovoj površini, zbrajaju stotine tisuća neprestanih malih promjena izazvanih prirodnim procesima i ljudskom djelatnošću. Prema tome, tlo je povijesni izvor nalik pisanom dokumentu koji sadrži konzervirane različite geogene znakove, koji omogućavaju rekonstrukciju povijesti, zatim tragovi geneze koji daju uvid u uvjete tvorbe tla i njegove evolucije.

Na drugoj strani, tragovi života, primjerice ostaci polena bilja i paleontološki materijal omogućavaju rekonstrukciju uvjeta za život na nekom području, slika 28.





[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hr/2/2d/Liburnska\\_fibula.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hr/2/2d/Liburnska_fibula.jpg)  
<https://www.google.hr/#q=arheologija+slike>

Slika 28. Arheološki artefakti nađeni iskapanjem tla

Stoga, kao izvori informacija za rekonstrukciju života čovjeka i njegovim aktivnostima svjedoče arheološki ostaci zaštićeni u tlu od devastacije i propadanja. Za datiranje povijesnih događaja i promjena, arheologija se oslanja upravo na te ostatke.

Iskopavanje ovih artefakata iz tla je gotovo jedini izvor podataka za vrlo duga pretpovijesna i povijesna razdoblja ljudske povijesti, te pruža građu ondje, gdje pisani izvori šute ili nedostaju. Arheološka nalazišta u tlu uvijek se međusobno razlikuju, što je posljedica tisućljetnih procesa nastajanja tla u kojem su elementi arheološke građe bili konzervirani/arhivirani kroz povijest.

Svi ovi navedeni i opisani načini korištenja tla i njegove namjene nije moguće primijeniti istovremeno, a neki od njih se čak i međusobno isključuju ili su u konkurenciji, što je važno imati na umu pri izradi sustava održivog gospodarenja tлом koje podrazumijeva korištenje tla uz održavanje ili povećavanje razine proizvodnje, smanjenja rizika proizvodnje, sprječavanje degradacije kao i korištenje u uvjetima gospodarske opravdanosti.

## 4. OŠTEĆENJE I ONEČIŠĆENJE TLA

Razvojem tehnike i tehnologije čovjek je pedosferu doveo u stanje relativno velike onečišćenosti, čime je znatno oštetiio, a ponegdje i ugrozio životnu sredinu. Postoji čitav niz različitih onečišćujućih tvari koje dopijevaju u pedosferu i ne podliježu razgradnji prirodnim procesima, što je imalo za posljedicu porast njihove koncentracije, a time i neželjene učinke na živi svijet, odnosno narušavanje ravnotežnih odnosa između pedosfere, hidrosfere i nižeg sloja atmosfere – troposfere.

### 4.1 Oštećenje tla

Za razliku od vode i zraka, od početka se tlu nije posvećivala jednaka pozornost iako su ove sve tri sastavnice biosfere jednako važne za opstanak života na Zemlji. Istraživanjima različitih štetnih utjecaja na tlo se, za razliku od vode i zraka, prilazi mnogo kasnije, tj. tek kada su se u većoj mjeri počeli pojavljivati problemi vezani za oštećenja i onečišćenja produktivnih tala kao posljedice ljudske djelatnosti.

O ovome govore i rezultati istraživanja opsega i uzroka oštećenja tla u Svijetu, koja su provedena 90-ih godina prošlog stoljeća u okviru Programa Ujedinjenih naroda za zaštitu okoliša (engl. *United Nations Environment Programme*, UNEP). U izvješću<sup>54</sup> iz 1992. utvrđeno je da je 10,5% površine šumskih zemljišta i travnjaka u svijetu ozbiljno oštećeno kao posljedica ljudske aktivnosti te da veliki dio te štete nije bio vidljiv jer je bio u sjeni općeg porasta produktivnosti globalne poljoprivrede, koja je bila posljedica povećanog navodnjavanja, uzgoja boljih biljnih sorti i veće upotrebe gnojiva i pesticida.

Nadalje, utvrđeno je da se više od 1/3 oštećenih površina tla nalazilo u Aziji, gotovo 1/3 u Africi i 1/4 u SAD. Neka tla su bila oštećena u tolikoj mjeri da ih se više nije moglo popraviti, a najveći uzroci oštećenja i degradacije tla su pretjerana ispaša, neprikladna poljoprivredna praksa i krčenje šuma. U navedenim istraživanjima procijenjeno je da je oko 580 milijuna ha nestalo krčenjem i oslobađanjem zemljišta namijenjenog urbanizaciji i izgradnji farmi, a samo tijekom 1975.-1990. više od 220 milijuna ha tropskih šuma bilo je uništeno krčenjem zemljišta namijenog proizvodnji hrane. Zbog potrošnje ogrijevnog drveta od oko 1 730 milijuna m<sup>3</sup> godišnje, sječom je uništeno oko 116 milijuna ha šuma u mnogim regijama u razvoju gdje je drvena biomasa bila primarni izvor energije.

Prekomjernom ispašom oštećeno je oko 680 milijuna ha ili oko 20% svjetskih pašnjaka, od čega su najveći gubici zabilježeni u Africi i Aziji. Oko 550 milijuna ha poljoprivrednog zemljišta oštećeno je zbog lošeg gospodarenja, a najveći dio oštećenja se odnosi na eroziju poljoprivrednog zemljišta i zaslanjenost.

Podaci iz 1995. godine o procjeni oštećenja tla u Europi<sup>55</sup> (bez Rusije) ukazuju da je erozijom oštećeno oko 136 milijuna ha tla što iznosi oko 16% ukupne površine; zakiseljavanjem je oštećeno oko 85 milijuna ha ili 9% površine dok je oštećena površina kao posljedica onečišćenja pesticidima iznosila oko 180 milijuna ha ili 19% površine, nitratima i fosfatima oko 149 milijuna ha ili 18% površine. Zbijanjem tla oštećeno je oko 33 milijuna ha ili 4% površine, zaki-



seljavanjem je oštećeno oko 3,8 milijuna ha ili 0,4% površine, a zbog smanjenja organske tvari oštećeno je oko 3,2 milijuna ha ili 0,3% ukupne površine tla.

#### 4.1.1 Klasifikacija oštećenja tla

Klasifikacija oštećenja tla je vrlo složen postupak valorizacije i rangiranja opasnosti degradacijskih procesa, pri čemu se treba voditi briga o značajkama tla i odabiru jedne od značajki tla kao polazišne osnove za ocjenu stupnja oštećenja. Naime, treba imati na umu, s obzirom na značajke tla, da se tlo, kao višenamjenski resurs, može smatrati oštećenim za jednu namjenu, dok se istodobno može smatrati neoštećenim i upotrebljivim za drugu namjenu.

S obzirom na ogromne razlike u geografskim i klimatskim obilježjima pojedinih lokacija tala, njihovim tipovima, načinima korištenja, vrstama dominantnih procesa koji uzrokuju njihova oštećenja itd., ne postoji jedinstvena klasifikacija oštećenja tala na svjetskoj razini. Kada se govori o klasifikaciji tala kod nas, onda se koristi klasifikacija prema F. Bašiću<sup>56</sup>, tablica 1.

Ova klasifikacija je utemeljena na slijedećim klasifikacijskim jedinicama:

- **stupanj oštećenja** – je najviša jedinica klasifikacije. Osnovni kriterij za razvrstavanje je *obnovljivost* oštećenog tla tj. mogućnost da se odgovarajućim zahvatima postigne stanje koje odgovara prirodnim značajkama tipa tla na danom području.
- **vrsta oštećenja** – označava uzroke odnosno podrijetlo oštećenja (npr. degradacija tla u intenzivnoj biljnoj proizvodnji, zagađenje i/ili onečišćenje tla, premještanje ili translokacija i prenamjena tla).
- **proces oštećenja** – upućuje na uzročnika tj. na proces (pojedinačni ili skupni) koji je posljedica vrste onečišćenja.
- **posljedice** – su raznovrsne i nespecifične pa ih nije lako niti jednostavno identificirati. Za identifikaciju posljedice potrebno je raspolagati odgovarajućim podacima.

#### 4.1.2 Onečišćenje kao oblik oštećenja tla

Kako je navedeno u prethodnom poglavlju, za oštećenje tla odgovorni su brojni čimbenici, no najčešća oštećenja se odnose na onečišćenost tla koje je uzrokovao čovjek svojim djelatnostima poput poljoprivrede, industrije i rudarstva, izgradnje i razvoja urbanih središta, itd.

Pojam onečišćenja tla, kao i drugih pojmova vezanih za onečišćenje tla, poput *štetne tvari*, te *granične vrijednosti* za pojedine tipove tla prema mehaničkom sastavu, po prvi put su u Republici Hrvatskoj definirani u *Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima*<sup>57</sup>.

Ove definicija su ostale nepromijenjene i u novom *Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja*<sup>58</sup>, jedino je riječ *zagađenje* zamijenjena rječju *onečišćenje*, s obzirom da su one i po svome značenju različite.

Imajući na umu da se osim u poljoprivredi, tlo koristi i u drugim sferama čovjekove djelatnosti, potrebno je definirati onečišćenje tla jednom općom definicijom koja bi obuhvatila sva tla i sve čovjekove djelatnosti u kojima se ono koristi.

Tablica 1. Klasifikacija oštećenja tla (F. Bašić 1994)<sup>56</sup>

Stupanj oštećenja	Vrsta oštećenja	Procesi oštećenja	Posljedice
<b>I. stupanj</b> SLABO LAKO OBNOVLJIVO (REVERZIBILNO)	Degradacija tala u intenzivnoj proizvodnji	1.1. Degradacija fizikalnih značajki tla; 1.2. Degradacija kemijskih značajki; 1.3. Degradacija bioloških značajki; 1.4. Degradacija hidromelioracijama.	Antropogena zbivanja tla; Poremećaj vodozračnih prilika; Veći utrošak energije u obradi; Zakiseljavanje i zaslanjivanje; Fitotoksični učinci; Smanjena biogenost; Poremećen odnos mikroflora, infekcija tla.
<b>II. stupanj</b> OSREDNJE TEŠKO OBNOVLJIVO (UVJETNO REVERZIBILNO)	Onečišćenje – Zagađenje	2.1 Teški metali i ostali toksični elementi; 2.2 Ostaci pesticida i PAH-ovi; 2.3 Petrokemikalije; 2.4 Radionuklidi; 2.5 Imisijska acidifikacija.	Hrana neupotreblija zbog mutagenoga, kancerogenog ili teratogenog djelovanja; Depresija rasta biljke; Fitotoksični učinci; Ugroženi drugi ekosustavi.
<b>III. stupanj</b> TEŠKO NEOBNOVLJIVO (IREVERZIBILNO)	Premještanje – Translokacija	3.1 Erozijski vodeni i vjetrom; 3.2 Eksploatacija kamena, šljunka i drugih građevinskih materijala; 3.3 Odnošenje tla plodinama; 3.4 Posudišta tla; 3.5 Prekrivanje komunalnim i proizvodnim otpadom; 3.6 Prekrivanje drugim tlom; 3.7 Oštećenja šumskim požarom.	Gubitak dijela tla ili cijelog profila; Promjena stratigrafije profila; Smanjenje proizvodnih površina; Smetnje u obradi tla; Povećana heterogenost pokrivača tla; Povećani troškovi proizvodnje; Smanjen prinos; Ugroženi drugi ekosustavi; Gubitak proizvodnih površina.
<b>IV. stupanj</b> NEPOVRATNO (TRAJNI GUBITAK TLA)	Prenamjena	4.1 Izgradnja urbanih područja; 4.2 Industrijski, energetske objekti, prometnice, zračne luke; 4.3 Hidroakumulacije.	Smanjena ukupna proizvodna površina.

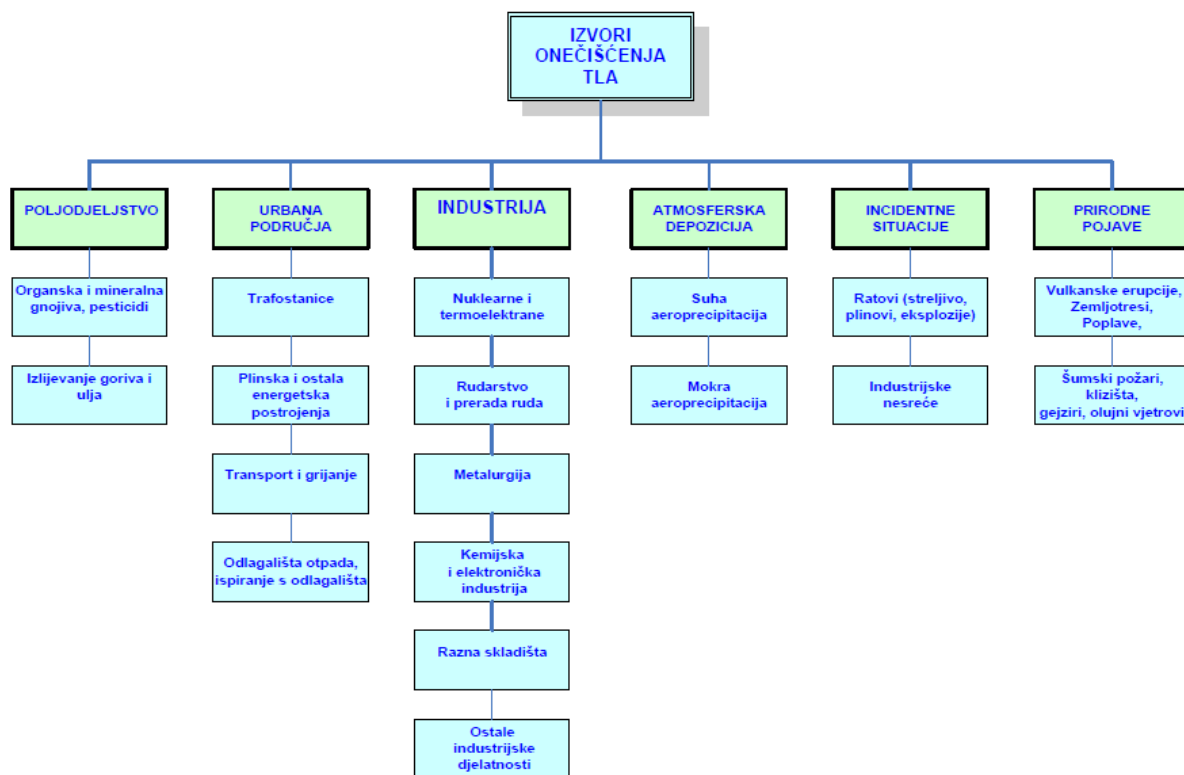
U nizu različitih definicija onečišćenosti tla, svakako je jedna od najprihvatljivijih definicija koja je navedena u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*<sup>59</sup>, a koja glasi: " *Onečišćenje tla je unos tvari, bioloških organizama ili energije u tlo, što rezultira u promjeni kakvoće tla te utječe na normalnu uporabu tla ili zdravlje ljudi i ostalih organizama*".

Pod pojmom *tvari*, ovdje se misli na onečišćujuću tvar ili skupinu tvari, koje zbog svojih svojstava, količine i unošenja u tlo, mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi, biljni i/ili životinjski svijet, odnosno bioraznolikost i krajobraznu raznolikost.

U svrhu boljeg razumijevanja ovog gradiva, potrebno je još pojasniti pojam *onečišćenje tla* i njegovu razliku u odnosu na pojam *zagađenje tla* i to kako slijedi:

- **onečišćenje** – je stanje koje je nastalo unošenjem štetne tvari u tlo u količini kojom se mijenjaju njegova korisna svojstva i kakvoća, ali bez dokazanog štetnog utjecaja na okoliš, a daljnje korištenje tla je neograničeno ili je uvjetno ograničeno;
- **zagađenje** – je stanje koje nastaje unošenjem štetnih tvari u tlo iznad propisane maksimalno dozvoljene koncentracije tj. unesena tvar štetno djeluje na okoliš i/ili je time onemogućeno daljnje korištenje tla. U ovom slučaju je količina unesene štetne tvari iznad vrijednosti utvrđene za potencijalno neprihvatljiv rizik za tlo.

Pojava onečišćenih tala posljedica je razvoja modernog društva u svim sferama čovjekove djelatnosti pa se izvori onečišćenja tla obično nalaze u industriji, poljoprivredi, prometu, urbanim područjima, obradi i odlaganju otpada, vojnoj djelatnosti, itd., slika 29.



Slika 29. Podrijetlo onečišćenja tla (I. Kisić 2012.)<sup>6</sup>

S obzirom na brojnost mogućih izvora onečišćenja tla, kako je i prikazano na slici 28, lako je zaključiti da se onečišćenja mogu prije svega podijeliti na *prirodna* (poplave, klizišta tla, jake kiše, jaki vjetrovi, prirodno radioaktivno zračenje, sedimentaciju vulkanskog pepela i drugo) i

*antropogena* (otpadne vode, gradski mulj, tekuća organska gnojiva, mineralna gnojiva, pesticidi, industrijske emisije, antropogeno radioaktivno zračenje i drugo).

Nadalje, s obzirom na oblik i karakteristike izvora onečišćenja, razlikuju se onečišćenje tla koje je uzrokovano jasno ograničenim izvorima (lokalni ili točkasti izvori onečišćenja), ono koje je uzrokovano taloženjem iz atmosfere tzv. raspršenih emisija (difuznim izvorima) i ono koje nastaje uz prometnice (linijski izvori)<sup>59</sup>:

- **Lokalni ili točkasti izvori onečišćenja** – su jasno ograničeni. Onečišćenje tla koje je uzrokovano lokalnim (ili točkastim) izvorima uglavnom je povezano s rudarstvom, industrijskim postrojenjima (dimnjacima i drugim ispuštima), odlagalištima otpada i ostalim postrojenjima tijekom njihovog djelovanja, ali i nakon zatvaranja. Ta postrojenja predstavljaju rizik i za tlo i za vodu.
- **Linijski izvori onečišćenja** uglavnom su vezani uz prometnice, željeznice te naftovode i plinovode. U skladu s prometom a osobito mjestima gdje se automobili ili vlakovi duže zadržavaju (semafori u gradskom prometu, mjesta naplate cestarina, ulazi i izlazi iz tunela, trajektna pristaništa, željezničke postaje) očekuju se i povećane emisije onečišćujućih tvari. Širenje onečišćujućih tvari od linijskih izvora u prvom redu je ovisno o prirodnoj vegetaciji uz prometnice.  
Ako su prometnice okružene prirodnom vegetacijom (šuma) ili zaštitnim ogradama za vjetar, potencijalna emisija se obara neposredno uz cestu. No, ako ne postoje barijere dolazi do njenoga povećanoga širenja u okoliš, odnosno u zrak a od kuda se onečišćujuće tvari talože na tlo.
- **Difuzni izvori onečišćenja** – uglavnom se povezuju s atmosferskim taloženjem, određenim poljodjelskim radovima (primjena sredstava zaštite prskanjem) i urbanim industrijskim područjima, a jednim dijelom i prometnicama. Atmosfersko taloženje uzrokovano je ispuštanjem plinova u industriji, prometu i poljoprivredi.

### 4.1.3 Onečišćujuće tvari u tlu

S obzirom da ovdje nećemo govoriti o onečišćenju tla kao posljedici unosa u tlo bioloških organizama i energije, već samo onečišćujućih tvari, treba ih, zbog boljeg razumijevanja ove problematike razvrstati po skupinama. Sve onečišćujuće tvari koje iz izvora bilo točkastih, linijskih ili difuznih, mogu dospjeti u tlo, a mogu biti organske ili anorganske prirode, razvrstavamo s obzirom na njihove fizikalno-kemijske karakteristike u pet skupina i to kako slijedi:

- **Hlapljive organske tvari** – mogu potjecati iz postrojenja kemijske industrije, rafinerija, odlagališta otpada, rezervoara nafte i naftnih preradevina, auto-servisnih radionica, kemijskih čistionica te emisija iz rudnika itd.;
- **Poluhlapljive organske tvari** – obično se nalaze u emisijama zajedno sa hlapljivim organskim tvarima, no može ih se naći i u emisijama iz prostora gdje se obrađuje i konzervira drvena građa ili pak u prostorima gdje se primjenjuju agrokemikalije poput staklenika i plastenika;
- **Pogonska goriva** – lokacije na kojima tlo može biti onečišćeno ovim onečišćujućim tvarima su zračne luke, autobusni i željeznički kolodvori, parkirališta, naplatne kućice na autocestama, benzinske postaje, itd.;

- **Anorganske tvari** – poput metala i njihovih spojeva (oksidi, sulfidi, silikati, karbonati) mogu se u tlu naći kao onečišćujuće tvari u području odlagališta otpada, rudnika, industrijskih postrojenja (proizvodnja i prerada metala, kemikalija), itd.

S obzirom da se u ovom kolegiju govori o onečišćenjima okoliša iz industrijskih procesa, tako će se i ovdje više govoriti o antropogenim onečišćenjima tla iz industrije, te će se njima i onečišćujućim tvarima koje se javljaju u njihovim emisijama posvetiti i veća pozornost.

Vrlo značajne izvore onečišćenja čini skupina izvora iz industrijskih postrojenja, a čije emisije u okoliš obuhvaćaju znatne količine anorganskih i organskih plinovitih i krutih onečišćujućih tvari. Industrijska postrojenja, mogu kako tijekom svog djelovanja, tako i nakon zatvaranja biti uzrok lokalnog onečišćenja, slika 30, pa se danas sve više pozornosti poklanja i mjerama koje se poduzimaju nakon zatvaranja i prestanka rada industrijskog postrojenja.

Te mjere, a koje se provode prije svega kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša, jasno su propisane u legislativi EU, kao i u nacionalnim zakonima obveze vlasnika.



<http://sehatwalafiatsehatteer.us.blogspot.com/2013/04/soil-pollution.html>

Slika 30. Onečišćeno tlo u neposrednoj blizini industrije

Uz industrijska postrojenja, vrlo značajni izvori onečišćenja tla su i energetska postrojenja, odlagališta otpada, prometnice i vojni poligoni, koji također predstavljaju rizik i za tlo, a posredno i za vodu, a lepeza potencijalnih izvora onečišćujućih tvari koji mogu ugroziti okoliš, a posebice tlo, je vrlo široka, tablica 2.

Tablica 2. Pregled najčešćih onečišćujućih tvari i njihovih potencijalnih izvora (grupa autora, 2008.)<sup>59</sup>

Potencijalni izvori Onečišćenja	Onečišćujuće tvari											
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	F	PAH	PCB	PCDD/F	Ostalo
<b>1. Blizina mogućih izvora onečišćenja</b>												
<b>1.1. Prometna infrastruktura</b>												
ceste	x	x					x		x			
aerodromi	x	x		x			x		x			
objekti na željeznici				x								
sustavi ventilacije u tunelima	x	x					x		x			S
<b>1.2. Energetika</b>												
termoelektrane	x	x	x				x		x		x	
prostori plinare i deponija	x	x					x		x			
<b>1.3. Odlagališta otpada</b>												
odlagališta inertnog i opasnog otpada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
spaljivanje otpada (stara tehnologija)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
zbrinjavanje i recykl. život. lešina i otpada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
obrada komunalnih otpadnih voda	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<b>1.4. Vojni poligoni</b>												
	x			x		x	x					Sb
<b>1.5. Industrijska postrojenja</b>												
proizvodnja mineralnih gnojiva	x	x		x			x					S
talionice ruda	x	x		x			x				x	
naftne i plinske bušotine	x	x	x	x		x	x					Ba
naftovodi i plinovodi	x	x	x	x			x					
raf. nafte i plina, ljevaonice	x	x	x	x			x					
talionice cinka		x										
metalna industrija	x	x	x	x	x		x					
ind. stakla i staklenih vlakana	x	x				x	x	x				
ind. keramike, crjepova, opeke	x	x				x	x	x				
Ind. azbesta i azbestnih proizvoda												Azbest
tvornice cementa	x					x		x			x	Tl
tekstilna industrija			x	x								
prerada plastike		x							x	x		
tiskare	x	x	x	x			x					
prostori s primjenom organskih			x	x								
bojanje u brodogradnji			x	x								
pilane			x	x					x			
mjesta prerade kože			x			x		x	x			
tvornice boje i lakova	x	x	x	x		x	x		x	x		
<b>1.6. Metalne zgrade, mostovi i ostali objekti</b>												
	x	x	x				x		x	x		Fe
<b>2. Tla u poljoprivrednoj proizvodnji</b>												
tla + mulj od pročišćavanja otpadnih voda	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	
kućni vrtovi	x	x		x		x	x					
tla vinograda	x	x		x								
tla intenzivne poljoprivrede	x			x						x		Atrazin, Simazin
tla + tekuća gnojiva (gnojovka i gnojica)				x			x					
<b>3. Rudarske djelatnosti</b>												
podzemno rudarstvo i srodne djelatnosti	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
površinski kopovi i kamenolomi	x	x	x	x	x	x	x		x	x		

Iako se prostorno najveća i najonečišćenija područja nalaze oko industrijskih zona, onečišćene lokacije nalaze se na cijeloj Zemljinoj površini, jer osim izravnih utjecaja na tlo, koje industrija ima skladištenjem sirovina za proizvodnju, različitih pomoćnih materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda, njihovim transportom, nekontroliranim ispuštanjem otpadnih onečišćenih voda, itd., značajnu ulogu ima i onečišćenje tla iz industrije posrednim putem – iz atmosfere. Poznati su štetni utjecaji emisija iz industrije na urbana i ruralna tla koja se nalaze i na većoj udaljenosti od samih izvora emisije. Naime, onečišćujuće tvari iz industrije koje dopiru u atmosferu mogu biti usljed strujanja zračnih masa transportirana na veću udaljenost, pa tek tada tzv. suhom gravitacijskom depozicijom ili pak "ispiranjem" atmosfere padalinama dospjeti na tlo.

#### 4.1.4. Najčešće onečišćujuće tvari u tlu

Prema dosadašnjim istraživanjima onečišćenosti tala i zastupljenost pojedinih djelatnosti u ukupnom onečišćenju tla, prvo mjesto zauzima industrija, a zatim procesi obrade i odlaganja otpada, energetska postrojenja itd. S obzirom na to, ovdje će se pozornost posvetiti utjecaju industrije na onečišćenje tla kao i najčešćim onečišćujućim tvarima u tlu čiji su najveći izvori industrijska postrojenja.

Ovisno o djelatnosti kojom se pojedina industrija bavi tj. o korištenim sirovinama, energentu i proizvodu koji nastaje, danas postoji niz različitih tehnoloških procesa iz kojih se najčešće kao onečišćujuće tvari javljaju: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HF, HCN, H<sub>2</sub>S, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, teški metali (Hg, Pb, Cr, Ni, Zn, Cd, Cu, Tl, As, V) i njihovi spojevi, fluoridi, radioaktivne tvari itd. Od organskih spojeva obično se javljaju: benzen, fenol, policiklički aromatski ugljikovodici (engl. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, PAH), poliklorirani bifenili (engl. *Polychlorinated Biphenyls*, PCB), postojane organske onečišćujuće tvari (engl. *Persistent Organic Pollutants*, POPs) poput polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina (engl. *Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins*, PCDD) i polikloriranih dibenzofurana (engl. *Polychlorinated Dibenzofurans*, PCDF), cijanidi, ulja i masti, itd.

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

**4.1.4.1 Teški metali u tlu** – su prisutni kao posljedica nakupljanja iz matičnog materijala<sup>60</sup> (litogeni izvori), a taj sadržaj nazivamo geogeni sadržaj teških metala, kao i procesa kojima je čovjek utjecao na njihovu pojavu/unos u tlo (antropogeni izvori)<sup>61-64</sup>. Onečišćenost tla teškim metalima se smatra stanjem tla kada njihov sadržaj može uzrokovati vidljiv ili mjerljiv poremećaj neke od ranije spomenutih uloga tla, a pri čemu se misli na sve uloge tla, a prije svega na njegovu plodnost ili utječe na zdravlje konzumenta biljke ili djeova biljke uzgajane na onečišćenom tlu. Postoji mnogo različitih antropogenih izvora teških metala koji se javljaju kao onečišćujuće tvari u tlu, a koje utječu na kvalitetu i podobnost njihove uporabe bez obzira radi li se o poljoprivrednim ili urbanim tlima.



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

Tla u svim urbanim sredinama općenito su onečišćena olovom (Pb), cinkom (Zn), kadmijem (Cd), kromom (Cr), bakrom (Cu), vanadijem (V), niklom (Ni), manganom (Mn), željezom (Fe), molibdenom (Mo), arsenom (As) i živom (Hg), a njihov osnovni izvor uz industriju proizvodnje i prerade metala su prometnice, vozila i drugi nespecifični urbani izvori<sup>65</sup> (ostatci boja, premaza i sl.).

Na temelju rezultata istraživanja<sup>66</sup> krajem 80-ih godina prošlog stoljeća, utvrđeno je da je u ukupnim atmosferskim depozicijama na globalnoj razini antropogeni udio čak 96% za Pb, 85% za Cd, 75% za V, 66% za Zn, 65% za Ni, 61% za As, 59% za Hg, 56% za Cu, 52% za Mo i 41% za Cr. U R. Hrvatskoj najveći udio u emisiji Pb (42,7%) imaju proizvodni procesi, izgaranje u termoenergetskim postrojenjima u emisiji As (59,4%) i Cr (48,4%), te izgaranje u industriji u emisiji Ni (59,3%), Hg (43,2%) i Cd (39,4%). Cestovni promet ima udio u emisiji Cd 28,5%.

Iako je dio teških metala u poljoprivrednom tlu geogenog podrijetla i dolazi iz matičnog supstrata, jedan dio od ukupno prisutne količine dolazi iz antropogenih izvora. To je obično taloženje iz atmosfere kao posljedica transporta čestica onečišćujućih tvari i aerosola iz procesa izgaranja fosilnih goriva i sličnih izvora, zatim organskih onečišćujućih tvari koje su posljedica primjene sredstava za zaštitu bilja i tla (herbicidi i pesticidi), mineralnih gnojiva i sl.

Pored atmosferske depozicije, u povećanju količina teških metala u tlu značajan je i doprinos poljoprivrede. Naime, utvrđeno je<sup>66</sup> da je onečišćenje tla s Pb i Zn uglavnom posljedica atmosferskom depozicijom, Cr i V uglavnom su porijeklom iz gnojiva, dok atmosferska depozicija i gnojidba imaju podjednak značaj u kontaminaciji tala s As, Cd i Ni.

Značajan dio pesticida, fungicida i herbicida također sadržavaju Cu, Zn, Fe, Mn, pa i As, a pojedini teški metali kao Cd i Pb unose se u tlo kao nečistoće prisutne u mineralnim gnojivima. Najveći značaj među mineralnim gnojivima u pogledu teških metala kao nečistoća imaju fosfatna gnojiva, tj. sirovi fosfati kao pojedinačna gnojiva ili kao sirovina za proizvodnju pojedinačnih i složenih mineralnim gnojiva. Pri tome najveću pozornost pridajemo koncentraciji Cd u fosfatnim mineralima, iako je i udio drugih teških metala vrlo značajan.

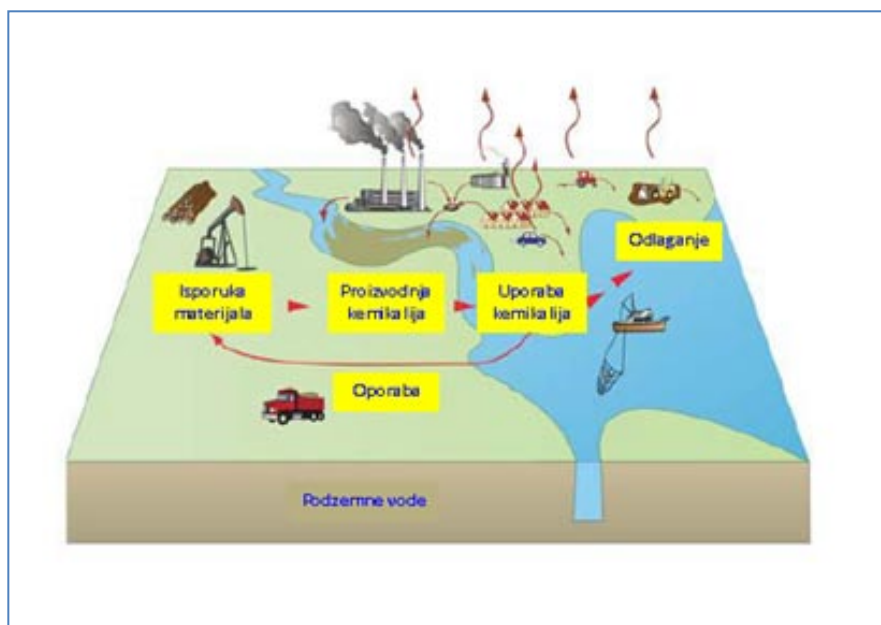
**4.1.4.2 Policiklički aromatski ugljikovodici (PAHs)** - su velika skupina organskih spojeva koji sadrže dva ili više kondenziranih aromatskih prstenova i ponekad ih se u domaćoj literaturi označava pokratom PAU, dok je uobičajenija pokratak PAH (engl. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*). Mnogi policiklički aromatski ugljikovodici nemaju sistematizirana imena jer je njihovo istraživanje i proučava-

nje započelo prije uvođenja sistematske nomenklature, pa su im imena izvedena prema njihovim karakteristikama - boji (*fluoranten* i *krizen*), imenu spoja iz kojeg su izolirani (npr. iz katrana kamenog ugljena *naftalen* i *piren*) ili obliku molekule (*koronen*)<sup>67</sup>.

Ovi spojevi nastaju nepotpunim izgaranjem ili pirolizom organskih tvari te su njihovi najvažniji izvori povezani s ljudskom djelatnošću premda u okoliš mogu dospjeti i prirodnim putem prilikom velikih šumskih požara i vulkanskih erupcija. PAH-ovi dopijevaju u okoliš emisijama iz brojnih industrijskih procesa kao što su eksploatacija ugljena, nafte i plina, proizvodnja benzina i drugih goriva<sup>67</sup>, prirodnog plina, energetskih postrojenja te postrojenja za proizvodnju željeznih<sup>68</sup> i neželjeznih metala i metalnih slitina (željeza, čelika, bakra, nikla, aluminija).

Policiklički aromatski ugljikovodici nastaju i prilikom spaljivanja otpada i raznih plastičnih masa u nedopuštenim i nekontroliranim uvjetima, a prisutni su i u ispušnim plinovima motornih vozila. Kućna ložišta su često jedan od glavnih izvora PAH u naseljima, osobito ako se rabe kruta goriva. Otrovnii su, kancerogeni i postojani u okolišu te imaju tendenciju akumulacije u ekosustvima.

Šumski požari i onečišćenost atmosfere industrijskim emisijama su glavni izvor ovih onečišćenja u tlu, a zahvaljujući transportu zračnim masama moguće ih je naći i u tlima na vrlo velikim udaljenostima od osnovnog izvora<sup>69</sup>, slika 31.



Slika 31. Pojednostavljen prikaz kretanja PAH u okolišu<sup>71</sup>

U posljednjih 100 do 129 godina sadržaj policikličkih aromatskih ugljikovodika značajno porastao i procjenjuje se da je njihova koncentracija u urbanim tlima 10 do 100 puta veća nego u udaljenim ruralnim tlima<sup>70</sup>. Obradiva poljoprivredna tla mogu biti kontaminirana ovim spojevima u slučaju uporabe biootpada koji se ko-

risti kao gnojivo<sup>71</sup>. Sudbina i ponašanje policikličkih aromatskih ugljikovodika u tlu u mnogome ovisi o značajkama tla i drugim uvjetima u tlu.

**4.1.4.3 Postojani organske polutanti** – je skupina organoklorovih spojeva koji su posljednjih nekoliko desetljeća u žarištu zanimanja i istraživanja znanstvenika zbog svoje rasprostranjenosti u čitavom okolišu i toksičnih učinaka na zdravlje ljudi i životinja.

Mogući izvori ovih spojeva su mnogobrojni i obično se javljaju kao ostaci u kultiviranom tlu nakon intenzivne primjene mineralnih gnojiva i različitih sredstva za zaštitu. U urbana tla dospjevaju taloženjem iz zraka i to kao posljedica emisija iz industrije kao npr. tekstilne, farmaceutske, industrije cementa i građevinskih materijala, metalurške i metaloprerađivačke industrije, energetskih postrojenja, postrojenja za obradu i spaljivanje otpada, itd<sup>72-76</sup>.

Svi ovi spojevi imaju izražene zajedničke značajke, poput postojanosti, lipofilnosti, toksičnosti, bioakumulacije i mogućnosti transporta zrakom na velike udaljenosti. Ovi organoklorovi spojevi pripadaju dobro poznatoj skupini postojanih organskih onečišćujućih tvari (engl. *Persistent Organic Pollutants*; POPs) koja onečišćuje okoliš i predstavlja jednu od značajnih opasnosti po ljudsko zdravlje. Zbog svojih svojstava POPs se mogu naći u svim sastavnicama okoliša i u njima se raspodjeljuju, a najčešće, prvi primalac odn. medij u kojem se pojavljuju je - zrak. U zrakospjevaju u plinskoj fazi i obično su vezani na površini čestica prašine.

Ovi spojevi onečišćuju i tlo gdje se čvrsto vežu na čestice tla koje se ponašaju kao okolišni skupljači i rezervoari ovih vrlo opasnih onečišćujućih tvari pa je tlo i identificirano kao najznačajniji sakupljač (akumulator) postojanih organskih onečišćujućih tvari koje se kreću između zraka i tla<sup>77-79</sup>.

Na taj način, tlo postaje sekundarni izvor onečišćenja koje prelazi u vodu, biljke i konzumente biljaka ili dijelova biljaka - životinje te naposljetku i samog čovjeka. Naime, ovi spojevi osim što se vežu na čestice tla, mogu biti otopljeni u tekućoj fazi/otopini tla, od kuda isprani kišnicom ili migracijom otopine tla mogu biti transportirani u dublje slojeve tla i podzemnu vodu.

Najrašireniji iz te skupine spojeva su poliklorirani bifenili (engl. *Polychlorinated Biphenyls*, PCBs), organoklorovi pesticidi (engl. *Organochlorine Pesticides*, OCPs) te dioksini ili punim imenom poliklorirani dibenzo-*p*-dioksini (engl. *Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins*, PCDDs) i furani čiji je puni naziv poliklorirani dibenzofurani (engl. *Polychlorinated Dibenzofurans*, PCDFs).

Premda je danas proizvodnja i upotreba ovih spojeva manje-više zabranjena i/ili ograničena, oni su još uvijek prisutni u svim sastavnicama okoliša i kruže unutar ekosustava, te se na taj način njihova koncentracija zadržava na tzv. ustaljenoj razini<sup>80</sup>.

**4.1.4.4 Radionuklidi u tlu** - su svi elementi koji se nalaze u prirodi, a čiji su redni brojevi veći od 83 (bizmut) su prirodno radioaktivni i mogu se grupirati u tri raspadne serije<sup>81</sup> ili radioaktivna niza. Prirodni radionuklidi javljaju se u većim ili manjim količinama u svim dijelovima ekosustava, a naročito je značajna njihova prisutnost u atmosferi, hidrosferi i pedosferi.

Pojava prirodnih radionuklida u atmosferi (tricij  $^3\text{H}$ , ugljik  $^{14}\text{C}$  i još neki) posljedica je kozmičkog zračenja. Oni s padalinama dospjevaju na površinu Zemlje, te se pojavljuju i u površinskim i podzemnim vodama, jezerima, morima i oceanima. Prisutnost pojedinih radionuklida u tlima posljedica je njihove koncentracije u izvornim stijenama, čijim trošenjem je nastalo tlo, pa tako npr. svi građevni materijali dobiveni uporabom stijena i tla kao sirovine, sadrže prirodne radionuklide uranovog ( $^{238}\text{U}$ ) iz kojeg su i najčešća radioaktivna onečišćenja poput  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$ , te radionuklidi torijevog niza ( $^{232}\text{Th}$ ) iz kojeg se radionuklidi rjeđe javljaju kao onečišćujuće tvari (polutanti). Kao onečišćujući radionuklid javlja se i radioaktivni izotop kalija ( $^{40}\text{K}$ ). Specifične aktivnosti najzastupljenijih radionuklida u litosferi<sup>82</sup> iznose  $40 \text{ Bqkg}^{-1}$  za  $^{226}\text{Ra}$ ,  $40 \text{ Bqkg}^{-1}$  za  $^{232}\text{Th}$  i  $400 \text{ Bqkg}^{-1}$  za  $^{40}\text{K}$ .

Uz u tlu prisutne radionuklide geogenog podrijetla, javljaju se i radionuklidi antropogenog podrijetla, koji uglavnom u tlo dospjevaju iz različitih industrijskih procesa, odlagališta proizvodnog otpada ili nuklearne djelatnosti<sup>83-85</sup>. Ove onečišćujuće tvari se u tlo unose depozicijom iz atmosfere, migracijom nekontrolirano ispuštenih otpadnih voda ili pak uporabom nus proizvoda i/ili otpada, koji mogu sadržavati umjetne radionuklide.

S obzirom na značaj radionuklida u očuvanju okoliša i zaštiti ljudskog zdravlja, postoje i nacionalni propisi o njihovom nadzoru u tlu<sup>86</sup> kojima je propisana dinamika i način uzorkovanja neobrađenog tla (1x/god; 3 uzorka 0-5, 5-10 i 10-15 cm) i obrađenog tla (1x/god. 1 uzorak 0-20 cm).

Naime, zbog vrlo široke primjene radioaktivnih elemenata u industriji, medicini, nuklearnoj tehnici, vojnoj industriji i sl. javlja se i radioaktivni otpad u obliku odbačene opreme, koji na različite načine dospijeva u metalni otpad (tzv. „staro željezo“) i onečišćuje ga. Kod uporabe metalnog otpada u procesima sekundarne proizvodnje metala pretaljivanjem, umjetni radionuklidi bivaju raspodjeljeni između otpadnih plinova, troske i same taline, te na taj način dalje dispergirani u okoliš<sup>87, 88</sup>.

Kako bi se suzbilo onečišćenje okoliša radionuklidima, pa tako i tla, posljednjih godina sve se više pozornosti posvećuje nadzoru ovih onečišćujućih tvari u industrijskim emisijama. Uvodi se kontrola radionuklida kako u sirovinama tako i u gotovim proizvodima u industrijama u kojima je pojava prirodnih, a posebice umjetnih radionuklida moguća. Ovo se posebno odnosi na kemijsku industriju<sup>89</sup>, proizvodnju cementa<sup>90-92</sup>, građevinskih materijala<sup>93,94</sup>, čelika<sup>95-99</sup> itd., iz kojih radionuklidi najčešće dospjevaju u okoliš emisijom u zrak, pa otuda na tlo, ili izravno na tlo iz troske i drugih otpadnih materijala odloženih na nezaštićene zemljane površine tj. neuređena odlagališta proizvodnog otpada.

#### 4.1.5 Granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu

Ocjena stupnja onečišćenosti nekom onečišćujućom tvari temelji se primarno na utjecaju te onečišćujuće tvari na biljke, ljudsko zdravlje i/ili okoliš. Pri tome, važno pitanje predstavljaju granične vrijednosti (GV) odnosno maksimalne dozvoljene koncentracije onečišćujućih tvari u tlu.

Za razliku od Republike Hrvatske u kojoj, osim Pravilnika o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja<sup>58</sup>, nema legislative koja propisuje granične vrijednosti pojedinih onečišćujućih tvari (teški metali, PAHs, POPs,...), pojedine zemlje EU pristupile su izradi graničnih vrijednosti koje su vezane uz različite načine korištenja zemljišta. Naime, propisane GV pojedinih onečišćujućih tvari za dječja igrališta odnosno područja u kojima se djeca duže vrijeme zadržavaju imaju zasebne granične vrijednosti, dok za pješčanike u dječjim vrtićima, igralištima i parkovima vrijede puno stroži kriteriji.

Područja za stanovanje, parkovi i područja za odmor, imaju različite GV u odnosu na one za tla namijenjena u industrijske i komercijalne svrhe, ili pak poljoprivredna za uzgoj povrtnih i drugih usjeva, te poljoprivredna zemljišta koje se koristi kao trajna zelena površina na kojima nema ispaše stoke.

Graničnim vrijednostima za teške metale treba pristupiti osobito pažljivo, budući da su fiziološka uloga i utjecaj teških metala na čovjeka, biljke i životinje još uvijek nedovoljno poznati. Naime, neki teški metali pripadaju skupini za život neophodnih, biogenih mikroelemenata, neki u odgovarajućem rasponu sadržaja u tlu imaju stimulativno djelovanje, drugi su štetni po biljni svijet ili pokazuju sinergističko djelovanje; jedna skupina je bez fiziološkog značaja, a jedan dio je toksičan i dovodi do anomalija u živim organizmima. Nadalje, teški metali uključeni u lanac ishrane iznad dopuštenog sadržaja uzrokuju akutna ili kronična oboljenja i smrt. Pri tome dolazi i do značajnijih razlika u djelovanju istog elementa u biljnom, odnosno životinjskom svijetu.

Granične vrijednosti sadržaja teških metala u tlima se također razlikuju od države do države, a u državama gdje je svijest o očuvanju okoliša viša, ili pak gdje su ovi problemi izraženiji, pojedine regije imaju zasebne strože kriterije za korištenje tla za različite namjene. Koliko se GV mogu međusobno razlikovati unutar zemalja članica EU, može se pokazati na primjeru tla namijenjenog u industrijske svrhe, tablica 3.

Među zemljama članicama EU granične koncentracije teških metala u tlima namijenim za druge svrhe također nisu ujednačene, pa se tako razlikuju od države do države, bez obzira radi li se o tlima namijenjenim rekreaciji, dječjim igralištima ili stanovanju, tablica 4.

Za sada, u legislativi Republike Hrvatske postoji samo Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja<sup>58</sup> kao jedini propis koji uređuje kvalitetu poljoprivrednog zemljišta, dok za tla namijenjena u druge svrhe (rekreacija, dječja igrališta, stanovanje, industrija) ne postoje propisane granične vrijednosti sadržaja onečišćujućih tvari, pa tako niti granične vrijednosti sadržaja teških metala.

Za razliku od RH, pojedine zemlje članice EU propisale su granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu<sup>100</sup> prema njegovoj namjeni (tla za poljoprivrednu proizvodnju, dječja igrališta, područja za stanovanje, parkovi i rekreacijska područja i područja za industrijske i komercijalne svrhe).

Tablica 3. Usporedba graničnih vrijednosti (GV) koncentracija teških metala u tlu za industrijske svrhe u nekim zemljama EU (C. Carlon i sur., 2007.)<sup>100</sup>

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

Tablica 4. Usporedba graničnih vrijednosti (GV) koncentracija teških metala u tlu stambenih naselja u nekim zemljama EU (C. Carlon i sur., 2007.)<sup>100</sup>

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

Tablica 5. Granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu prema različitim načinima korištenja tla (H. Mesić, A. Čidić, S. Dominković Alavanja i drugi, 2008.)<sup>59</sup>

Način korištenja tla →	Tla za poljoprivrednu proizvodnju	Dječja igrališta	Područja za stanovanje	Parkovi i rekreacijska područja	Područja za industrijske i komercijalne svrhe
Vrsta onečišćenja u tlu	(mg/kg suhog tla)				
<b>I. Metali ekstrahirani u zlatotopci:</b>					
Kadmij i njegovi spojevi (Cd)	2	5	10	30	50
Bakar i njegovi spojevi (Cu)	60	60	100	300	500
Nikal i njegovi spojevi (Ni)	50	100	70	200	500
Olovo i njegovi spojevi (Pb)	100	130	100	500	1.000
Cink i njegovi spojevi (Zn)	200	230	300	700	1.200
Krom, ukupni (Cr)	100	100	230	500	750
Živa i njezini spojevi (Hg)	2	5	10	30	50
Kobalt i njegovi spojevi (Co)	50	50	75	250	500
Molibden i njegovi spojevi (Mo)	10	10	40	250	500
Arsen i njegovi spojevi (As)	70	20	30	50	100
Barij i njegovi spojevi (Ba)	100	100	200	300	500
Vanadij i njegovi spojevi (V)	50	50	100	200	400
Talij i njegovi spojevi (Tl)	1	1	2	5	20
<b>2. Drugi anorganski spojevi</b>					
ukupni fluoridi	300	450	825	1.200	1.500
<b>3. Pojedinačna i ukupna koncentracija polcikličkih aromatskih ugljikovodika - PAH</b>					
Maftalen	0,1	0,1	0,25	0,25	1,0
Acenaftalen	0,1	0,1	0,25	0,25	1,0
Fluoren	0,1	0,1	0,3	0,25	1,0
Fenantren	0,2	0,1	0,6	1,5	4,5
Antracen	0,1	0,1	0,3	0,25	1,0
Fluoranten	0,2	0,2	0,5	1,5	3,0
Benzo(a)antracen	0,2	0,2	0,7	2	5,0
Benzo(a)piren	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Benzo(b)fluoranten	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Benzo(k)fluoranten	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Benzo (g, h, i) perilen	0,2	0,2	0,6	1,5	3,0
Krizen	0,2	0,2	0,6	3	7,5
Dibenzo(a,h)antracen	0,1	0,1	0,3	0,5	1,5
Indeno(1,2,3,-c,d)piren	0,2	0,2	0,7	1,5	5,0
Piren	0,2	0,2	0,6	3	7,5
Suma PAH-ova	2	2	7,5	20	50
<b>4a. Ukupna koncentracija polikloriranih bifenila PCB</b>					
PCB = PCB28 + PCB52 + PCB101 + PCB118 + PCB138 + PCB153 + PCB180	0,2	0,2	0,6	1	2
<b>4b. Insekticidi na bazi kloriranih ugljikovodika</b>					
DDT/DDD/DDE (ukupna koncentracija=DDT+DDD+DDT)	0,1	0,1	2	4	10
Drini (ukupna koncentracija= aidrini + diealdrini + endrini)	0,1	0,1	2	4	10
HCH spojevi (ukupna koncentracija = alfa-HCH +beta- HCH + gama-HCH + delta-HCH)	0,1	0,1	2	4	10
<b>4c. Druga fitofarmaceutska sredstva</b>					
Atrazin	0,01	0,01	3	6	8
Simazin	0,01	0,01	3	6	8

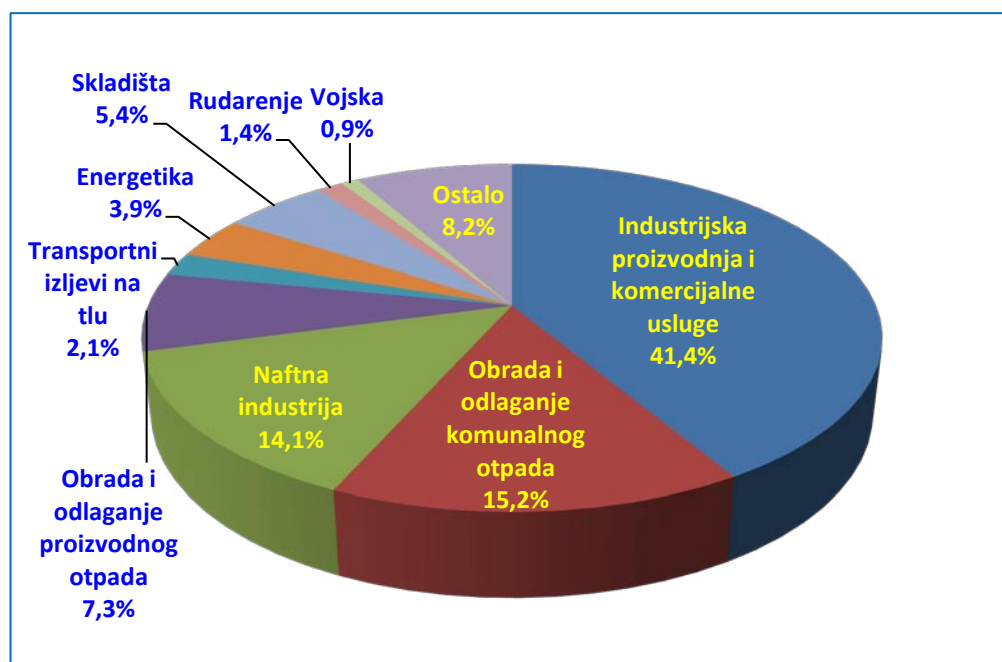


Budući su u nekim europskim državama (Njemačkoj, Švicarskoj, Sloveniji, Italiji i Slovačkoj) utvrđeni gotovo isti tipovi tala, slična geološka podloga, načini korištenja te osobito slični izvori potencijalnog onečišćenja tla kao i u nas, naši stručnjaci su odlučili načiniti *Prijedlog граниčnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu* prema različitim načinima korištenja, a za što su poslužile norme koje se koriste u navedenim državama. Prijedlog граниčnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu prema različitim načinima korištenja tla u Republici Hrvatskoj, prikazan je u tablici 5.

#### 4.1.6 Stanje onečišćenosti tla u Europi

Onečišćena tla predstavljaju značajan rizik za ljudsko zdravlje s obzirom da neke onečišćujuće tvari, poput npr. teških metala mogu dospjeti u pitke vode i hranu<sup>101</sup>. Velike količine otpada kao i intenzivna uporaba kemikalija u prošlosti su uzrokovali brojna onečišćenja tla, što i danas predstavlja okolišni problem i opasnost po vodene i kopnene ekosustave jer mogu uzrokovati značajne ekotoksikološke učinke<sup>102</sup>. Ako se izuzmu onečišćenja poljoprivrednih tala, koja su posljedica ostataka primijenjenih mineralnih gnojiva i sredstava za zaštitu bilja, onda se ostala onečišćena i/ili zagađena tla uglavnom nalaze u blizini odlagališta otpada, industrijskih postrojenja, energetske postrojenja, vojnih baza i sl.

Na razini Europske unije tek je 2006. usvojena strategija zaštite tla, dok je donošenje Okvirne direktive o zaštiti tla kao ključnog zakonskog okvira još uvijek predmet osporavanja dijela članica EU.



Slika 32. Udio pojedine djelatnosti u ukupnom onečišćenju europskih tala u 2006. godini (European Environment Agency, 2009.)<sup>103</sup>

O stanju onečišćenosti tala u Europi u početku je izvještavala Europska agencija za okoliš (engl. *European Environment Agency*, EEA) u suradnji sa zemljama partnerima s kojima je i započela razvijati politike relevantnih pokazatelja onečišćenja okoliša od kojih se *Unapređenje upravljanja zagađenih područja* odnosio na tlo. EEA je zadnji izvještaj<sup>103</sup> o stanju onečišćenih tala, na temelju prikupljenih podataka iz europskih zemalja, izdala 2006. godine putem svoga partnera Europske informacijska i promatračka mreža za okoliš (engl. *European Environment Information and Observation Network*, EIONET), slika 32.

Kasnije, u razdoblju 2011. do 2012., Europska središnjica za prikupljanje podataka o tlu (engl. *European Soil Data Centre*, ESDAC), organizirala je sličnu kampanju među 27 članica EU zajedno s Islandom, Lihtenštajnom, Norveškom, Švicarskom, Turskom i zemljama tzv. Zapadnog Balkana (Albanija, BiH, Hrvatska, Makedonija, Kosovo, Crna Gora i Srbija).

Naime, u okviru projekta planiranog Tematskom Strategijom za zaštitu tla EU, a kojeg je tijekom 2011. i 2012. godine provela organizacija ESDAC, prikupljeni su najnoviji podaci<sup>104</sup> o onečišćenim tlima u 38 europskih zemalja. Pri tome je posebna pozornost posvećena utjecaju industrijskog i komercijalnog sektora na onečišćenje tala, slika 33.

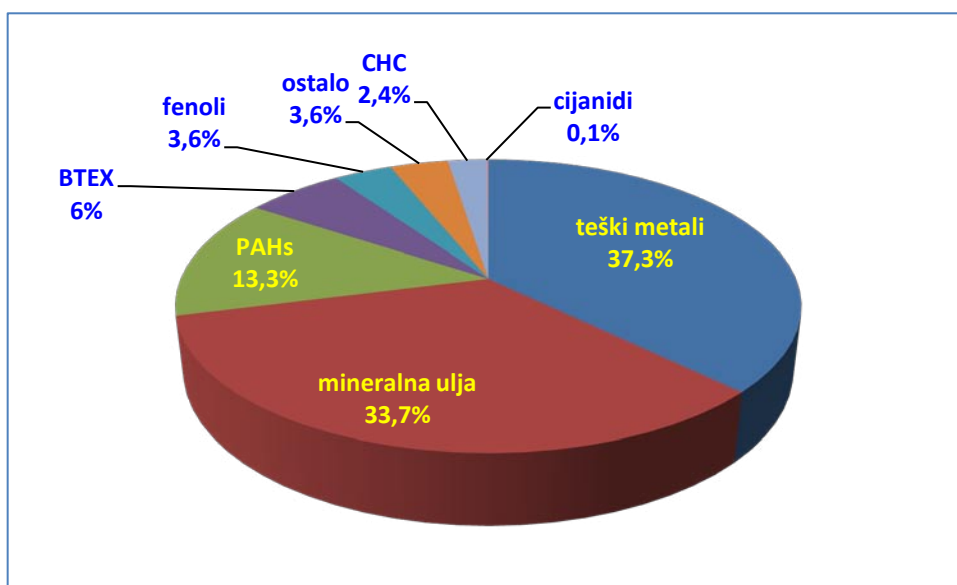


Slika 33. Udio pojedine djelatnosti u ukupnom onečišćenju europskih tala od 2011. do 2012. (P. Panagos i sur., 2013.)<sup>104</sup>

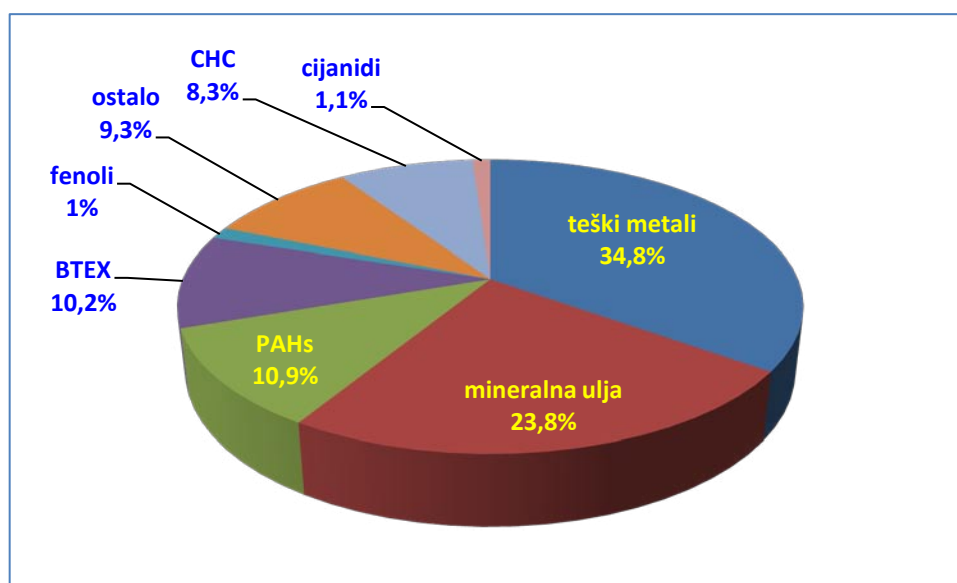
Onečišćene lokacije u tih 38 europskih zemalja uglavnom posljedica onečišćenja komunalnim i proizvodnim otpadom na što otpada oko 37% od ukupne onečišćene površine tla, zatim slijede lokacije onečišćene djelovanjem industrijskog/komercijalnog sektora koje čine 33% od ukupno površine onečišćenog tla<sup>104</sup>.

Na temelju podataka prikazanih na slikama 32 i 33 razvidno je da je učešće industrijske proizvodnje i komercijalnih usluga u ukupnom onečišćenju tala u izvješću za razdoblje od 2011. do 2012. godine znatno manje u odnosu na stanje iz 2006. godine, dok je učešće procesa obrade i odlaganje otpada u istom razdoblju poraslo u odnosu na stanje iz 2006. godine.

Onečišćujuće tvari koje se najčešće javljaju u tlu su teški metali, mineralna ulja, PAHs, monoaromatski ugljikovodici poput benzena, toluena, etilbenzena i ksilena, (engl. *Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, BTEX*), fenoli, klorirani ugljikovodici (engl. *Chlorinated Hydrocarbon CHC*) i ostalo, slike 34 i 35.

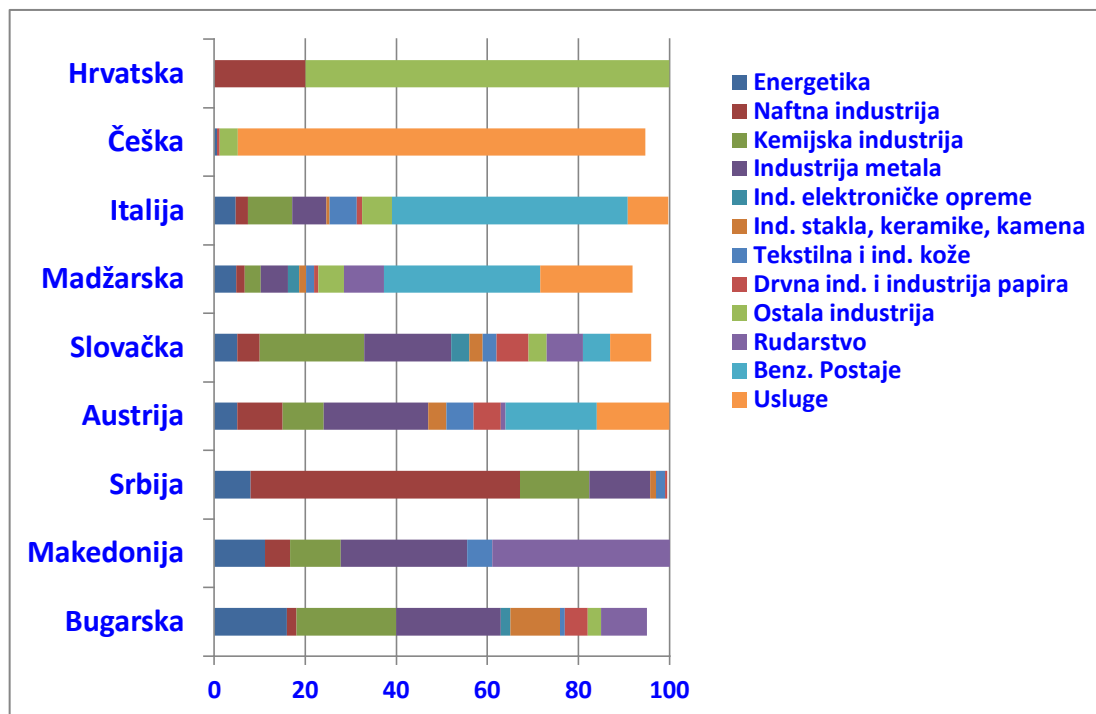


Slika 34. Udio pojedine vrste onečišćujućih tvari u ukupnom onečišćenju tala u 2006. godini (European Environment Agency, 2009.)<sup>103</sup>



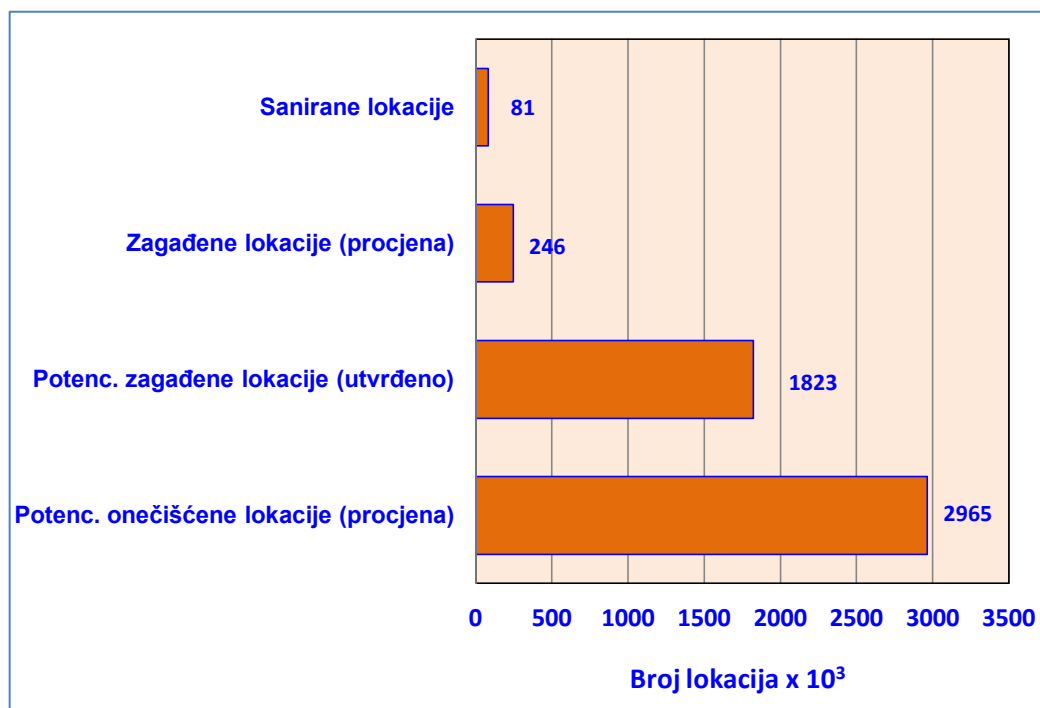
Slika 35. Udio pojedine vrste onečišćujućih tvari u ukupnom onečišćenju tala od 2011 do 2012. godine (P. Panagos i sur., 2013.)<sup>104</sup>

Europske agencije za okoliš (EEA) ispitala je i koliko pojedine djelatnosti utječu na ukupnu onečišćenost tala, pa je tako za promatrane 38 europske zemlje došla do rezultata koji ukazuju da najveći izvor onečišćenja tla<sup>105</sup> predstavlja industrija metala, kemijska industrija, naftna industrija, energetika, itd. Na temelju ovih podataka može se prikazati stanje tj. udjel pojedine industrije u ukupnom broju onečišćenih lokacija za RH i neke zemlje u regiji i EU, slika 36.



Slika 36. Pregled industrijskih djelatnosti kao izvora onečišćenja prema udjelu u ukupnom broju onečišćenih lokacija (European Environment Agency, 2009)<sup>106</sup>

Nadalje iz prikupljenih podataka<sup>106</sup> Europske agencije za okoliš (EEA) razvidno je da je do sada broj lokacija potencijalno onečišćenih tala narastao do gotovo 3 milijuna, broj utvrđenih potencijalno zagađenih lokacija iznosi oko 1,8 milijuna, a broj zagađenih lokacija procjenjuje se na oko 246 000, dok je broj saniranih lokacija samo 81 000, slika 37.



Slika 37. Pregled stanja onečišćenih tala u EU u 2006. godini  
(European Environment Agency, 2009)<sup>106</sup>

#### 4.1.7. Stanje onečišćenosti tla u R. Hrvatskoj

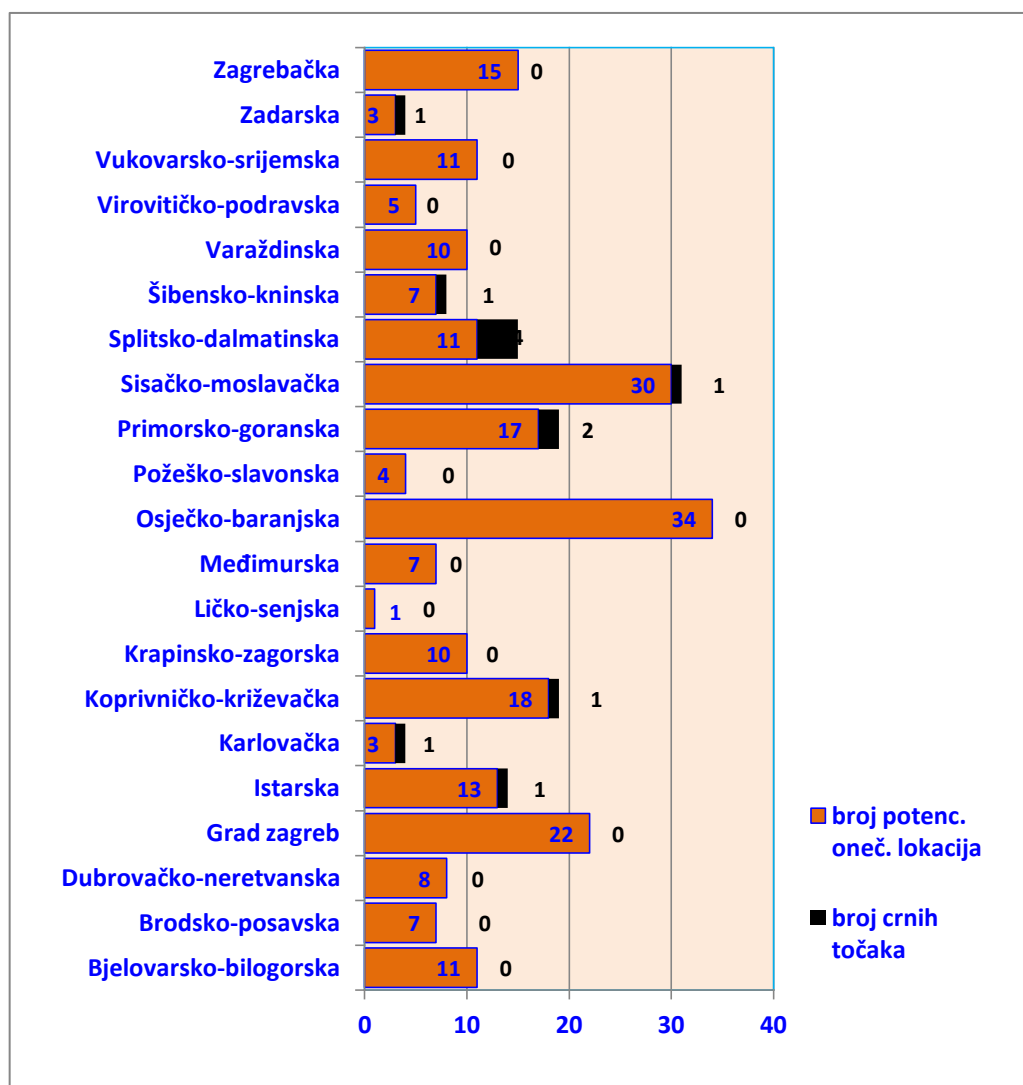
Što se tiče zaštite tla u R. Hrvatskoj situacija je slična onoj u EU. Naime, u RH, gdje temeljni zakonski akt o zaštiti tla ne postoji, iako se uz pitanja zaštite tla neposredno i posredno veže niz propisa - od onih iz područja zaštite okoliša, poljoprivrede i šumarstva do propisa vezanih uz onečišćivače koji svojom djelatnošću utječu na stanje tla te potencijalno mogu ugroziti kakvoću tla na pojedinim lokacijama.

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

Na temelju dostupnih relativno skromnih pojedinačnih podataka i informacija, o oštećenju tla može se općenito zaključiti da su na tlima u R. Hrvatskoj utvrđena lokalna onečišćenja mazivim uljima, policikličkim aromatskim ugljikovodicima (PAH), polikloriranim bifenilima (PCB), ostacima herbicida i teškim metalima uz prisustvo procesa erozije, zakiseljavanja tala i degradacije organske tvari, posebno na poljoprivrednim tlima<sup>107</sup>.

Lokalno onečišćenje zastupljeno je kao posljedica različitih incidenata u područjima intenzivne industrijske aktivnosti, na odlagalištima otpada na kojima nisu primijenjene propisane mjere zaštite te na područjima s rudarskom i vojnom aktivnošću, što je dovelo do pojave štetnih učinaka na okoliš.

U okviru aktivnosti koje su se odvijale na pojedinim lokacijama u projektu Izrada programa trajnog motrenja tala<sup>59</sup> provedenom 2008. godine, u Republici Hrvatskoj je evidentirano 2264 onečišćenih i potencijalno onečišćenih lokacija. Od tog broja, 247 su u takvom stanju da se preporučuje trajno motrenje tla s obzirom na položaj, visok stupanj onečišćenja i vrstu onečišćujućih tvari, slika 38.

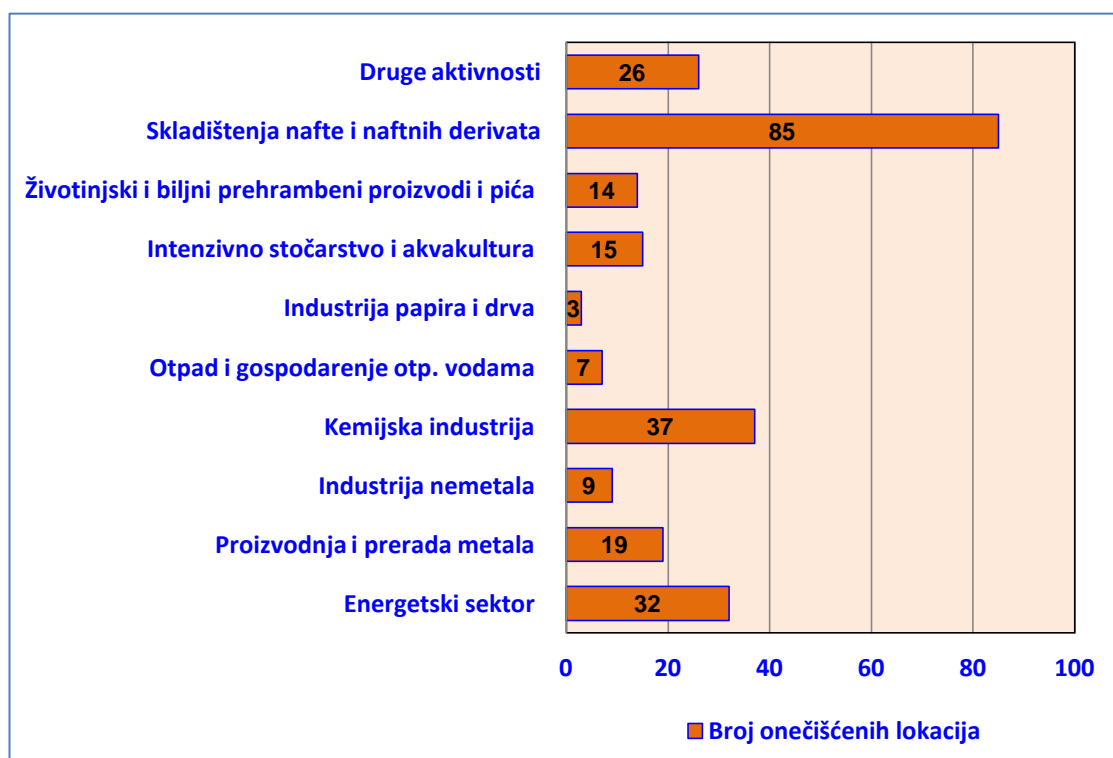


Slika 38. Broj potencijalno onečišćenih lokacija po županijama (grupa autora, 2008.)<sup>59</sup>

Iz podataka na slici 38 vidljivo je da je županija s najvećim brojem potencijalno onečišćenih lokacija Osječko-baranjska (34), a slijedi Sisačko-moslavačka s 30 i Grad Zagreb s 22 poten-



cijalno onečišćene lokacije. Najmanji broj nalazi se na području Ličko-senjske županije, gdje je utvrđena jedna (1) potencijalno onečišćena lokacija, te na području županija Zadarske i Karlovačke, gdje su utvrđene po tri (3) potencijalno onečišćene lokacije. Najveći broj potvrđeno onečišćenih lokacija zabilježen je na prostoru Splitsko-dalmatinske županije. U okviru spomenutog Programa trajnog motrenja tala u RH, analizom djelatnosti koje su se odvijale na pojedinim onečišćenim i potencijalno onečišćenim lokacijama te s obzirom na vrstu onečišćujućih tvari koje prisutne djelatnosti mogu generirati, za izdvojenih 247 lokacija, zaključeno je da najbrojnije izvore<sup>107</sup> onečišćenja predstavljaju skladišta nafte i naftnih derivata (85), kemijska industrija (37), energetska postrojenja (32), proizvodnja i prerada metala (19), itd., slika 39.



Slika 39. Uzročnici onečišćenja i broj potencijalno onečišćenih lokacija  
(grupa autora, 2012.)<sup>107</sup>

Lokacije s najzagađenijim tlima se prema *Strategiji gospodarenja otpadom*<sup>50</sup> nazivaju *crnim točkama*, a to su lokacije koje su nakon dugotrajnoga neprimjerenog gospodarenja proizvodnim otpadom toliko onečišćene da svojim postojanjem predstavljaju opasnost za okoliš i ljudsko zdravlje<sup>107-110</sup>.

Glavnina proizvodnog otpada (inertnog, neopasnog i opasnog) u prošlosti je odlagana na odlagališta komunalnog otpada, na neuređena odlagališta ili nezaštićene zemljane površine unutar tvorničkih dvorišta, zatim u depresije, jame od iskopa i drugdje. Ovakav način odlaganja

otpada unutar tvorničkih dvorišta, a vrlo često se radilo o odlaganjima na golim zemljanim nezaštićenim površinama, uzrokovao je pojavu mnoštva onečišćenih i/ili zagađenih tala.

U okviru provedenih istraživanja na području RH utvrđeno je 13 onečišćenih lokaliteta<sup>111</sup> ukupne površine oko 710 000 m<sup>2</sup>, koje su posljedica uglavnom industrijske djelatnosti, od kojih 9 ima prioritet u pogledu sanacije. Tako su od devet prioriternih lokacija onečišćenih proizvodnim otpadom do kolovoza 2013. godine sanirane četiri lokacije (odlagalište troske - TE Plomin I, Koksara-Bakar, tvornica Borovo-Vukovar i plaža Salbunara-otok Biševo), a sanacija sedam lokacija je u pripremi (bazeni tvornice glinice-Obrovac, zauljeni muljevi-Botovo, jama Sovjak-Rijeka, odlagalište troske/bivši Jugovinil-Kaštelanski zaljev, Lemić Brdo - kod Karlovca, odlagalište fosfogipsa Petrokemija-Kutina i bivši TVIK-Knin). Sanacija tla na lokaciji bivše tvornice elektroda i ferolegura TEF-Šibenik i tla uz tvornicu Salonit d.d. u stečaju je u tijeku, slika 40.



Slika 40. Pregled rasporeda lokacija *crnih točaka* na području R.Hrvatske (grupa autora, 2013.)<sup>111</sup>

Kako je već ranije rečeno, *crne točke* su lokacije visoko opterećene uglavnom proizvodnim otpadom nakon dugotrajnoga neprimjerenoga gospodarenja ovom vrstom otpada koji je dolazio iz naftne industrije, iz anorganskih tehnoloških procesa u obliku kiselina, lužina, soli teških metala, zatim, otpad iz proizvodnje mineralnih gnojiva, iz kožarske i tekstilne industrije,

otpad iz organskih kemijskih procesa, otpad od ostataka boja, lakova, te ambalaže i pesticida, otpad od fotoindustrije, otpad iz anorganskih termičkih procesa, otpadna ulja mineralnog podrijetla i otpadna organska otapala, gume vozila i otpad iz proizvodnje azbesta, te baterije i olovni akumulatori. Rezultati ispitivanja<sup>107</sup> onečišćenosti tla u RH za razdoblje od 2005. do 2008. godine pokazuju da su na ispitivanim lokacijama tla bila onečišćena uglavnom petrokemikalijama, policikličkim aromatskim ugljikovodicima, polikloriranim bifenilima, teškim metalima, ostacima sredstava za zaštitu bilja itd.

Nažalost, velika je vjerojatnost da postoji još ovakvih manjih ili većih lokaliteta, koji nisu obuhvaćeni dosadašnjim istraživanjima, a predstavljaju površine tla s visokim stupnjem onečišćenja.

Postoje i nedovoljno istražene lokacije poput odlagališta proizvodnog otpada na lokaciji koja se nalazi u krugu bivše Željezare Sisak, gdje je više desetaka godina odlagan proizvodni otpad iz industrije željeza i čelika. Na istoj lokaciji nalazi se odloženo i oko 100.000 m<sup>3</sup> neutralizacijskog mulja nastalog u postupku neutralizacije otpadne sulfatno kisele kupke<sup>112</sup> korištene pri dekapiranju čeličnih cijevi u fazi pripreme za vruće pocinčavanje, koji je godinama odlagan u prostor tzv. "industrijske lagune", slika 41 i 42.



Slika 41. Položaj "industrijske lagune" s odloženim otpadnim muljem iz pocinčavaonice bivše Željezare Sisak (T. Sofilić, 2013)

Navedena "industrijska laguna" je u stvari depresija tla površine oko 20 000 m<sup>2</sup> u neposrednoj blizini pocinčavaonice čeličnih cijevi, koja je sustavom cjevovoda bila povezana s bazenom za prihvat nastalog neutralizacijskog mulja iz postupka kemijske pripreme. S obzirom da nastali mulj u proteklih 30-tak godina nije zbrinjavan, danas je to napušteno industrijsko odlagalište proizvodnog otpada obraslo vegetacijom, koje predstavlja samo jednu u nizu neregistriranih onečišćenih lokacija tla, slika 42.



Slika 42. Slika "industrijske lagune" s odloženim otpadnim muljem iz pocinčavaonice bivše Željezare Sisak (Foto; T. Sofilić, 2007)

Osim oštećenja tla onečišćenjem, često se javljaju i oštećenja izazvana zaslanjivanjem, alkalizacijom tala, kao i njihovom dehumizacijom i erozijom.

Jedan od oblika onečišćenja tla je i onečišćenost radionuklidima, a koji za sada ne nalazi odgovarajuće mjesto u ispitivanjima onečišćenosti tala, iako je nizom objavljenih rezultata znanstvenih istraživanjima utvrđena prisutnost ovih onečišćujućih tvari kako u europskim, tako i u našim tlima<sup>83,113-115</sup>.

Koncentracije kalija ( $^{40}\text{K}$ ), urana ( $^{238}\text{U}$ ) i torija ( $^{232}\text{Th}$ ) u tlima Hrvatske variraju ovisno o tipovima izvornih stijena čijim su trošenjem tla nastala i o njihovom geokemijskom ponašanju tijekom procesa trošenja i izluživanja vodom. U tla se gnojidbom fosfatnim gnojivima unosi i  $^{238}\text{U}$ , kojeg se znatan udio relativno brzo ispire te dopijeva u podzemne i/ili drenažne vode.

Naime, tla sjevernog i istočnog dijela Hrvatske, pogotovo uzduž tokova Drave, Save i Dunava sadrže uran i torij, iako su ta tla u pravilu siromašnija ovim radionuklidima u odnosu na tla u Dalmaciji te većinu tala na području Gorskog kotara i Like<sup>114</sup>.

Pored prirodnih radionuklida, u tlima Hrvatske još uvijek se nalazi radioaktivni izotop cezija –  $^{137}\text{Cs}$ . On je deponiran suhim i/ili mokrim taloženjem iz atmosfere, pretežito ranih šezdesetih godina prošlog stoljeća kao posljedica atmosferskih pokusa nuklearnog oružja, odnosno 1986. nakon akcidenta u Černobilu. Na temelju utvrđene onečišćenost površinskog sloja (do 10 cm dubine) ispitivanih površina pod usjevima i travnjaka cezijem ( $^{137}\text{Cs}$ ), čija je specifična radioaktivnost iznosila od 115 do 9350  $\text{Bq m}^{-2}$ , može se zaključiti da su naša tla onečišćena ovim radionuklidom na razini koja je prosječna za onečišćenost tala središnje Europe<sup>115</sup>.



## 5. RUDARSTVO I METALURŠKA INDUSTRIJA - IZVOR ONEČIŠĆENJA TLA

Povijest industrijskog razvoja eksploatacije mineralnih sirovina i njihove prerade u metalurškim procesima obilježena je dužim ili kraćim razdobljima intenzivnog ugrožavanja i opterećenja okoliša što je imalo za posljedicu neposredno ili posredno onečišćenje okoliša, a ogledalo se u ugrožavanje zdravlja ljudi, ugrožavanju pojedinih biljnih i životinjskih vrsta, vodnih sustava, oštećenja materijalnih dobara, kao i nizu drugih negativnih učinaka, a posebice oštećenja tla.

Održivi razvoj civilizacije nije moguće zamisliti bez rudarstva koje predstavlja eksploataciju mineralnih sirovina iako je poznato da ova djelatnost ostavlja trajne štetne posljedice u okolišu koje se ogledavaju u: zauzimanju prostora, promjeni krajobraz, oštećenju tla, zraka i vode, emisiji buke u okoliš, štetnih utjecaja na mikroklimu, floru, faunu, promet i prometnu infrastrukturu, itd.

Prerada mineralnih sirovina i proizvodnja metala, a posebice integralna postrojenja za proizvodnju željeza i čelika, svojedobno su uvjetovala značajno povećanje broja emisijskih izvora i relativno visoke koncentracije štetnih tvari u okolišu.

### 5.1 Utjecaj eksploatacije mineralnih sirovina na onečišćenje tla

Rudarstvo ili eksploatacija mineralnih sirovina u R. Hrvatskoj<sup>116</sup> obuhvaća površinsku eksploataciju, eksploataciju s dna vodenih tokova i stajačica, eksploataciju s morskog dna, eksploataciju iz podzemlja i podmorja bušotinama te eksploataciju iz morske vode (evaporacija). Posebno negativan utjecaj, prvenstveno na krajobraz, ima eksploatacija s površinskih kopova. Glavni problemi su:

- niski prioritet zaštite okoliša zbog nepostojanja svijesti o održivom razvoju, te zbog niske ekonomske moći,
- onečišćenje zraka, vode i tla,
- neodgovarajuća proizvodna struktura industrije te zastarjela tehnologija i dotrajala industrijska oprema,
- loš smještaj proizvodnih pogona (blizina obradivih površina i stambenih naselja),
- manjak financijskih sredstava za industrijska ulaganja, restrukturiranje, uvođenje čistijih tehnologija itd. što je vrlo izraženo u R. Hrvatskoj.

Neadekvatan način eksploatacije mineralnih sirovina, bez obzira koji mu je glavni uzrok, uzrokovao je oštećenje tla. Naime, svjedoci smo mnogih postojećih napuštenih površinskih kopova u prostoru koji su rezultat minule rudarske proizvodnje kada su otvarani mnogi *kamenolomi*, *šljunčare*, *glinokopi* i drugi *rudarski objekti* prema lokalnim prilikama i potrebama graditeljstva, a o oblikovanju i prenamjeni završno otkopanih prostora nije se dovoljno vodilo računa.

Iako naša zemlja nije posebno bogata mineralnim sirovinama, pa tako nema ni izrazito razvijeno rudarstvo, rudarska djelatnost je još uvijek primarna gospodarska djelatnost bez koje nema najvećeg dijela prerađivačke industrije, energetike i građevinarstva. Jedna od vodećih gospodarskih djelatnosti u R. Hrvatskoj je naftno i plinsko gospodarstvo, koje se temelji na istraživanju i eksploataciji domaće nafte i prirodnog plina.

Pored eksploatacije nafte, koja na našem tlu ima 129-godišnju tradiciju, za R. Hrvatsku je najznačajnija eksploatacija nemetalnih čvrstih mineralnih sirovina: arhitektonsko-građevnog kamena, tehničko-građevnog kamena, građevnog pijeska i šljunka, sirovine za proizvodnju cementa, karbonatne sirovine za industrijsku preradu, kremenog pijeska, gips, barit, boksit, bentonitne gline, ciglarske gline itd.

Ležišta metalnih mineralnih sirovina u R. Hrvatskoj koja su ranije bila eksploatirana (rude bakra, željeza i cinka) su zatvorena s obzirom da se radi o malim rezervama i niskoj koncentraciji metala u rudi, te eksploatacija nema gospodarsku opravdanost.

Prema podacima<sup>117</sup>, do travnja 2005. godine u R. Hrvatskoj je bilo odobreno 651 eksploatacijsko polje, a za potrebe istraživanja mineralnih sirovina bila su odobrena i 183 istražna prostora. U to vrijeme je površina 57 eksploatacijskih polja ugljikovodika zauzimala 71 % površine ukupno odobrenih eksploatacijskih polja kopnenog djela R. Hrvatske.

Prema istom literaturnom izvoru, ukupna površina eksploatacijskih polja čvrstih mineralnih sirovina iznosila je 57 254 ha, a istražnih prostora 5 557 ha. Eksploatacijska polja čvrstih mineralnih sirovina imala su prosječnu površinu od 97,37 ha, a istražni prostori 30,37 ha.

U odnosu na ukupnu površinu R. Hrvatske eksploatacijska polja čvrstih mineralnih sirovina s istražnim prostorima iznosila su oko 1,1 %.

Do onečišćenja tla naftom i naftnim derivatima dolazi usljed eksploatacije, skladištenja i prerade, prijevoza i ukrcavanja, prijenosa cjevovodima, autocisternama, vagonima cisternama, a ne malim dijelom i pri akcidentnim izljevajima. Prema podacima iz 2010. godine, godišnje se proizvede 3,91 milijardi tona sirove nafte, a procjene su da od toga 0,1 % dospijeva u okoliš kao rezultat djelovanja čovjeka<sup>118</sup>.

Unatoč svim poduzetim mjerama predostrožnosti, gotovo je neizbježno da povremeno dolazi do onečišćenja tla uglavnom u vidu akcidentnih izljevanja i to najčešće zbog propuštanja naftovoda, slika 43.



Slika 43. Posljedice propuštanja kolektorskog naftovoda na naftnom polju Jamarice, R. Hrvatska, 2009. (onečišćeno oko 500 m<sup>2</sup> šumskog tla)<sup>119</sup>

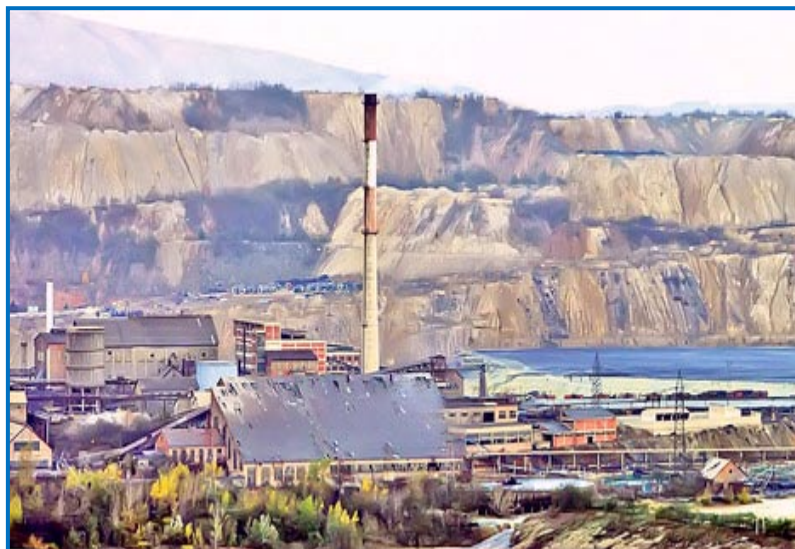
Taj oblik onečišćenja tla, ovisno o težini akcidenta, može na kraće ili dulje vrijeme dovesti u opasnost namjenu tla na kojem se dogodio incident, odnosno isključiti mogućnost njegovog korištenja za uzgoj biljaka.

U svrhu učinkovite sanacije prolivene nafte, vrlo je važno dobro poznavati način širenja nafte i otopljenih sastojaka, hlapljenje, biorazgradnju, razrjeđivanje, ponašanje nafte u tlu i njene učinke u tlu. Ugljikovodici imaju veliku sposobnost brze penetracije i ekspanzije u tlu<sup>6</sup>, a na površini strukturnih agregata tla formiraju nepropusni film koji sprječava pritjecanje vode i izmjenu plinova s atmosferom. Porastom koncentracije ugljikovodika u tlu opada njegova mikrobiološka aktivnost, što ima štetne posljedice na život biljaka.

Osim eksploatacije nafte, mogući izvori onečišćenja tla ima i eksploatacija čvrstih, posebice metalnih mineralnih sirovina. Iako R. Hrvatska gotovo i da nema eksploataciju metalnih mineralnih sirovina (sporadično boksit)<sup>117</sup>, značaj mogućeg štetnog utjecaja ove djelatnosti na tlo u regiji je relativno velik. Naime, tla u neposrednoj blizini rudnika su, zajedno s otpadnim vodama, izložena opasnosti od odložene jalovine.

Jalovina je materijal koji nastaje nakon procesa izdvajanja korisne frakcije rude, a nakon separacije se odlaže na tlo, slika 44, ili čak u rijeke.





<http://www.politika.rs/rubrike/Srbija/Ozelenece-rudnicka-jalovista-Bora.lt.html>

Slika 44. Beživotna brda jalovine uokolo rudnika bakra u Boru, Srbija

S obzirom da jalovina često sadrži visoke koncentracije teških metala kao i da se na jalovištima materijal odlaže kroz duži vremenski period, jalovina kao otpadni materijal, a posebice flotacijska jalovina<sup>120,121</sup> može biti uzrokom značajnih onečišćenja okoliša.

Jedno od većih onečišćenja tla u EU dogodilo se 2010. godine u gradiću Aika, Mađarska<sup>122</sup>, kada se iz jalovišta rude boksita proizvođača aluminija *Mal* izlilo oko 1,1 milijun m<sup>3</sup> crvenog toksičnog mulja i onečistilo oko 40 km<sup>2</sup> okolnog tla, slika 45.



Slika 45. Onečišćeno tlo muljem iz jalovišta rude boksita, Aika, Mađarska<sup>122</sup>

Sličan akcident se dogodio i 1998. godine u rudniku cinka i olova pored gradića Aznalcollar<sup>123</sup>, Španjolska, kada je iz jalovišta iscurilo u okoliš oko 5 milijuna m<sup>3</sup> mulja, slika 46. Taj otpadni mulj, koji je sadržavao i teške metale, onečistio je okolno tlo i rijeku Agrio, te izravno ugrozio i nacionalni park Doñana koji pripada UNESCO-voj svjetskoj baštini.



Slika 46. Izlijevanje mulja iz jalovišta rude cinka i olova, Aznalcollar, Španjolska<sup>123</sup>

## 5.2 Utjecaj procesa proizvodnje željeza i čelika na onečišćenje tla

Poznato je da među metalurškim pogonima za proizvodnju željeza i čelika, najveće izvore onečišćenja okoliša predstavljaju pogoni za proizvodnju metalurškog koksa, pogoni za sintiranje željezne rude, proizvodnju sirovog željeza visokopećnim postupkom i pogoni proizvodnje čelika<sup>124</sup>. Ova postrojenja svojim emisijama u okoliš, a prije svega u zrak i vode, a često i u tlo, opterećuju okoliš značajnim količinama sumpor (IV) oksida, ugljik (II) oksida, fluorida, amonijaka, teških metala, policikličkih aromatskih ugljikovodika, polikloriranih bifenila, polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina i polikloriranih dibenzofurana, cijanida, ulja i masti, suspendiranih tvari, a posebno su značajna opterećenja okoliša različitim proizvodnim otpadom (opasnim i neopasnim) kojeg se još uvijek često odlaze na vlastita neuređena odlagališta, slika 47.

Najčešće ovako odlagani proizvodni otpad čine različiti muljevi iz procesa pročišćavanja otpadnih plinova (koksare, sinter postrojenja, visoke peći, priprema rashladne vode), neobrađena visokopećna i čeličanska troska (šljaka), iskorišteni vatrootporni materijal, ogorina, metalne strugotine, itd.



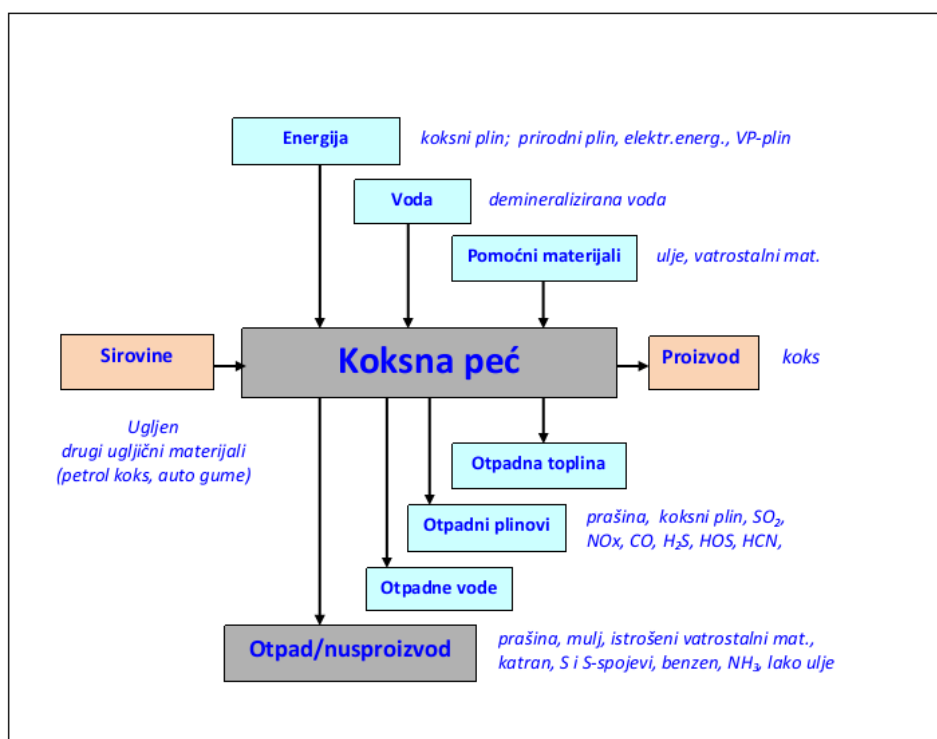
Slika 47. Neuređeno tvorničko odlagalište proizvodnog otpada u Željezari Sisak (Foto: T. Sofilić, 2007)

Tlo neuređenih tvorničkih odlagališta izravno je pod mogućim štetnim utjecajem otpada koji je na njemu odložen, pa nije rijedak slučaj da ispiranjem kišom dolazi do migracije topljivih štetnih tvari sa površine tla u podzemne vode, što izazva i štetne posljedice po okoliš u cjelini. Nadalje, tlo unutar tzv. industrijskog dvorišta, kao i tlo u blizini industrijskih postrojenja može biti i posredno onečišćeno nekontroliranim ispuštanjem otpadnih voda, ili taloženjem onečišćenja iz zraka koja na tlo dospjevaju ispiranjem kišom i gravitacijskim taloženjem.

### **5.2.1 Onečišćenje tla iz procesa proizvodnje koksa**

Metalurški koks se rabi u metalurgiji željeza i čelika tj. u procesima sinteriranja, visokopećnom procesu proizvodnje sirovog željeza i procesima proizvodnje čelika, ljevaonicama čeličnog i drugih ljevova, itd.

Metalurški koks se proizvodi u koksnim pećima iz ugljene mješavine koju čini kameni ugljen kao aktivna komponenta i drugih vrsta ugljena kao što su lignit i smeđi ugljen. Pri proizvodnji koksa u koksnim pećima (baterijama) pored ugljena kao osnovne sirovine za proizvodnju koksa, za uložak se rabe i drugi ugljični materijali, što ovisi o vrsti koksa koji se proizvodi, a pri čemu dolazi do emisije različitih onečišćenja u okoliš, slika 48.



Slika 48. Shematski prikaz tijeka tvari i energije u procesu proizvodnje koksa

Proces koksiranja se sastoji od niza složenih reakcija karbonizacije (cijepanje, aromatizacija i kondenzacija), pri čemu se izlučuju plinoviti i tekući nusproizvodi (koksni plin, katran, itd.), a ostaje koks, tablica 6.

Koksni plina sadrži plinovita i tekuća onečišćenja koja nastaju tijekom koksiranja, a to su uglavnom: katran, amonijačna voda, benzen i njegovi homolozi, naftalen, amonijak, sulfati, cijanovodonični spojevi i čestice prašine<sup>122</sup>. Većina krutog otpada sadrži opasne tvari kao što su benzen i policiklički aromatski ugljikovodici.

U svrhu „čišćenja“ koksno g plina, kako bi se spriječila prekomjerna emisija produkata izgaranja ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ) u zrak pri njegovom korištenju kao plinovitog goriva, koristi se dodatno instalirana komercijalizirana oprema za izdvajanje određenih štetnih tvari koje nosi sirovi koksni plin ( $\text{H}_2\text{S}$ , katran, naftalen, amonijak), a koje se na ovaj način iz kategorije otpad prevode u kategoriju nusproizvod.

Gotovo sve onečišćujuće tvari koje se javljaju u emisijama iz procesa proizvodnje koksa mogu dospjeti na tlo i u tlo, a njihova koncentracija u blizini industrijskog postrojenja tj. u tlu unutar industrijskog dvorišta kao i u okolnom tlu, ovisi o više čimbenika<sup>125,126</sup>. Najznačajniji među njima svakako je povijest postrojenja ili vrijeme tijekom kojeg je promatrano postrojenje radilo na određenoj lokaciji i "djelovalo" na tlo i okoliš u cjelini.

Važan čimbenik je i prosječna godišnja razina proizvodnje o kojoj ovise količine emitiranih onečišćujućih tvari u okoliš što je izravno povezano s količinom i vrstom onečišćujućih tvari koja može dospjeti u tlo, a jednako tako su važni i klimatski uvjeti lokacije koji utječu na onečišćenje tla štetnim tvarima iz zraka u neposrednoj blizini izvora ili pak njihov transport (zra-



čnim strujama) na manju ili veću udaljenost od izvora. To je bilo jako izraženo u prošlosti kada se očuvanju i zaštiti okoliša nije pridavala odgovarajuća pozornost, a zastarjela tehnologija nije imala sustave za pročišćavanje otpadnih plinova i otpadnih voda.

Tablica 6: Podaci o emisijskim vrijednostima za onečišćenja i otpade koji nastaju u procesima proizvodnje koksa u koksničkim pećima instaliranim u EU<sup>124</sup>

Proizvod	JM	Koksne peći u EU
<b>Koks (suhi)</b>	kg	1000
<b>Emisija u zrak</b>		
Prašina	g/t koksa	15,7-298
SO <sub>x</sub>	g/t koksa	80-900
NO <sub>x</sub>	g/t koksa	336-1783
NH <sub>3</sub>	g/t koksa	0,5-24,7
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	g/t koksa	2
HCN	g/t koksa	0,05-1,87
H <sub>2</sub> S	g/t koksa	12-100
CO	g/t koksa	200-4460
CO <sub>2</sub>	kg/t koksa	160-860
CH <sub>4</sub>	g/t koksa	1-80
TOC	g/t koksa	12-24
Benzen	g/t koksa	0,1-45
PAH	mg/t koksa	115-1091
PCDD/F	µg I-TEQ/Nm <sup>3</sup>	<0,1
<b>Otpadi/nusproizvodi</b>		
Koksni plin	Nm <sup>3</sup> /t koksa	360-518
Para	MJ/t koksa	9-1500
Benzen	kg/t koksa	5,3-14
Lako ulje (BTX)	kg/t koksa	9,1-14
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/t koksa	4,2-9
Katran	kg/t koksa	26-48
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/t koksa	28-48
Sumpor	kg/t koksa	0,9-2
Na-fenolat	kg/t koksa	1,4

Različite onečišćujuće tvari iz procesa proizvodnje koksa su manje ili više koncentrirane na različita mjesta unutar industrijskog dvorišta što ovisi o djelu procesa proizvodnje koji se na njemu odvija. Tako je područje na kojem se odlaže nabavljena ugljena sirovina uglavnom onečišćena ugljenom prašinom iz koje metali otopljeni padalinama dospijevaju u tlo. Istovremeno tlo ispod odlagališta otpada nastalog u procesu proizvodnje koksa može biti onečišćeno metalima odloženih istrošenih vatrostalnih opeka, CaO, CaCO<sub>3</sub>, katrana itd.

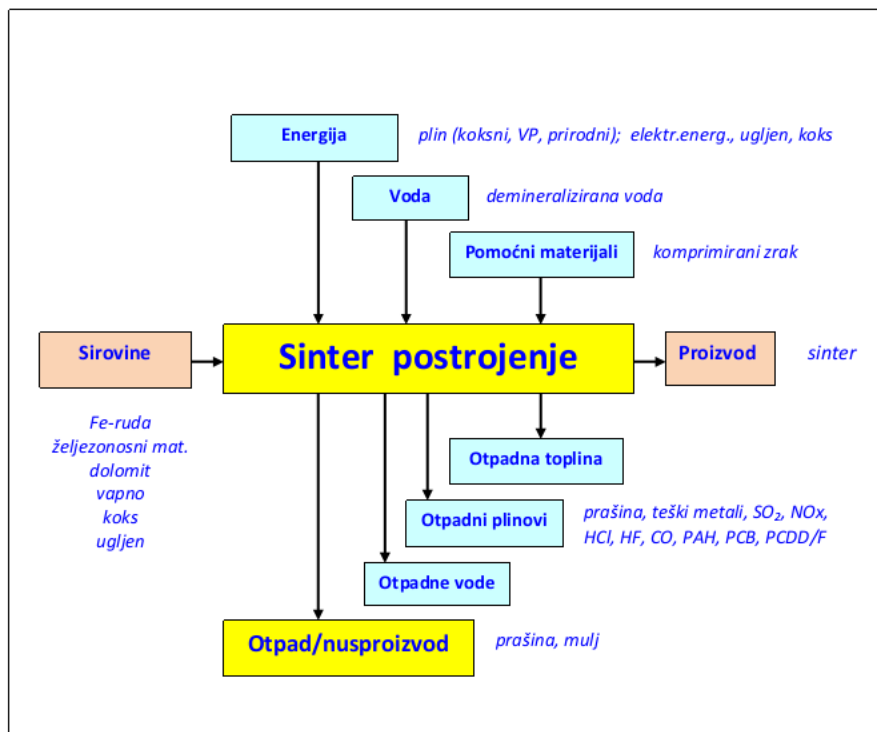
U postrojenju za obradu koksno-glinastog plina, nastalog u procesu koksiranja, izdvajaju se značajne količine opasnih organskih spojeva poput benzena, toluena, etilbenzena i ksilena (BTEX),

čijem rukovanju se mora posvetiti dužna pozornost, s obzirom da bi njihovo nekontrolirano izlivanje moglo imati za posljedicu onečišćenje tla.

Onečišćenje tla može biti i posljedicom izlivanja otpadnih voda od hlađenja koksa, stoga se u svrhu zaštite od onečišćenja, u postrojenjima za proizvodnju koksa primjenjuju posebne mjere koje uključuju: instaliranje najmanjeg mogućeg broja prirubnica i spojeva, stalni nadzor i redovito održavanje kritičnih mjesta. Istovremeno se poduzimaju sve mjere opreza pri skladištenju i prijevozu tvari koje predstavljaju opasnost od mogućeg onečišćenja tla.

### 5.2.2 Onečišćenje tla iz procesa sinteriranja željezne rude

Sinteriranje je proces okrupnjavanja sitnozrnatih ruda i koncentrata zagrijavanjem do temperature površinskog taljenja tj. temperature sinteriranja na kojoj se zrna sljepljuju u čvrste, ali porozne i ujednačene, po kemijskom sastavu, aglomerate/nakupine, tzv. sinter<sup>127,128</sup>. Sinteriranje željezne rude najrasprostranjeniji je postupak sinteriranja, pri čemu se koristi prethodno napravljena mješavina za sinteriranje koja se sastoji od željezne rude (smjese dviju ili više željeznih ruda različitog podrijetla i sadržaja željeza), dodataka i povratnog sintera. Dodaci su obično vapnenac, dolomit ili vapno koji se koriste kao topitelji te sitni koks ili ugljen koji služe kao gorivo, slika 49.



Slika 49. Shematski prikaz tijeka tvari i energije u procesu proizvodnje sintera

Upotrebom sintera pospješuje se rad visoke peći što se ogleda u boljem iskorištenju toplinske energije tijekom procesa proizvodnje sirovog željeza, poboljšava se proces formiranja troske i

prevođenje sumpora u trosku, smanjuje se utrošak koksa, povećava kvaliteta dobivenog željeza i znatno se povećava proizvodnost visoke peći.

Tijekom procesa sinteriranja željezne rude, nastali dimni plinovi sadrže uz čvrste čestice (prašina), teške metale, plinovita onečišćenja poput HCl, HF, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, lako hlapljive organske spojeve, policikličke aromatske ugljikovodike, poliklorirane bifenile, poliklorirane dibenzo-*p*-dioksine i poliklorirane dibenzofurane<sup>124,129</sup>, tablica 7.

Tablica 7: Podaci o emisijskim vrijednostima za onečišćenja i otpade koji nastaju pri sinteriranju željezne rude u postrojenjima instaliranim u EU<sup>124</sup>

Proizvod	JM	Sinter postrojenja u EU	
<b>Sinter</b>	kg	1000	
<b>Emisija u zrak</b>			
Prašina		40,7-559,4	
PM <sub>10</sub> - čestice promjera < 10µm	g/t sintera	66,30-177,13	
As	mg/t sintera	0,6-15	
Cd		0,2-276,7	
Cr		3,6-125,1	
Cu		1,9-600,5	
Hg		0,1-207	
Mn		3,4-539,4	
Ni		1,3-175,6	
Pb		26,1-5661,2	
Se		21,8-120,5	
Tl		0,5-86,6	
V		0,6-158,5	
Zn		2,1-1931,3	
HCl		g/t sintera	1,4-847,6
HF			0,4-8,2
NO <sub>x</sub>	302,1-1031,2		
SO <sub>2</sub>	219,9-973,3		
HCN	8783-37000		
CO	161533-368000		
CO <sub>2</sub>	35,5-412,5		
CH <sub>4</sub>	1,5-260,9		
PAH	mg/t sintera	0,2-591,7	
PCDD/F	µg I-TEQ/t sintera	0,15-16	
PCB	ng I-TEQ/t sintera	24,5-178	
<b>Otpadi/nusproizvodi</b>			
Prašina	g/t sintera	171,05-3641,29	
Mulj		472,73-4492,18	
Otpadna voda	m <sup>3</sup> /t sintera	0,03-0,06	

Sve navedene krute čestice koje se javljaju u emisijama u zrak iz procesa sinteriranja željezne rude, predstavljaju potencijalne onečišćujuće tvari i za tlo, te se stoga provode vrlo opsežne mjere pročišćavanja otpadnih plinova u za to posebno konstruiranim i instaliranim postroje-

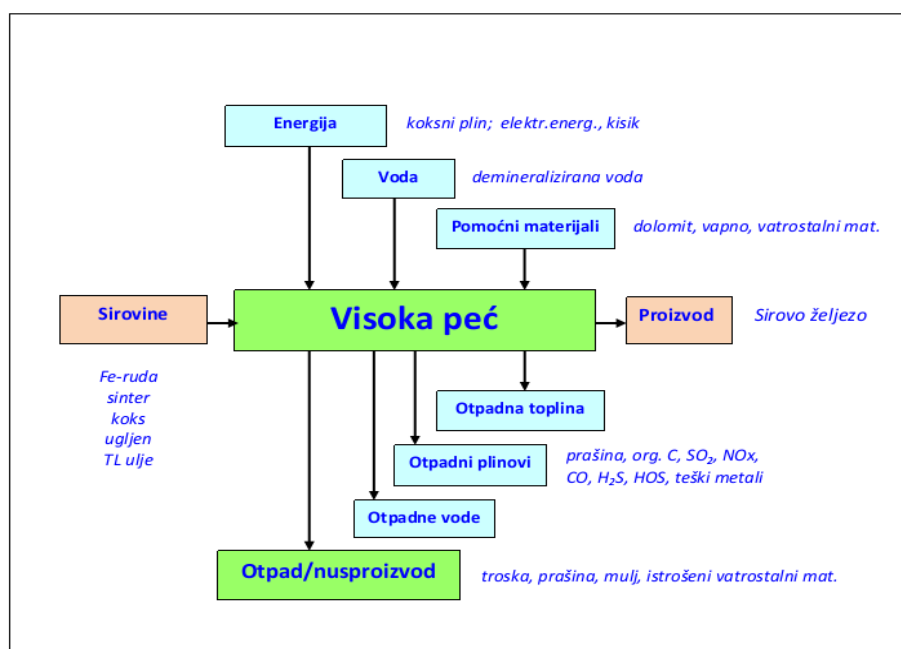


njima. Veći dio tako izdvojene prašine se reciklira u takvom postrojenju, te ona ne predstavlja opasnost po tlo, no ipak postoje otpadi koji nastaju u ovom procesu i koji mogu onečistiti tlo. To je prije svega mulj koji nastaje u postupku tzv. mokrog čišćenja otpadnih plinova, a koji se ponekad odlaže na tlo te filterska prašina iz elektrostatskog odvajачa prašine koja obično sadrži alkalijske kloride i sulfate.

Ukoliko postrojenje za sinteriranje rude nije opremljeno sustavom za obradu otpadnih voda, tada i one mogu u slučaju nekontroliranog izlivanja na tlo ili u vode, predstavljati opasnost po tlo i okoliš u cjelini, jer sadrže suspendirane tvari (uključujući teške metale), postojeane organske spojeve (PCDD i PCDF, PCB, PAH), fluoride, kloride, itd.

### 5.2.3 Onečišćenje tla iz procesa proizvodnje sirovog željeza visokopećnim postupkom

Željezo se kao tzv. sirovo željezo proizvodi u visokoj peći (VP) redukcijom željeznih oksidnih ruda (hematit, magnetit, limonit) ugljikom iz koksa. Nastalo sirovo željezo, koje u željeznoj osnovi, uz ostale konstituente (Mn, Si, S, P i drugo), sadrži i oko 4 % ugljika<sup>130</sup>. Prema podacima nekih proizvođača sirovog željeza u EU, za proizvodnju 1000 kg sirovog željeza visokopećnim postupkom, potrebno je ponekad i više od 3500 kg sirovine koju čini sinter, željezna ruda, peleti željezne rude, koks, vapno i drugi dodaci<sup>124</sup>, slika 50.



Slika 50. Shematski prikaz tijeka tvari i energije u procesu proizvodnje sirovog željeza visokopećnim postupkom

Za vrijeme procesa proizvodnje sirovog željeza, kao i granuliranja visokopećne troske, nastali dimni plinovi sadrže uz čvrste čestice prašine, cijanidne spojeve, teške metale, plinovita onečišćenja poput NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> i policikličke aromatske ugljikovodike<sup>124</sup>, tablica 8.

Tablica 8: Podaci o emisijskim vrijednostima za onečišćenja i otpade koji nastaju u procesima proizvodnje sirovog željeza u visokim pećima instaliranim u EU<sup>124</sup>

Proizvod	JM	Visoke peći u EU
<b>Sirovo željezo</b>	kg	1000
<b>Emisija u zrak za vrijeme izlivanja željeza iz VP</b>		
Prašina	g/t taline	0,42-41,95
PM <sub>10</sub> - čestice promjera < 10µm		0,26-25,92
SO <sub>2</sub>		7,34-193,80
NO <sub>x</sub>		2,08-2,08
CO		21,52-35,63
Cr	mg/t taline	2,7-10,41
Mn		45,12-53,02
Ni		1,99-10,61
Pb		2,19-24,33
Zn		3,81-12,9
Hg	µg/t taline	55,5-200,3
As		205,69-299,8
Cd		65,3-223,3
<b>Emisija u zrak – nepročišćeni otpadni plin iz VP</b>		
Ugljikovodici	mg/Nm <sup>3</sup>	3500-30000
Cijanidi (CN)		0,26-1,0
Amonijak		10-40
Benzo(a)piren		0,08-0,28
Fluoranten		0,15-0,56
<b>Emisija u zrak za vrijeme granuliranja VP troske</b>		
H <sub>2</sub> S	g/t taline	14-300
SO <sub>2</sub>		13-142
<b>Otpadi/nusproizvodi iz VP procesa (općenito)</b>		
VP- troska	kg/t taline	150-346,6
VP-prašina		3,4-18
VP-mulj		2-22,3
Prašina od pročišćavanja plina pri lijevanju		0,6-5,1
Istrošeni vatrost. materijal		0,3-5,9

I prije nego što se neke od navedenih onečišćujućih tvari iz procesa proizvodnje sirovog željeza pojave u emisijama u zrak, od kuda mogu dospjeti na tlo, te tako onečiti i tlo, ovaj pro-

ces može štetno utjecati na onečišćenje tla. Naime, pri rukovanju sirovinama i pratećim materijalima (ruda, sinter, koks, itd.) za vrijeme dopreme u tvornički krug kao i za vrijeme njihovog pretovara u sustav za doziranje u visoku peć (VP), vrlo često dolazi do "prašenja" i odnošenja čestica prašine zrakom na manju ili veću udaljenost od postrojenja. Ta prašine uslijed gravitacijskog taloženja ili ispiranja iz zraka oborinama, dospijeva na tlo, te ovisno o svojim fizikalno-kemijskim karakteristikama i ponašanja u interakciji s vodom u tlu i padalinama, može negativno djelovati na tlo.

Nadalje, onečišćujuće tvari koje se javljaju u otpadnim plinovima za vrijeme odvijanja procesa taljenja željezne rude u visokoj peći, a čije se emisije u atmosferu ne uspiju odstraniti sustavima za pročišćavanje plinova, na sličan način dospijevaju na tlo i mogu na njega štetno, ili pak različitim mehanizmima biti transportirane i u podzemne vode.

U postrojenju za obradu visokopećnog plina, nastalog u procesu proizvodnje sirovog željeza, izdvajaju se značajne količine tzv. visokopećnog mulja čijem se rukovanju, a posebice zbrinjavanju, mora posvetiti dužna pozornost, s obzirom da bi njegovo nekontrolirano odlaganje na tlo imalo za posljedicu onečišćenje tla.

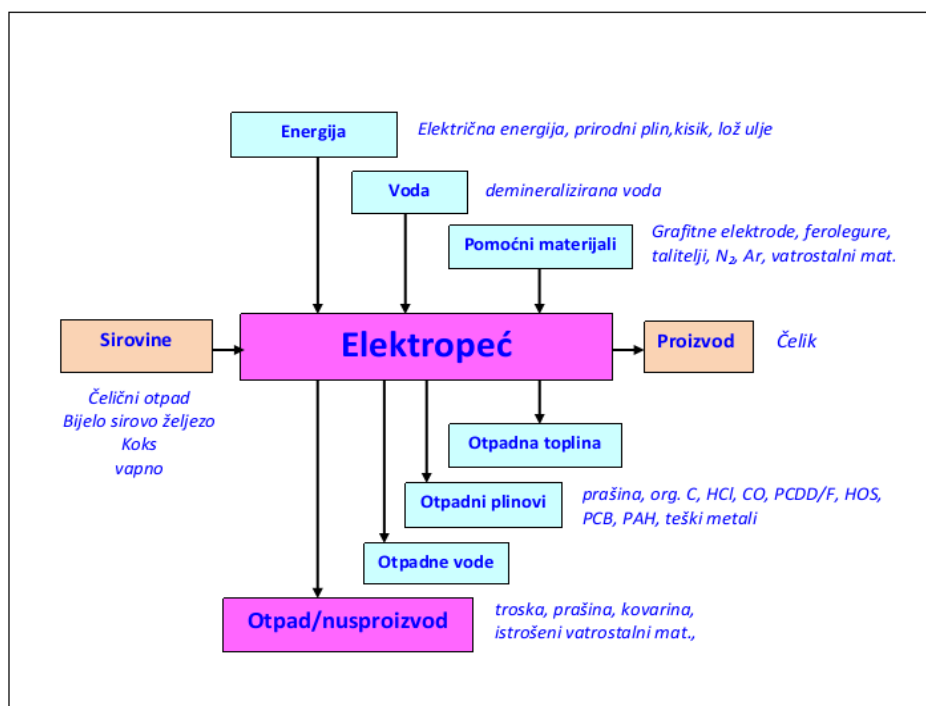
Naime, visokopećni mulj, ovisno o sastavu komponenti koje sudjeluju u proizvodnom procesu, obično sadrži visoke koncentracije ugljika, željeza, sumpora, mangana,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i dr. Ovako nastali mulj kao i visokopećna prašina izdvojena sustavom za tzv. suho čišćenje otpadnih plinova, velikim dijelom se reciklira (oko 64%), a nešto malo koristi u drugim industrijama (2-3%), a kako se zbog prisutnosti štetnih tvari, kao što su Pb, Cd, Zn, ne može potpuno reciklirati dio (oko 33%) se mora i trajno zbrinuti na zakonom propisan način<sup>124,131</sup>. Odlaganje se izvodi na odgovarajućim propisno uređenim odlagalištima (osigurano sprječavanje onečišćenja tla i drugih sastavnica ekosustava), a što ovisi o rezultatu karakterizacije visokopećnog mulja i njegovog razvrstavanja u kategoriju opasnog ili neopasnog otpada.

Otpadne vode iz procesa proizvodnje željeza VP-postupkom također predstavljaju potencijalnu opasnost za onečišćenja tla, te se s obzirom na njihov mogući sadržaj onečišćujućih tvari od kojih se neke zbog svoje toksičnosti svrstavaju u kategoriju *opasnih tvari*<sup>132</sup> (cijanidi, kloridi, fluoridi, sulfati, amonijak, fenol, teški metali) itd. moraju osigurati učinkovite mjere njihovog pročišćavanja i sprječavanja izravnog ili neizravnog utjecaja na tlo i okoliš uopće.

#### 5.2.4 Onečišćenje tla iz procesa proizvodnje čelika elektropečnim postupkom

Proizvodnja čelika u elektrolučnoj peći (ELP), jedan je od načina proizvodnje čelika i jedini u R. Hrvatskoj (Sisak i Split). Njegovo učešće u ukupnoj proizvodnji čelika u EU iznosi > 40%, a temelji se na preradi čeličnog otpada. Elektrolučne visokoučinske peći UHP (*engl. Ultra High Power*), koje najčešće čine jezgru miničeličana, odlikuju se velikom fleksibilnošću u zadovoljavanju promjenjivih potreba tržišta, ako se raspolaze potrebnom količinom električne energije i čeličnog otpada.

Postupak proizvodnje čelika elektropečnim postupkom sastoji se od četiri osnovne faze: ulaganje metalnog uloška, topljenje, oksidacija i rafinacija. Sirovina za elektropeč je čelični otpad („staro željezo“) i različiti nemetalni dodaci. Za formiranje troske u fazi topljenja uloška koristi se vapno, a kao topitelj, radi sniženja tališta troske, mogu se upotrebljavati različiti nemetalni dodaci (kalcijev fluorit ili sl.), slika 51.



Slika 51. Shematski prikaz tijeka tvari i energije u procesu proizvodnje čelika elektropečnim postupkom

Pri proizvodnji čelika u elektropečnoj peći (ELP), naročito u fazi taljenja i rafinacije, nastaju relativno velike količine dimnih plinova i prašine koji sadrže krute čestice, metalne okside (prije svega okside željeza, cinka i olova), CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, HCl, policikličke aromatske ugljikovodike, poliklorirane bifenile, poliklorirane dibenzo-*p*-dioksine i poliklorirane dibenzofurane<sup>124</sup>, tablica 9.

Onečišćenja tla, kao posljedica utjecaja elektropečnog postupka proizvodnje čelika, moguće je, kao i kod ostalih metalurških procesa, utvrditi ispod instaliranih agregata kao i u njihovom neposrednom okruženju, i to na površinama na kojima je skladištena sirovina, površinama na kojima je odlagan nastali otpad kao i površinama koje su bile podvrgnute utjecaju onečišćenog zraka kao i utjecaju otpadnih voda.

Jednako kao i kod ranije opisanih procesa i elektropečni proces proizvodnje čelika može negativno utjecati na okoliš emisijama u zrak i vode za vrijeme odvijanja samog procesa u peći, no jednako tako se negativni utjecaji na okoliš može i produljiti, ukoliko se, u procesu nastali nusproizvodi i/ili otpadi (neobrađena troska, iskorišteni vatrostalni materijal, ogorine, metalne

strugotine, različiti muljevi, prašine iz pročistača dimnih plinova, itd.) nekontrolirano odlažu na nezaštićeno tlo.

Tablica 9. Podaci o emisijskim vrijednostima onečišćenja i otpada koji nastaju u procesima proizvodnje čelika u elektropečima instaliranim u EU<sup>124</sup>

Proizvod	JM	Elektropeći u EU
<b>Čelik (talina)</b>	kg	1000
<b>Emisija u zrak</b>		
Prašina	g/t čel. taline	4-300
	mg/m <sup>3</sup> otp. plina	0,35-52
Hg	mg/t čel. taline	2-200
Pb		75-2850
Cr		12-2800
Ni		3-2000
Zn		200-24000
Cd		1-148
Cu		11-510
HF		0,04-15000
HCl		800-35250
SO <sub>2</sub>		g/t čel. taline
NO <sub>x</sub>	g/t čel. taline	13-460
CO	g/t čel. taline	50-4500
CO <sub>2</sub>	kg/t čel. taline	72-180
TOC	g/t čel. taline	35-260
Benzen	mg/t čel. taline	30-4400
Klorobenzeni		0,2-12
PAH		9-970
PCB		0,01-5
PCDD/F		μg I-TEQ/t č. taline
<b>Otpadi/nusproizvodi</b>		
Elektropečna troska	kg/t čel. taline	60-270
Troska iz lonac-peći (lončaste peći)		10-80
Prašina		10-30
Istrošeni vatrost. materijal		1,6-22,8

Na ovaj način, štetne tvari koje dospiju na tlo, mogu onečistiti tlo mijenjajući mu fizikalno-kemijske karakteristike (pH, kemijski sastav, kapacitet za vodu, kapacitet za zrak,...), odnosno korisna svojstva i kakvoću, što smatramo njegovim onečišćenjem, ili pak štetno utjecati na okoliš, te onemogućiti njegovo daljnje korištenje, što smatramo zagađenjem tla.

U literaturi se često susreću radovi u kojima se opisuju vrste štetnih tvari i utjecaji njihovih emisija na okoliš, a koje se javljaju u procesu proizvodnje čelika tj. za vrijeme rada peći<sup>133-136</sup> ili utjecaj nastalih otpada i u njima štetnih tvari, koje odložene na tlo mogu utjecati na okoliš<sup>137-141</sup>, dok je relativno malo radova o utjecaju ovog procesa prije njegovog početka<sup>142-144</sup>.

Naime, u postupku proizvodnje čelika elektropečnim postupkom kao sirovina koristi se (vrlo često i 100 %) čelični otpad, koji je gotovo uvijek onečišćen različitim anorganskim i organskim tvarima. Tako se npr. kao neželjene primjese u čeličnom otpadu često javljaju teški metali koji za vrijeme taljenja čeličnog otpada u peći, sudjeluju u vrlo složenim reakcijama pirolize i pirosinteze pri čemu nastaje niz spojeva koji predstavljaju potencijalna vrlo opasna onečišćenja okoliša i obično bivaju emitirani u okoliš s dimnim plinovima iz elektropeći. No, ponekad ova onečišćenja prisutna u čeličnom otpadu dospijevaju u okoliš, posebice u tlo, i prije nego dospiju u elektropeč tj. za vrijeme privremenog skladištenja čeličnog otpada na nezaštićenim površinama kao i za vrijeme njegove pripreme sječenjem na zahtijevane dimenzije. Onečišćenja i/ili neželjene primjese u čeličnom otpadu u obliku različitih prahova, nakupina, tekućih fluida, taloga i sl., a koja mogu biti anorganskog i organskog podrijetla, pod utjecajem atmosferilija bivaju isprana iz čeličnog otpada ili jednostavno rasuta po tlu, odnosno prolivena po tlu za vrijeme usitnjavanja čeličnog otpada sječenjem.

Vlastita istraživanja utjecaja povezanosti onečišćenosti zraka i tla metalima<sup>145</sup>, onečišćenosti tla u tvorničkom krugu čeličane<sup>146,147</sup>, kao i istraživanja onečišćenosti tla ispod industrijskog odlagališta otpada<sup>148</sup>, u izvjesnoj mjeri su bila otežana s obzirom na nedovoljno jasnu legislativu R. Hrvatske i neujednačenosti propisa čak i unutar zemalja članica EU, kada je riječ o graničnim vrijednostima (GV) sadržaja nekih onečišćujućih tvari, a posebice teških metala u tlu. Ova neujednačenost propisa o GV sadržaja teških metala odnosi se, kako na tlo namijenjeno u industrijske svrhe tako i na tla namijenjena drugim svrhama (dječja igrališta, stanovanja, parkovi i rekreacijska područja, tla za poljoprivredu).

**5.2.4.1 Onečišćenje tla privremenim skladištenjem čeličnog otpada** – Nabavljeni i privremeno odloženi čelični otpad vrlo često sadrži onečišćujuće tvari i/ili neželjene primjese u obliku različitih prahova, nakupina, tekućih fluida, taloga i sl. Te onečišćujuće tvari mogu biti anorganskog i organskog podrijetla, a pod utjecajem atmosferilija bivaju isprane iz čeličnog otpada ili jednostavno rasuta odnosno prolivena za vrijeme usitnjavanja čeličnog otpada sječenjem, slika 52a i 52b.





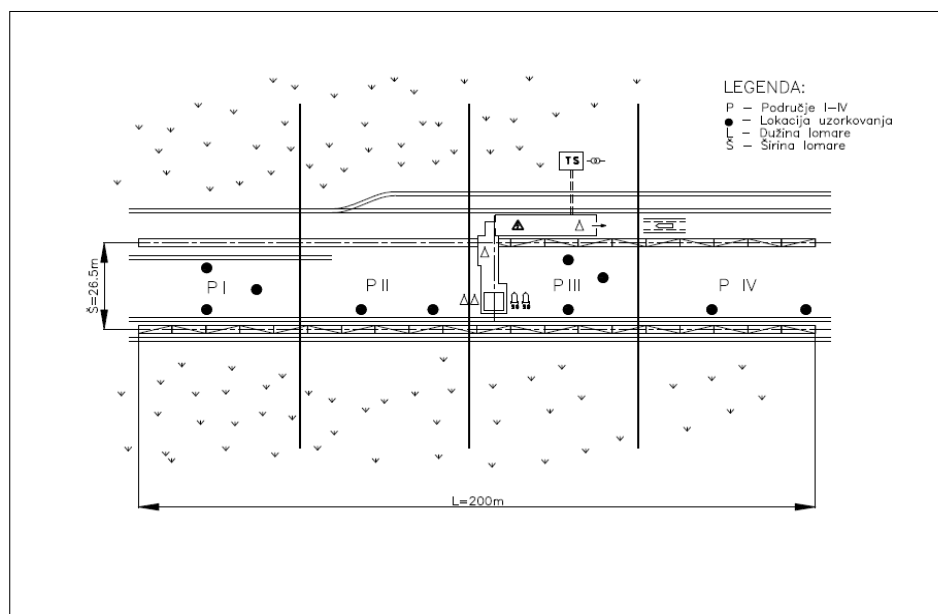
Slika 52a. Privremeno odlaganje čeličnog otpada u sisačkoj čeličani  
(Foto: T. Sofilić, 2009)



Slika 52b. Sječenje čeličnog otpada u sisačkoj čeličani  
(Foto: T. Sofilić, 2009)

Da bi se utvrdilo stanje onečišćenosti ne zaštićene travnate površine tla korištenog za privremeno odlaganje čeličnog otpada u sisačkoj čeličani<sup>146,147</sup>, određivan je sadržaj teških metala (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) u tlu na prostoru tzv. „lomare“ ukupne površine 5300 m<sup>2</sup>. Istraživano tlo je prije uzorkovanja podijeljeno na četiri

gotovo jednaka područja (PI, PII, PIII i PIV), slika 53. Iz svakog pojedinog područja uzimano je po nekoliko uzoraka tla s različitih dubina koji su pojedinačno analizirani, a od kojih su načinjeni i kompozitni uzorci.



Slika 53. Lokacije uzorkovanja tla na području „lomare“

Kao referentni uzorak uzet je jedan uzorak tla iz obližnje šume izvan tvorničkog kruga tvrtke na udaljenosti od oko 500 m zračne linije sjeverozapadno, a za koje se pretpostavlja da je izvan izravnog utjecaja djelatnosti koje se obavljaju na samoj lokaciji "lomare" te kao takav predstavlja prosječni kemijski sastav okolnog tla.

Da bi se utvrdio stupanj onečišćenosti bilo koje sastavnice ekosustava pa tako i tla, potrebno je utvrditi može li utvrđeno onečišćenje štetno utjecati na ljudsko zdravlje, odnosno utvrditi količinu unesene štetne tvari u tlo injene znad granične vrijednosti.

U Republici Hrvatskoj postoji samo *Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja*<sup>58</sup> kao jedini dokument koji propisuje koncentracije pojedinih tvari u tlu dok za tlo namijenjeno industrijskoj svrsi ne postoje propisane granične vrijednosti štetnih tj. onečišćujućih tvari, pa tako niti granične vrijednosti sadržaja teških metala.

Za razliku od Hrvatske pojedine zemlje Europske unije (EU) propisale su granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu<sup>100</sup> s obzirom na njegovu namjenu (poljoprivreda, stanovanje, rekreacija itd). S obzirom na sličnost između Hrvatske i država članica EU (slična geološka podloga, načini korištenja tala kao i slični izvori mogućeg onečišćenja tla), te s obzirom na manjkavost nacionalne legislative, gra-

nične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu nekih država članica EU, poslužile su kao osnova pri izradi prijedloga ovih graničnih vrijednosti u Hrvatskoj sadržanih u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*<sup>59</sup>.

Dobiveni rezultati određivanja sadržaja teških metala u uzorcima tla s prostora „lomare“ uspoređivani su s graničnim vrijednostima (GV) onečišćujućih tvari u tlu namijenjenom u industrijske i komercijalne svrhe navedenim u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*, tablica 10.

Tablica 10. Preporučene granične vrijednosti (GV) teških metala u tlu prema različitim načinima korištenja tla u R. Hrvatske<sup>59</sup>

Vrsta onečišćujuće tvari u tlu	Tla za poljoprivrednu proizvodnju	Dječja igrališta	Područja za stanovanje	Parkovi i rekreacijska područja	Područja za industrijske i komercijalne svrhe
	Preporučena GV (mg/kg suhe tvari)				
<b>Metali ekstrahirani u zlatotopci</b>					
Kadmij i njegovi spojevi (Cd)	2	5	10	30	50
Bakar i njegovi spojevi (Cu)	60	60	100	300	500
Nikal i njegovi spojevi (Ni)	50	50	70	200	500
Olovo i njegovi spojevi (Pb)	100	100	100	500	1000
Cink i njegovi spojevi (Zn)	200	200	300	700	1200
Krom ukupni (Cr)	100	100	200	500	750
Živa i njezini spojevi (Hg)	2	5	10	30	50

Rezultati određivanja sadržaja teških metala u uzorcima tla sa prostora „lomare“, tablica 11, pokazali su da ispitivano tlo onečišćeno cinkom, bakrom i olovom, dok su koncentracije Cd, Hg, Ni i Cr ispod vrijednosti za teške metale kao onečišćujućih tvari u tlu namijenjenom u industrijske i komercijalne svrhe predloženih kao GV u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*.

Tablica 11. Sadržaj teških metala u analiziranom tlu ispod „lomare” u odnosu na preporučene GV i vrijednosti izmjerene u referentnom uzorku tla

Metal	Sadržaj metala u tlu, mg/kg suhe tvari					
	P I	P II	P III	P IV	Prep. GV	Ref. uzorak
Cd	1,37	25,30	<0,001	<0,001	50	<0,01
Hg	0,58	2,43	3,23	1,42	50	0,162
Pb	558	<b>2538</b>	<b>2620</b>	<b>2724</b>	1000	49,82
Ni	25,27	321	477	263	500	34,14
Cu	155	<b>2239</b>	<b>722</b>	<b>643</b>	500	21,09
Cr	158	438	<b>1333</b>	437	750	57,86
Zn	508	<b>14851</b>	<b>2457</b>	<b>2907</b>	1200	284

Dobivene vrijednosti sadržaja teških metala u ispitivanim uzorcima tla sa prostora „lomare“ su uglavnom iznad vrijednosti za koncentracije istih metala u referentnom uzorku tla iz obližnje šume izvan tvorničkog kruga. Koncentracije metala u tlu „lomare“ koje su iznad predloženih graničnih vrijednosti su koncentracije Pb u uzorcima tla P II, P III i P IV, Cu u uzorku tla PI, Cr u uzorku PIII te Zn u uzorcima PII, PIII i PIV.

Za potrebe ocjene razine onečišćenja teškim metalima ispitivanog područja „lomare“ napravljena je usporedba vrijednosti dobivenih rezultata s rezultatima ranije provedenih određivanja sadržaja teških metala u tlu na području cijelog tvorničkog kruga, slika 54, ukupne površine oko 850 000 m<sup>2</sup>.

Na temelju usporedbe rezultata ispitivanja onečišćenosti tla „lomare“ može se zaključiti da je ono znatno opterećenije gotovo svim analiziranim metalima u odnosu na ostalo tlo cjelokupnog tvorničkog kruga, u kojem osim cinka, nije zabilježeno prekoračenje predložene GV onečišćujućih tvari u tlu namijenjenom u industrijske i komercijalne svrhe u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*.

Usporedba rezultata određivanja sadržaja teških metala kompozitnih uzoraka tla s područja „lomare“ s vrijednostima za potencijalno neprihvatljiv rizik za tlo korišteno u industriji, a koje su propisale neke druge države članice EU, tablica 12, ukazuje da koncentracija Cd i Hg ispod vrijednosti potencijalno neprihvatljivog rizika propisanih u Belgiji, Finskoj, Italiji, Poljskoj i Velikoj Britaniji tj. svim razmatranim zemljama koje imaju propisanu GV za ove teške metale.



Slika 54. Lokacije uzorkovanja tla na području „lomare“ i cijelog tvorničkog kruga (avio-snimak)<sup>148</sup>

Koncentracija Pb je samo u uzorku PI niža, dok je u uzorcima ostalih područja PII - PIV iznad vrijednosti propisanih u ovim državama, te se s obzirom na Pb, smatra onečišćenom.

Koncentracija Ni izmjerena u uzorku PI je ispod GV propisanih u svim navedenim zemljama EU, dok je koncentracija ovog metala u uzorcima tla PII, PIII i PIV ispod GV propisanih u Belgiji i Italiji, a premašuje GV u Finskoj i Poljskoj.

Onečišćenost područja „lomare“ bakrom, kromom i cinkom je vrlo izražena na što ukazuju i izmjerene vrijednosti koncentracija ovih metala koje su, izuzev u tlu područja PI, iznad GV propisanih u Belgiji, Finskoj, Italiji i Poljskoj za tlo namijenjeno u industrijske i komercijalne svrhe.

S obzirom na navedeno, ispitivano tlo „lomare“ može se smatrati kontaminiranim i to kao posljedica dugogodišnjeg privremenog odlaganja čeličnog otpada na nezaštićenim i nenatkrivenim zemljanim ploham.

Da bi se ovo spriječilo, potrebno je poduzeti određene radnje u pogledu zaštite ovog tla i sprječavanja daljnjeg onečišćenja, kako je to i predviđeno *Pravilnikom o gospodarenju otpadom*<sup>149</sup>, a što se odnosi prije svega na natkrivanje tih površina te izrade betonske podloge kako bi se spriječilo ispiranje onečišćujućih tvari oborinskim vodama iz čeličnog otpada i njihovog prodiranja u tlo i podzemne vode.

Tablica 12. Sadržaj teških metala u analiziranom tlu ispod “lomara” u odnosu na GV sadržaja metala u tlu nekih zemalja EU

Metal	„lomara“		GV sadržaja metala u tlu namijenjenom u ind. svrhe, mg/kg suhe tvari					
	Područje	mg/kg suhe tvari	Belgija /Flandrija/	Belgija /Valonija/	Finska	Italija	Poljska	Velika Britanija
Cd	P I	1,37	30	50	20	15	13	1400
	P II	25,30						
	P III	<0,001						
	P IV	<0,001						
Hg	P I	0,58	30	84	5	5	27	480
	P II	2,43						
	P III	3,23						
	P IV	1,42						
Pb	P I	558	2500	1360	750	1000	600	750
	P II	2538						
	P III	2620						
	P IV	2724						
Ni	P I	25,27	700	500	150	500	285	-
	P II	321						
	P III	477						
	P IV	263						
Cu	P I	155	800	500	200	600	600	-
	P II	2239						
	P III	722						
	P IV	643						
Cr	P I	158	800	700	300	800	475	5000
	P II	438						
	P III	1333						
	P IV	437						
Zn	P I	508	3000	1300	400	1500	1650	-
	P II	14851						
	P III	2457						
	P IV	2907						

**5.2.4.2 Onečišćenje tla odlaganjem proizvodnog otpada** – Tijekom proizvodnje čelika i čeličnih cijevi u nekada poznatom metalurškom gigantu Željezari Sisak, proizvodni otpad se više desetljeća odlagao na tzv. tvorničko neuređeno odlagalište, slika 55.





Slika 55. Avio-snimak odlagališta proizvodnog otpada u bivšoj Željezari Sisak

Na ukupnoj površini većoj od 10 ha, odlagano je nekoliko vrsta proizvodnog otpada poput neobrađene čeličanske troske/šljake, kovarine, istrošenog vatrostalnog materijala i muljeva od čišćenja i dekarbonizacije vode. Istovremeno je na ovo odlagalište nekontrolirano odlagan i drugi neopasni otpad nastao kao posljedica održavanja, rekonstrukcije i izgradnje proizvodnih linija i građevina poput mješavine opeka, žbuke i betona, drvene građe i ambalaže, papira, tekstila itd., slika 56.

U svrhu ispitivanja onečišćenosti tla teškim metalima (Cd, Cr, Cu, Hg Ni, Pb i Zn) ispod odlagališta otpada i njegovog višegodišnjeg utjecaja na tlo<sup>148</sup>, uzorkovanje tla obavljeno je nakon čišćenja i odvoza otpada sa dijela odlagališta, slika 57. Uzorkovanje pojedinačnih i formiranje prosječnih uzoraka tla s područja odlagališta provedeno je sukladno smjernicama *Programa trajnog motrenja tala Hrvatske*, pa je tako u središtu očišćenog dijela odlagališta otvoren pedološki profil kako bi se utvrdio broj horizonata, odnosno dubine iz kojih su uzimani pojedinačni uzorci tla.

S obzirom da iz procesa proizvodnje ugljičnih nelegiranih čelika u Željezari Sisak nije bilo za očekivati onečišćenost tla arsenom, barijem, kobaltom, molibdenom, vanadijem i talijem, ti metali nisu analizirani.



Slika 56. Izgled nekontrolirano odlaganog neopasnog otpada na odlagalištu unutar tvorničkog kruga Željezare Sisak (Foto: T. Sofilić, 2008)



Slika 57. Izgled odlagališta nakon čišćenja neopasnog otpada na odlagalištu unutar tvorničkog kruga Željezare Sisak (Foto: T. Sofilić, 2008)

S obzirom na veličinu lokacije (2 000 - 3 000 m<sup>2</sup>) unutar odlagališta te preporuci o broju prosječnih uzoraka za potencijalno onečišćene lokacije, formirana su dva kompozitna uzorka s ispitivanog područja odlagališta (A1 i A2).

Da bi se utvrdilo eventualno onečišćenje tla uzrokovano onečišćujućim tvarima koje su se godinama pojavljivale u emisijama iz procesa proizvodnih pogona, te bivale istaložene na tlo iz zraka (usljed gravitacije ili ispirane oborinama) uzeti su uzorci površinskog sloja tla 0-10 cm (B1-B9) uokolo proizvodnih pogona, te je u njima ispitan sadržaj istih teških metala kao i u uzorcima tla ispod odlagališta (Cd, Cr, Cu, Hg Ni, Pb i Zn).

Kao referentni uzorak poslužio je uzorak tla uzet iz obližnje šume izvan tvorničkog kruga Željezare Sisak na udaljenosti od cca 1290 m zračne linije sjeverozapadno, a za koje se smatra da je bilo izvan izravnog utjecaja odloženog otpada na ispitivanom odlagalištu, te kao takav predstavlja prosječni kemijski sastav okolnog tla.

Dobiveni rezultati određivanja sadržaja teških metala u kompozitnim uzorcima tla s prostora odlagališta otpada uspoređivani su s preporučenim graničnim vrijednostima (GV) onečišćujućih tvari u tlu namijenjenom u industrijske i komercijalne svrhe navedenim u *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske* i izmjerenim koncentracijama istih metala u referentnom uzorku tla, tablica 13.

Tablica 13. Sadržaj teških metala u analiziranom tlu ispod odlagališta otpada u odnosu na preporučene GV sadržaja metala u tlu namijenjenom u industrijske svrhe u RH i sadržaja metala u referentnom uzorku

Metal	Sadržaj metala u tlu (mg/kg suhe tvari)			
	Kompozitni uzorak		Ref. uzorak	Prep. GV
	A1	A2		
<b>Cd</b>	19,33	17,72	<0,01	50
<b>Hg</b>	0,034	0,667	0,162	50
<b>Pb</b>	24,73	81,62	49,82	1000
<b>Ni</b>	313	399	34,14	500
<b>Cu</b>	<b>916</b>	<b>1018</b>	21,09	500
<b>Cr</b>	<b>756</b>	<b>766</b>	57,86	750
<b>Zn</b>	78,01	296	284	1200

Izmjerene vrijednosti sadržaja teških metala u kompozitnim uzorcima tla uzorkovanim na prostoru odlagališta uglavnom su ispod preporučene GV za većinu metala u tlima namijenjenim u industrijske svrhe, izuzev sadržaja bakra i kroma koji su iznad preporučene GV.

U odnosu na referentni uzorak, izmjerene vrijednosti sadržaja svih analiziranih teških metala u kompozitnim uzorcima su iznad sadržaja istih metala u referentnom uzorku, te se stoga tlo ispod odlagališta može smatrati onečišćenim ovim teškim metalima u odnosu na okolno tlo.

Dobiveni rezultati sadržaja teških metala (Cd, Cr, Cu, Hg Ni, Pb i Zn) u tlu ispod odlagališta otpada uspoređeni su s GV istih metala u tlu namijenjenom u industrijske svrhe, a koje su propisale neke druge države članice EU, tablica 14.

Tablica 14. Sadržaj teških metala u analiziranom tlu ispod odlagališta otpada u odnosu na referentni uzorak i GV teških metala u tlu namijenjenom u industrijske svrhe drugih zemalja EU

Metal	Sadržaj metala u tlu (mg/kg suhe tvari)								
	Kompozitni uzorak		Ref. uzorak	GV					
				Belgija /Flandrija/	Belgija /Valonija/	Finska	Italija	Poljska	Velika Britanija
Cd	A1	19,33	<0,001	30	50	20	15	13	1400
	A2	17,72							
Hg	A1	0,034	0,162	30	84	5	5	27	480
	A2	0,667							
Pb	A1	24,73	49,82	2500	1360	750	1000	600	750
	A2	81,62							
Ni	A1	313	34,14	700	500	150	500	285	-
	A2	399							
Cu	A1	916	21,09	800	500	200	600	600	-
	A2	1018							
Cr	A1	756	57,84	800	700	300	800	475	5000
	A2	766							
Zn	A1	78,01	284	3000	1300	400	1500	1650	-
	A2	296							

Usporedba rezultata prikazanih u tablici 14, ukazuje da je samo koncentracija bakra iznad vrijednosti potencijalno neprihvatljivog rizika propisanih u razmatranim zemljama EU koje imaju propisanu GV za ove teške metale, dok je izmjerena koncentracija kroma iznad GV u Belgiji (Valonija), Finskoj i Poljskoj, koncentracija nikla je iznad GV u Finskoj i Poljskoj, a kadmija iznad GV u Italiji i Poljskoj. Rezultati određivanja sadržaja teških metala u kompozitnim uzorcima tla s prostora odlagališta otpada uspoređivani su i s rezultatima analize većine metala u uzorcima tla uzorkovanim uokolo proizvodnih pogona, odnosno ostatka tvorničkog kruga, kako je već ranije prikazano na slici 53, tablica 15.

Tablica 15. Sadržaj teških metala u analiziranom tlu ispod odlagališta otpada u odnosu na sadržaj istih metala u tlu tvorničkog kruga

Metal	Sadržaj metala u tlu (mg/kg suhe tvari)											
	Tlo odlagališta		Tlo tvorničkog kruga									Prep. GV
	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
Cd	19,33	17,72	0,88	0,17	0,90	0,82	2,43	3,29	4,09	0,73	3,27	50
Hg	0,034	0,667	0,262	0,069	0,449	0,114	0,295	0,330	0,265	0,085	0,593	50
Pb	24,73	81,62	102	26,22	69,99	59,38	145	172	340	50,05	355	1000
Ni	313	399	34,40	33,70	36,60	31,10	122	49,80	133	24,20	102	500
Cu	916	1018	31,89	25,35	39,36	51,91	318	81,34	197	19,06	145	500
Cr	756	766	37,40	46,20	44,40	88,90	462	84,70	262	35,70	142	750
Zn	78,01	296	417	115	355	621	2778	3067	10000	259	777	1200

Usporedba rezultata prikazanih u tablici 15 ukazuje da su za Cd, Cu i Cr izmjerene koncentracije u uzorcima tla odlagališta iznad vrijednosti koncentracija za iste metale u uzorcima tla uokolo proizvodnih pogona. Izmjerene koncentracije Cd u uzorcima tla odlagališta bile su 19,33 mg/kg suhe tvari u uzorku A1 i 17,72 mg/kg suhe tvari u uzorku A2, dok su se izmjerene koncentracije ovog metala u svim uzorcima tla tvorničkog kruga kretale od 0,17 mg/kg suhe tvari (B2) do 4,09 mg/kg suhe tvari (B7).

Koncentracije Cu u uzorcima tla odlagališta bile su 916 mg/kg suhe tvari u uzorku A1 i 1018 mg/kg suhe tvari u uzorku A2, dok su se izmjerene koncentracije ovog metala u svim uzorcima tla tvorničkog kruga kretale od 19,06 mg/kg suhe tvari (B8) do 318 mg/kg suhe tvari (B5).

Slično je utvrđeno i za krom. Naime, izmjerene koncentracije Cr u uzorcima tla odlagališta bile su 756 mg/kg suhe tvari u uzorku A1 i 766 mg/kg suhe tvari u uzorku A2 dok su se izmjerene koncentracije ovog metala u svim uzorcima tla tvorničkog kruga kretale od 35,70 mg/kg suhe tvari (B8) do 462 mg/kg suhe tvari (B5).

Za Zn je primjećena obrnuta situacija, tj. njegove izmjerene koncentracije u uzorcima tla odlagališta iznosile su 78,01 mg/kg suhe tvari (A1) i 296 mg/kg suhe tvari (A2) dok su se izmjerene koncentracije ovog metala u uzorcima tla tvorničkog kruga kretale od 115 mg/kg suhe tvari u uzorku B2 do 10000 mg/kg suhe tvari u uzorku B7 uzetog u blizini pocinkovaonice šavnih cijevi. Ovako visoka vrijednost koncentracije cinka u uzorku tla industrijskog dvorišta posljedica je izravnog onečišćenja okoliša cinkom iz dimnjaka peći sustava za vruće pocinčavanje šavnih cijevi.

Usporede li se dobiveni rezultati određivanja sadržaja teških metala prikazani u tablici 15 s vrijednostima za potencijalno neprihvatljiv rizik za tlo korišteno u industriji prema *Programu trajnog motrenja tala Hrvatske*, može se zaključiti da je



tlo odlagališta onečišćeno kadmijem, bakrom i kromom dok je tlo tvorničkog kruga mjestimično (lokacija pocinkavaonice) onečišćeno cinkom.

S obzirom na dobivene rezultate u ovom istraživanju i utvrđenu onečišćenost zemljišta, daljnje odlaganje tla na ovaj način nije dopušteno, a poduzimanje određenih mjera sanacije i zaštite ovise o namjerama vlasnika u pogledu korištenja tla u industrijske ili neke druge svrhe.

### 5.2.5 Onečišćenje tla iz industrije lijevanja metala

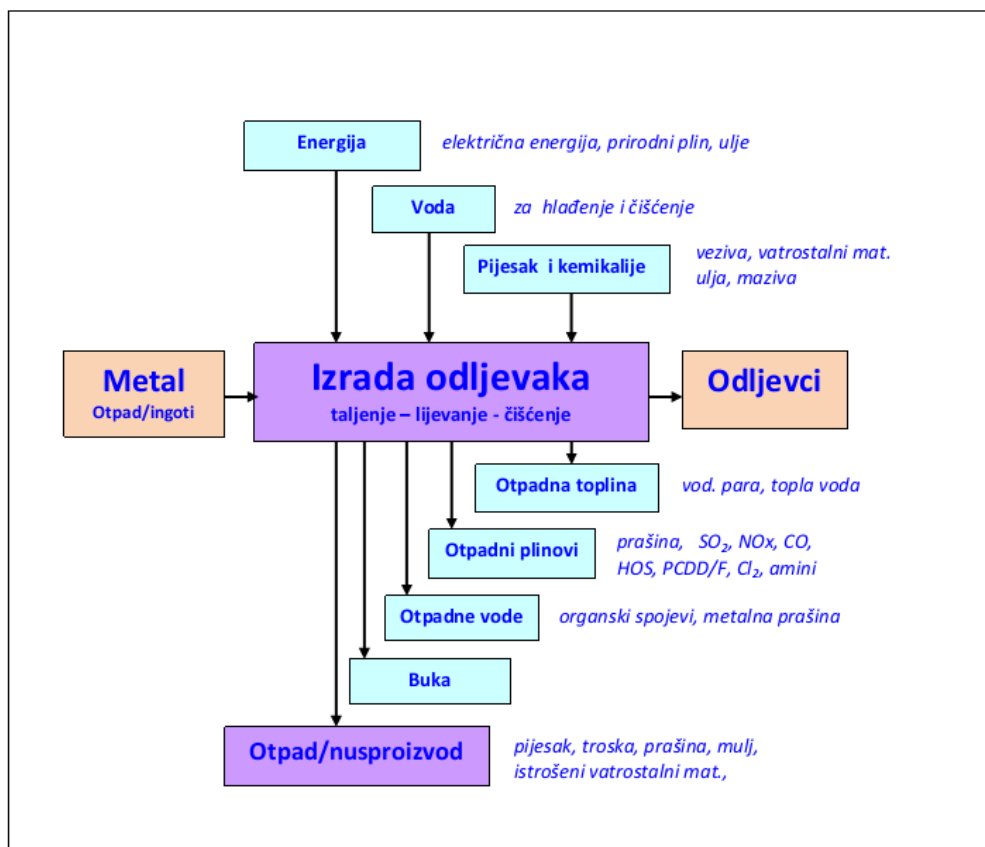
Lijevanje je tehnologija oblikovanja predmeta od metala kojom se rastaljeni metal (talina/litina) ulijeva u kalup<sup>150</sup>. Osnovni materijal pri izradi odljevaka predstavlja otpad metala koji se pretaljuje (čelični otpad, otpad obojenih metala) ili prethodno proizvedena slitina željezne ili neželjezne osnove zahtijevanog kemijskog sastava, a samo taljenje uglavnom se obavlja u električnim pećima, uz korištenje električne energije, pijeska, veziva, dodataka, itd., nakon čega se ljevačkim loncima talina transportira do kalupa u koje se izljevate njenim skrućivanjem nastaje oblikovani proizvod koji se naziva odljevak.

S obzirom da postoji cijeli niz različitih procesa lijevanja, njihova osnovna podjela može se načiniti prema vrsti metala (željezni i neželjezni Al, Cu, Zn, Mg, Ti - ljev) i upotrijebljenom tipu kalupa koji se koriste za izradu željeznih ljevova (jednokratni) i kalupa koji se uglavnom koriste pri izradi neželjeznih ljevova (višekratni/trajni).

U pojedinim fazama proizvodnje odljevaka (npr. izrada kalupa, izrada jezgri, lijevanje, hlađenje i istresanje odljevaka) koristi se široka lepeza materijala vrlo različitih fizikalno-kemijskih karakteristika pa tako postoji i velika opasnost od nastajanja i emisije u okoliš različitih onečišćujućih tvari koje se javljaju kao plinoviti produkti kemijskih reakcija, nepotpunog i potpunog izgaranja, hlapljenja itd<sup>151</sup>. Onečišćujuće tvari iz ljevaonica se u okolišu mogu pojaviti i u obliku krutih nusproizvoda, poput prašine iz peći, iskorištenog ljevačkog pijeska i prašine pojedinih materijala u uporabi, a koje se pojavljuju tijekom rukovanja (istovar, utovar, miješanje i sl), slika 58.

Kao i kod ostalih metalurških procesa, tako i u procesima lijevanja metala, gotovo sve onečišćujuće tvari koje se javljaju u emisijama iz ovih procesa, mogu dospjeti na tlo i u tlo, a njihova koncentracija u blizini industrijskog postrojenja tj. u tlu unutar industrijskog dvorišta kao i u okolnom tlu, ovisi o više čimbenika. Među najznačajnije se ubrajaju: povijest ljevaonice ili vrijeme tijekom kojeg je promatrana ljevaonica radila na određenoj lokaciji; prosječna godišnja razina proizvodnje o kojoj ovise količine emitiranih onečišćujućih tvari u okoliš; klimatski uvjeti lokacije koji utječu na stupanj onečišćenje tla štetnim tvarima iz zraka u neposrednoj blizini ili pak njihov transport (zračnim masama) i onečišćenje tla na većim udaljenostima od ljevaonice.



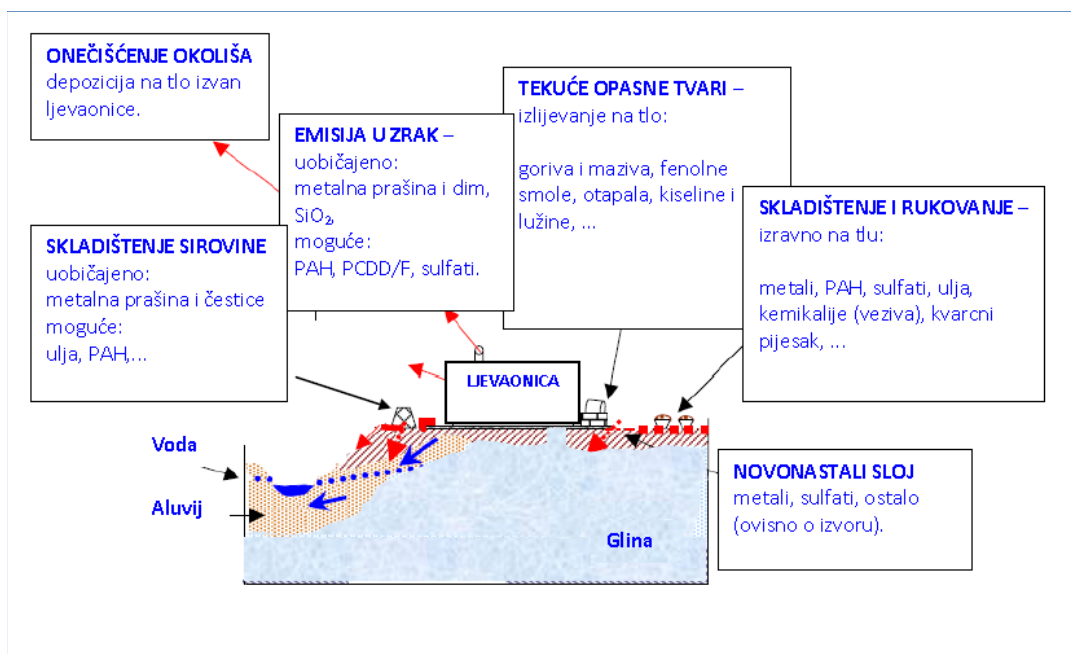


Slika 58. Shematski prikaz tijeka tvari i energije u procesu lijevanja metala

Proces lijevanja metala može uzrokovati onečišćenje okoliša, pa tako i tla, koje može biti lokalnog karaktera i posljedica je rukovanja i skladištenja sirovina i pratećih materijala uz samu ljevaonicu, dok ljevaoničke emisije u zrak i depozicija onečišćujućih tvari može utjecati na onečišćenje okoliša šireg područja<sup>152</sup> i izvan tvorničkog kruga, slika 59.

Tlo u neposrednoj blizini ljevaonice, obično je najčešće onečišćeno velikim naslagama iskorištenog kvarcnog pijeska koji se u ljevarstvu najčešće koristi za izradu kalupa i jezgri. Pri tome se pijesak miješa s različitim vezivima i dodacima, kako bi se dobila kalupna mješavina iz koje se izrađuju kalupi za ulijevanje metalne taline.

Po završetku lijevanja metalne taline u pješčane kalupe, tj. nakon hlađenja i istresanja odljevaka iz kalupa, ostaje iskorišteni ljevački pijesak koji po količini i svojim fizikalno kemijskim karakteristikama, uz prašinu iz filtra peći, trosku i istrošeni vatrostalni materijal, predstavljaju najznačajnije onečišćujuće tvari u okolišu, pa tako i tlu.



Slika 59. Prikaz mjesta pojave i načina onečišćenja okoliša iz ljevaonice<sup>152</sup>

Uz ljevački pijesak koji ovisno o korištenom vezivu i prisutnosti drugih tvari, može predstavljati opasni ili neopasni otpad, vrlo značajna onečišćenja tla mogu biti prouzročena onečišćenja metalima koji se lijevaju u ljevaonicama. Naime, metali (Al, Cd, Cr, Cu, Pb i Ni) i njihovi oksidi, koji najčešće predstavljaju osnovu filterske prašine u ljevaonicama, u okoliš dospjevaju emisijama u zrak, od kuda mogu biti istaloženi na tlo u neposrednoj blizini izvora ili pak na većim udaljenostima. Danas postoji niz istraživanja koji se bave ovim problemima, a jednako tako su u Europi i prepoznate cijele regije u kojima je tlo onečišćeno teškim metalima dugotrajnim djelovanjem industrijskih izvora kao što su ljevaonice ili druga metalurška postrojenja, pa su čak i dobila naziv<sup>153</sup> tzv. *Hot Spot Places* u središnjoj i istočnoj Europi poput područja oko Katowica (Poljska), Donjeckog (Ukrajina), Kuznjeckog (Rusija) itd.

Ostale onečišćujuće tvari koje se mogu pojavljivati u tlima u neposrednoj blizini ljevaonica, pa čak i šire, uključuju opasne tvari koje se pojavljuju u vezivima i drugim materijalima korištenim u procesima lijevanja metala<sup>154</sup> poput akroleina, benzena, formaldehida, fenola, krezola, metanola, naftalena, stirena, toluena, različitih boja, premaza otapala, PAH, PCB, PCDD/F, halogenida, fosfata, kiselina, lužina itd<sup>152</sup>.

## 6. SANACIJA (REMEDIJACIJA) ONEČIŠĆENIH TALA

S obzirom da relativno veliki broj utvrđenih potencijalno zagađenih lokacija, kao i broj lokacija koje se ne samo u R. Hrvatskoj već u cijeloj EU svrstavaju u onečišćene prioritetne lokacije koje je potrebno sanirati, metode sanacije (remedijacije) onečišćenih tala ulaze u fokus zanimanja i sve više dobivaju na značaju. Ovaj interes za sanacijom onečišćenih tala u posljednjih 20-tak godina doveo je do razvoja i unapređenja strategije gospodarenja onečišćenim tlima na lokacijama širom svijeta.

*Sanacija* ili *remedijacija* tla je postupak kojim se smanjuje ili uklanja onečišćujuću tvar iz tla toliko da njen sadržaj dopušta korištenje tla sanirane lokacije. Ovisno o ostvarenoj razini sanacije, to korištenje tla može biti ograničeno ili neograničeno. Općenito rečeno, postoje tri pristupa u određivanju ciljeva sanacije/remedijacije: čišćenje tla do razine uvjeta lokalnog okoliša, čišćenje prema kriterijima nastanka i čišćenje u skladu s procjenama rizika i posebnostima određene lokacije.

Izbor kriterija na temelju kojih će se odabrati određeni postupak sanacije/remedijacije tla, nije jednostavan jer se ne može izravno vezati uz propise ili preporuke. Naime, iako sanacija/remedijacija zagađenog tla pridonosi socijalnom ili ekonomskom boljitku, ona istodobno može izazvati znatne troškove te uzrokovati različite smetnje na lokaciji ili u njezinoj okolini. Stoga su kriteriji za sanaciju najčešće posebni za svako područje, a definirani su ograničenjima vezanim uz ocjenu rizika zbog zagađenja, uz uvažavanje gospodarskih i drugih odgovarajućih zahtjeva.

Osnovni kriteriji pri odabiru tehnologije remedijacije su tip, vrsta i količina onečišćujuće tvari, mjesto gdje bi se remedijacija provodila, ali i tip tla na kojem bi tu tehnologiju trebalo primijeniti.

Potencijalno moguće i ekonomski prihvatljive tehnologije remedijacije su: biološka, kemijska, fizikalna i termalna remedijacija, tablica 16.

Koja od tehnologija sanacije/remedijacije navedenih u tablici 16 će biti primijenjena na onečišćenom tlu ovisit će o slijedećem:

- tipu i vrsti onečišćenja,
- prostornoj zahvaćenosti onečišćenja,
- tipu tla (reakcija tla, sadržaj organske tvari, udjelu i tipu gline),
- vremenu izloženosti onečišćujućoj tvari,
- budućem načinu korištenja,
- zakonom propisanom stupnju sanacije pojedine države.

Osim što se na temelju navedenih parametara odabire tehnologija sanacije/remedijacije, isti parametri služe i za odabir mjesta sanacije tj. *in situ* (na mjestu onečišćenja bez iskapanja) ili *ex situ* (nakon iskapanja se onečišćeno tlo transportira na središnje odlagalište).

Tablica 16. Pregled tehnologija sanacije/remedijacije tla<sup>6</sup>  
(I. Kisić, 2012., doručeno prema F. Bašiću)

<b>A) PEDOBIOLOŠKI PRIHVATLJIVE METODE</b>	
<b>I. BIOLOŠKA REMEDIJACIJA</b>	
I.1.	<b>Bioremedijacija tla</b>
I.2.	<b>Bioventilacija tla</b>
	I.2.1. Ubrizgavanje oksidirajućih reagensa u tlo
	I.2.2. Dodavanje organskih tekućih gnojiva
I.3.	<b>Fitoremedijacija tla</b>
	I.3.1. Fitoekstrakcija/fitoakumulacija
	I.3.2. Fitostabilizacija
	I.3.3. Fitovolatizacija
<b>B) PEDOBIOLOŠKI DVOJBENE METODE</b>	
<b>II. KEMIJSKA REMEDIJACIJA</b>	
II.1.	<b>Elektrokemijska remedijacija</b>
II.2.	<b>Poplavlivanje tla</b>
II.3.	<b>Ispiranje tla</b>
II.4.	<b>Solidifikacija/stabilizacija tla</b>
II.5.	<b>Prirodno slabljenje/smanjenje onečišćenosti tla</b>
<b>III. FIZIKALNA REMEDIJACIJA</b>	
III.1.	<b>Prekrivanje/kapsuliranje tla</b>
III.2.	<b>Iskop tla</b>
III.3.	<b>Miješanje tla</b>
<b>C) NEPRIHVATLJIVE METODE - PEDOCID</b>	
<b>IV. TERMALNA REMEDIJACIJA</b>	
IV.1.	<b>Spaljivanje tla</b>
IV.2.	<b>Vitrifikacija/postakljivanje tla</b>
IV.3.	<b>Solarna-fotokemijska razgradnja tla</b>

## 6.1 Biološka remedijacija tla

U biološke remedijacije tla se ubrajaju svi postupci u kojima se remedijacija provodi uz pomoć mikroorganizama ili biljaka i to tako da se onečišćujuća tvar blokira ili odstrani. Ove procese predstavljaju bioremedijacija, bioventilacija i fitoremedijacija.

### 6.1.1 Bioremedijacija tla

Bioremedijacija je skup postupaka za remedijaciju uz primjenu mikroorganizama (bakterije, gljivice, kvasci) u kojima se biološka degradacija odvija u njihovim stanicama, kroz resorpci-

ju neke onečišćujuće tvari, gdje ju pomoću odgovarajućih enzima razgrađuju u metabolite. Ugljikovodici iz nafte služe kao izvor hranjiva i energije za rast i razvoj mikroorganizama, koji ih razgrađuju do naftenskih kiselina, alkohola, fenola, karbonilnih spojeva itd sve do ugljik (IV) oksida i vode<sup>155-157</sup>, slika 60.



<http://www.ebsinfo.com/technologies.php>

Slika 60. Razgradnja nafte mikroorganizmima u postupku bioremedijacije

U posljednje vrijeme genetski inženjering nudi velike mogućnosti kreacije genetski modificiranih mikroorganizama s biodegradacijskim svojstvima – pa imamo tzv. „*super mikrobe*”, koji su vrlo učinkoviti u remedijacijskim postupcima, no istovremeno predstavljaju potencijalnu opasnost zbog još uvijek nedovoljnog poznavanja njihovog ponašanja u interakciji s okolišem što bi moglo uzrokovati pojave opasne po zdravlje čovjeka i okoliš u cjelini.

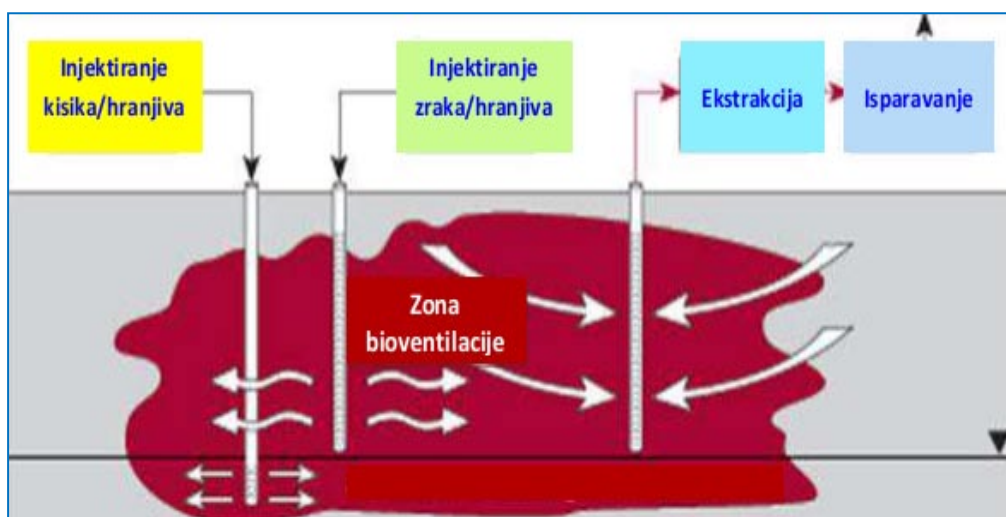
S druge strane, bioremedijacija je svojevrsan oblik „*zelene tehnologije*” koja se temelji na „*nula otpada*” načelu, odnosno tehnologija koje smanjuju nastanak otpada u različitim tehnološkim procesima.

Bioremedijacija se može uporabiti za:

- razgradnju izlivena sirove nafte, kanalizacije, kloriranih i nekloriranih otapala koji se koriste u industriji,
- razgradnju ili razlaganje ugljenih proizvoda poput fenola i cijanida,
- razgradnju ili razlaganje kemikalija u poljoprivredi i pesticida,
- razgradnju ili razlaganje loživog ulja,
- razgradnju ili razlaganje impregnacijskih sredstava odnosno sredstava za očuvanje drva.

## 6.1.2 Bioventilacija tla

Bioventilacija (engl. *bioventing*) je oblik bioremedijacije *in situ* u kojem se koriste zrak, kisik i/ili metan, a u tlo se unose upumpavanjem (injektiranjem) kroz bušotine. Naime, ovim postupkom se injektira zrak ili drugi plin u zonu onečišćenog tla takvom brzinom da se njegovim strujanjem pojača isparavanje organskih onečišćujućih tvari i istovremeno ostvare optimalni uvjeti za aerobnu mikrobnu razgradnju slabije hlapljivih organskih spojeva<sup>6,158</sup>, slika 61.



<http://waterandsoilbioremediation.com/index.php/in-situ-remediation-methods/bioventing>

Slika 61. Shematski prikaz postupka bioventilacije

Postoji veliki broj bioventilacijskih postupaka, no svi rade na principu stvaranja optimalnog strujanja zraka u svrhu osiguravanja dovoljno kisika ili drugog reagensa u zoni onečišćenosti i, ako je potrebno, dodaju se hranjiva kako bi se osigurala razgradnja organskih spojeva djelovanjem mikroorganizama.

Tehnika bioventilacije uspješno se primjenjuje za sanaciju tala onečišćenih naftnim derivatima, kao što su benzin, kerozin, dizel i lož-ulja, PAH, ali se može koristiti i za fenole, alkohole i ketone, različita klorirana otapala i BTEX komponente.

Sanacija tla dodavanjem tekućih organskih gnojiva (npr. gnojovke) je tehnika koja je prikladna za lokacije koje zahtjevaju točniju kontrolu procesa te potpunu i brzu razgradnju onečišćujućih tvari. Onečišćeno tlo miješa se s tekućim organskim gnojivom radi stvaranja što bolje povezanosti između onečišćujuće tvari i mikroorganizama prisutnih u gnojivu.

Tehnika sanacije/remedijacije dodavanjem tekućih organskih gnojiva primjenjuje se za tla onečišćena eksplozivima, naftnim ugljikovodicima, petrokemikalijama, otapalima, pesticima i drugim organskim kemikalijama.



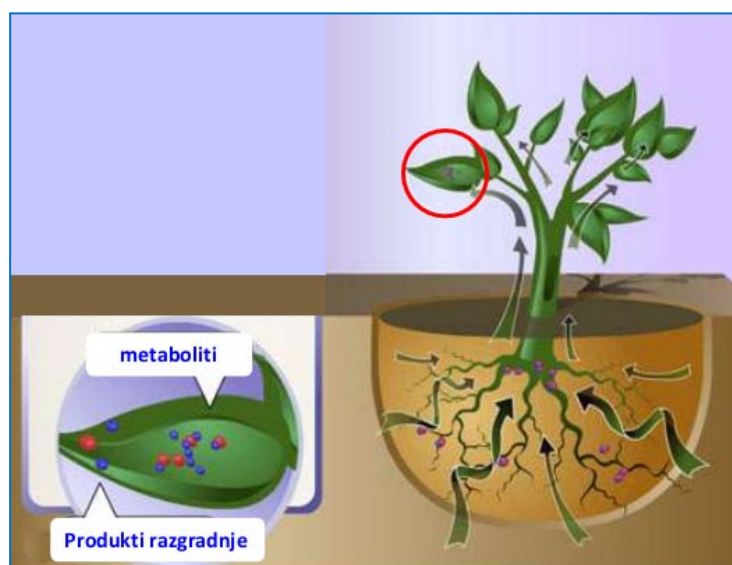
### 6.1.3 Fitoremedijacija tla

Fitoremedijacija je tzv. *zelena tehnologija* sanacije onečišćenog tla korištenem viših biljaka u procesima čišćenja, koje imaju sposobnost uklanjanja, razgradnje ili imobilizacije relativno velikog broja onečišćujućih tvari<sup>159,160</sup>, posebice metala, a što je nedvosmisleno dokazano fundamentalnim i primijenjenim znanstvenim istraživanjima.

Naime, biljke imaju mogućnost akumuliranja iz tla onih metala koji su esencijalni za njihov rast i razvoj (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni), a neke čak, imaju mogućnost akumulacije teških metala koji nemaju poznatu biološku funkciju u biljkama (Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se i Hg). S obzirom na njihovu toksičnost, pretjerana akumulacija u biljkama može biti štetna po okoliš. Mogućnost da toleriraju povišene koncentracije teških metala te da ih akumuliraju u visokim koncentracijama ima znatan broj biljaka koje su poznate i kao *hiperakumulatori* nikla, kobalta i bakra, mangana, olova i cinka te selen<sup>161</sup>.

Različiti autori na različite načine razvrstavaju fitoremedijacijske postupke<sup>6, 160-163</sup>, no svima je zajedničko da se ovisno o vrsti onečišćujuće tvari, mjestu onečišćenosti, opsegu potrebne sanacije i tipu biljke, postupcima fitoremedijacije rješavamo štetnih utjecaja onečišćujućih tvari u tlu bilo pohranjivanjem u tlu (fitoimobilizacija i fitostabilizacija) bilo uklanjanjem (fitoekstrakcija i fitovolatizacija) iz tla.

**6.1.3.1 Fitoekstrakcija/fitoakumulacija** – je tehnologija sanacije onečišćenog tla u kojoj se koriste biljke za uklanjanje onečišćujućih tvari iz tla, posebice teških metala. Naime, u ovom slučaju se prisutne organske onečišćujuće tvari, slika 62, ili teški metali, slika 63, iz tla korijenovim sustavom biljke prenose iz tla u biljku, poglavito u površinske dijelove biljke.

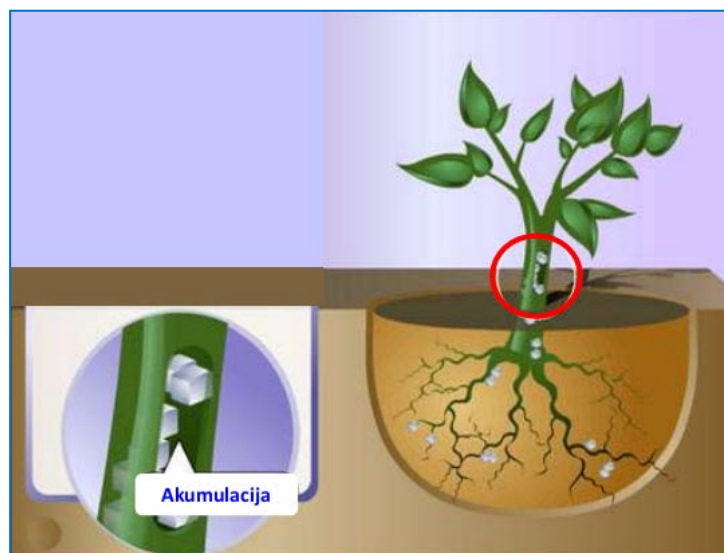


<http://deoracle.org/learning-objects/phytoremediation-metal-contaminants.html>

Slika 62. Transformacija i translokacija i/ili akumulacija organskih polutanata u nadzemne dijelove biljke

Biljke, poznate kao *hiperakumulatori* metala, mogu absorbirati relativno velike količine teških metala za razliku od ostalih biljaka, te toleriraju velike koncentracije metala u izdanku bez primjetnih štetnih promjena.

Nakon tretiranja onečišćenog tla ovim biljkama, tj. nakon što biljke vežu teške metale, uklanjaju se s površine i odlažu na odlagališta opasnog otpada ili se obrađuju u spalionicama, pa čak koriste i za dobivanje čistih metala<sup>164</sup>.



<http://deoracle.org/learning-objects/phytoremediation-metal-contaminants.html>

Slika 63. Translokacija i/ili akumulacija teških metala u nadzemne djelove biljke

Postupak remedijacije se može više puta ponavljati sve dok se razina onečišćenja ne dovede ispod granične vrijednosti ili se tlo posve ne obnovi. Vrijeme potrebno za remedijaciju ovisi o vrsti i količini onečišćenja tla teškim metalima, sezoni uzgoja biljaka te o učinkovitosti uklanjanja metala, ali uobičajeno vrijeme remedijacije kreće se između 1 i 20 godina<sup>161</sup>.

Različite biljne vrste mogu usvajati i akumulirati različite teške metale i druge onečišćujuće tvari, a u literaturi se često spominje i 400-500 biljaka<sup>6</sup> koje se odlikuju hiperakumulacijom teških metala. Od tog velikog broja biljaka spomenut ćemo samo neke koje se mogu uspješno primijeniti za fitoremedijaciju onečišćenih tala našeg podneblja, a navedene su u tablici 17, a neke od njih su prikazane na slici 64.

Tablica 17. Biljke koje služe za fitoremedijaciju onečišćenog tla<sup>6</sup>  
(I. Kisić, 2012.)

Onečišćujuća tvar	Biljna vrsta za fitoremedijaciju
Kadmij (Cd)	Smeđa ili indijska gorušica, etiopijska gorušica, neke vrste vrba i breza, poljska čestika, konoplja,..
Krom (Cr <sup>+6</sup> )	Smeđa ili indijska gorušica
Cezij ( <sup>137</sup> Cs)	Rumenika, smeđa ili indijska gorušica, suncokret, kelj, neke vrste vrba,..
Bakar (Cu)	Smeđa ili indijska gorušica, neke vrste vrba, uljana repica, trputac, konoplja,..
Živa (Hg)	Smeđa ili indijska gorušica, suncokret, hibridne topole, neke vrste vrba,..
Nikal (Ni)	Smeđa ili indijska gorušica, špinat, kupus, grašak, ječam, bob, ricinus, poljska čestika, konoplja,..
Olovo (Pb)	Smeđa ili indijska gorušica, suncokret, grašak, okruglolisna čestika, heljda, hibridna topola, neke vrste kukuruza,..
Arsen (As)	Hibridne topole, neke vrste johe, jasike i vrbe, paprati, uljana repica,..
Selen (Se)	Kanola (kanadska uljana repica), smeđa gorušica, kenaf ( <i>hibiscus cannabinus</i> )
Uran (U)	Kineski kupus, smeđa gorušica, suncokret, kelj,..
Zink (Zn)	Zob, smeđa ili indijska gorušica, ječam, neke vrste vrbe, poljska čestika, uljana repica, trputac, konoplja,..
Talij (Tl)	Uskolisna ognjica
Hlapljiva i poluhlapljiva onečišćenja	Lucerna, djeteline, raž, sirak, neke vrste vrba, topola i joha, borovnica smreka, vlasulja, bazga, dud,..
Agrokemikalije	Lucerna, hibridne topole, vrbe, dud,..
Eksplozivi	Raž, sirak, djeteline, lucerna, neke vrste vrba, topola i jasika, čempres, šaš,..

Fitoekstrakcija kao tehnika je pogodna za remedijaciju velikih onečišćenih površina tla na malim dubinama s niskim do umjerenim količinama onečišćujuće tvari. Istovremeno treba voditi računa da se za fitoekstrakciju koriste biljke otporne na bolesti i pesticide, i da budu „neprivlačne“ životinjama kako bi se spriječio unos teških metala u hranidbeni lanac.



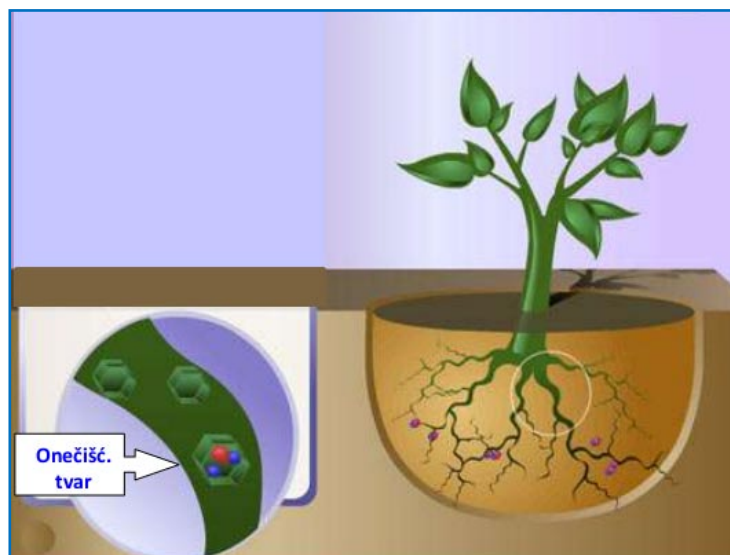
<http://i306.photobucket.com/albums/nn274/sumarko/1-613.jpg>  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/INDIAN MUSTARD FLOWER 3.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/INDIAN_MUSTARD_FLOWER_3.JPG)  
<http://www.cleanex-brooms.com/sr/onama%20metlara.php>  
<http://www.agroklub.com/sortna-lista/zitarice/raz-101/>

Slika 64. Neke često korištene biljne vrste za fitoremedijaciju

**6.1.3.2 Fitostabilizacija** – je metoda fitoremedijacije u kojoj se koriste određene biljke za imobilizaciju onečišćujuće tvari u tlu tako da one korijenskim sustavom vrše absorpciju i akumulaciju ovih tvari, koje su obično teški metali, u zoni korijena, ili osiguravaju fizičku stabilizaciju tla i na taj način sprječavaju širenje onečišćenja erozijom vjetrom ili vodom ili pak sprječavaju širenje onečišćujuće tvari u dublje slojeve ispiranjem.



Za razliku od ostalih metoda fitoremedijacije, fitostabilizacijom se teški metali ne uklanjaju iz onečišćenog tla već se u njemu stabiliziraju, a što se obavlja kroz korijenovu zonu mikrobiološkim ili kemijskim mehanizmima, pri čemu može nastati i promjena u reakciji tla izazvana izdavanjem eksudata korjenova sustava ili zbog nastajanja ugljikovog (IV) oksida. Na slici 65 dan je pojednostvaljeni prikaz fitostabilizacije na primjeru organske onečišćujuće tvari.

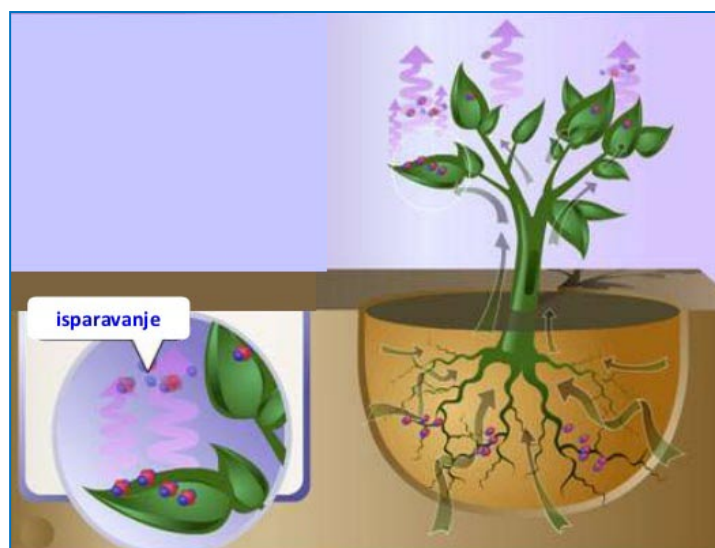


<http://deoracle.org/learning-objects/phytoremediation-metal-contaminants.html>

Slika 65. Transformacija polutanata u tlu djelovanjem eksudata korjenova sustava

Fitostabilizacija pokazuje najbolje učinke na tlima koja su onečišćena anorganskim tvarima na fino strukturiranim tlima s visokim sadržajem organske tvari, koristeći biljke vrlo razgranatog (čupavog – busenastog) korjenovog sustava. Pri ovome se treba voditi računa da vrlo zagađena tla nisu pogodna za fitostabilizaciju jer je na njima gotovo nemoguć opstanak i rast biljaka.

**6.1.3.3 Fitovolatizacija** – je proces usvajanja, transporta i oslobađanja onečišćujuće tvari izlučivanjem vode u obliku vodene pare tj. transpiracijom kod viših biljaka uz otpuštanje onečišćujućih tvari u istome ili promijenjenom (razgrađenom) obliku u atmosferu, slika 66.



<http://deoracle.org/learning-objects/phytoremediation-metal-contaminants.html>

Slika 66. Fitovolatizacija

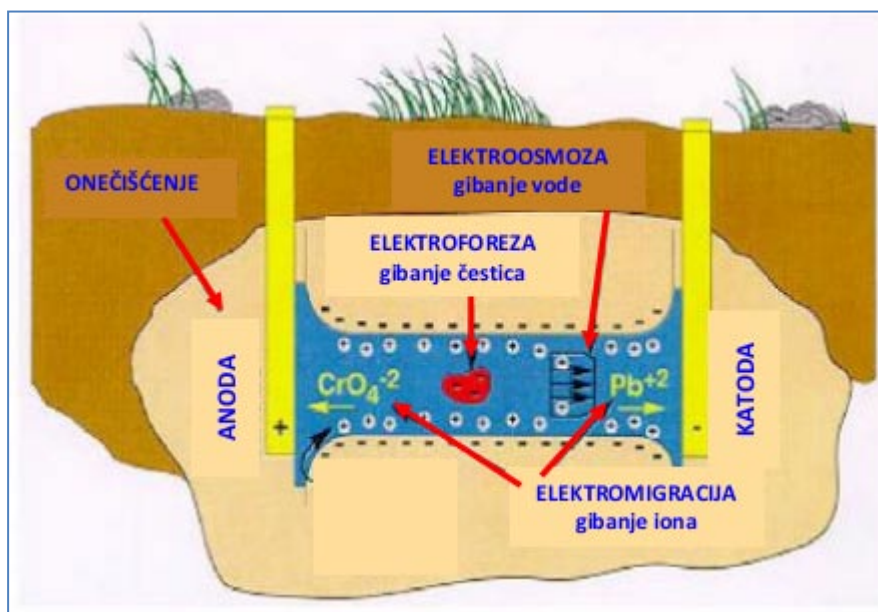
Tako su npr. neke prirodne ili genetički modificirane biljke sposobne absorbirati teške metale (As, Hg i Se) iz tla, biološki ih prevesti u plinovitu fazu unutar biljke i preko lista ih otpustiti u atmosferu<sup>161</sup>. Emisija toksičnih teških metala u atmosferu može imati štetno djelovanje po okoliš, pa kod nekih stručnjaka postoji dvojba o tome da li je ovaj postupak u potpunosti poželjna metoda remedijacije onečišćenog tla. Oni koji zagovaraju ovaj tip remedijacije ističu da se metodom fitovolatizacije minimalno utječe na samo tlo, smanjuje se mogućnost erozije, a nema niti potrebe za odlaganjem kontaminiranog biljnog tkiva. No, mnogi pak stručnjaci tvrde da se fitovolatizacija može uspješno primjenjivati za sanaciju onečišćenih voda, a manje za uspješnu sanaciju onečišćenog tla.

## 6.2 Kemijska remedijacija tla

### 6.2.1 Elektrokemijska remedijacija tla

Elektrokemijska (EK) remedijacija ili kraće elektroremedijacija je proces kojim se izdvajaju teški metali, radionuklidi ili organske onečišćujuće tvari iz tla, muljeva i sedimenata djelovanjem slabe istosmjerne struje ili napona kroz mrežu katoda i anoda u onečišćenom tlu, a u svrhu pokretanja naponskog gradijenta. Propuštanjem istosmjerne struje kroz heterogeni medij kao što je onečišćeno tlo, nastaje niz procesa kao što je elektromigracija, elektroliza vode, elektroosmotsko kretanje vode, elektroforeza tj. kretanje koloidnih čestica, difuzija<sup>126</sup>, slika 67.





Slika 67. Shematski prikaz procesa elektrokemijske remedijacije<sup>165</sup>

Da bi se primjenom EK remedijacije metali uklonili iz tla neophodno je da se nalaze u ionskom obliku s obzirom da je elektromigracija u najvećoj mjeri odgovorna za njihovu ekstrakciju. Za vrijeme elektromigracije pozitivno nabijene čestice (kationi) kao što su metali, amonijevi ioni i neke organske specije, kreću se prema katodi, a negativno nabijene čestice (anioni) poput kloridnih, fluoridnih, cijanidnih ili nitratnih iona ili nekih organskih specija kreću se prema anodi.

Učinkovitost EK remedijacije ovisi o fizikalno-kemijskim svojstvima tla, trenutačnoj vlažnosti, okolišu onečišćenog tla te o svojstvima i koncentraciji metala u tlu. Na uklanjanje metala značajno utječe proces elektrolize vode koja se odvija na površini elektroda pri čemu se na površini anode formiraju  $H^+$  ioni dok se na katodi formiraju  $OH^-$  ioni. Prisustvo  $H^+$  iona u tlu je poželjno, jer doprinosi desorpciji iona metala sa čestica tla dok se u bazičnoj sredini metali talože u obliku hidroksida i akumuliraju u tlu.

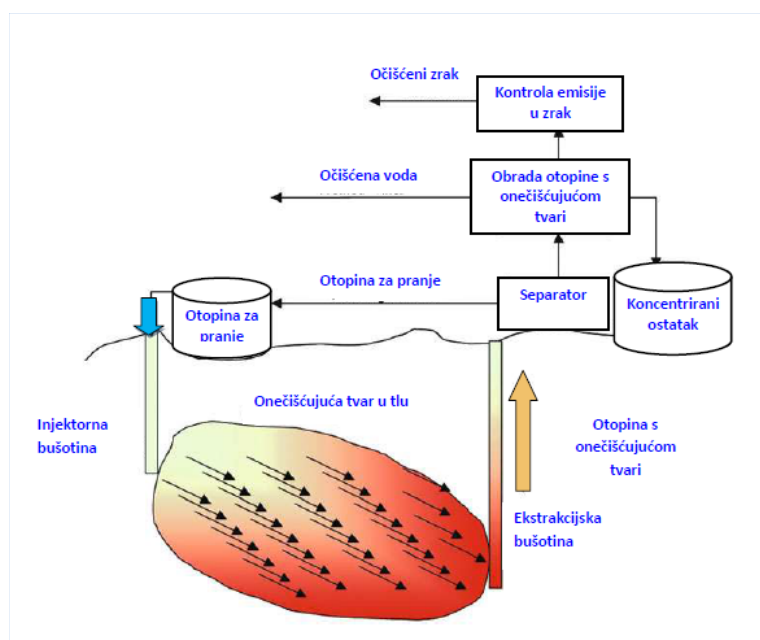
Metali s ograničenom topljivošću vezani za čestice tla teško se uklanjaju ovim postupkom, pa se u svrhu povećanja njihove topljivosti i desorpcije, tijekom remedijacije primjenjuju različita otapala koja se propuštaju kroz tlo.

Bez obzira na relativno čestu primjenu ovog postupka za remedijaciju onečišćenog tla, EK remedijacija se još uvijek smatra metodom remedijacije u nastajanju, a predstavlja održivu, relativno jeftinu *in-situ* tehniku za uklanjanje teških metala iz onečišćenog onečišćenog tla.

## 6.2.2 Poplavljanje tla

Remedijacija onečišćenog tla *in-situ* tretiranjem različitim otopinama naziva se poplavljanje tla. Pri ovome se onečišćeno tlo poplavljuje vodom ili vodenim otopinama kiselina, lužina, deterdženata i sl., što ovisi o topljivosti onečišćujućih tvari u tlu. Tako se npr. vodena otopina smjese  $\text{HNO}_3$  i  $\text{HCl}$  koristi za uklanjanje metala i nekih organskih tvari, a vodena otopina  $\text{NaOH}$  može poslužiti za uklanjanje fenola i nekih metala<sup>166</sup>.

Otopine se primjenjuju na površini ili se unose u tlo površinskim poplavljanjem, injektiranjem u vertikalne, slika 68, ili horizontalne bušotine, bazenskim ili kanalskim infiltracijskim sustavom itd.



Slika 68. Shematski prikaz procesa remedijacije poplavljanjem tla<sup>166</sup>

Ispravan odabir i primjena odgovarajućih kemikalija za pripremu otopina mora biti usklađen s fizikalno-kemijskim svojstvima onečišćujućih tvari koje se namjeravaju ukloniti iz tla, što izravno utječe na učinkovitost ovog načina sanacije/remedijacije tla. Iako je primjena sredstava za remedijaciju relativno jednostavna i troškovno prihvatljiva, ova tehnologija ima i svoja ograničenja koja proizlaze iz posljedica interakcije kiselih ili lužnatih vodenih otopina i tla. Naime, ove otopine bez obzira na sastav i njihovu pH vrijednost, u kontaktu s tlom, drastično mijenjaju kemijske značajke tla, prije svega njegovu reakciju (pH), a tijekom remedijacije ili po njenom završetku uvijek postoji opasnost od mogućeg ispiranja primijenjenih kemikalija u podzemne vode.

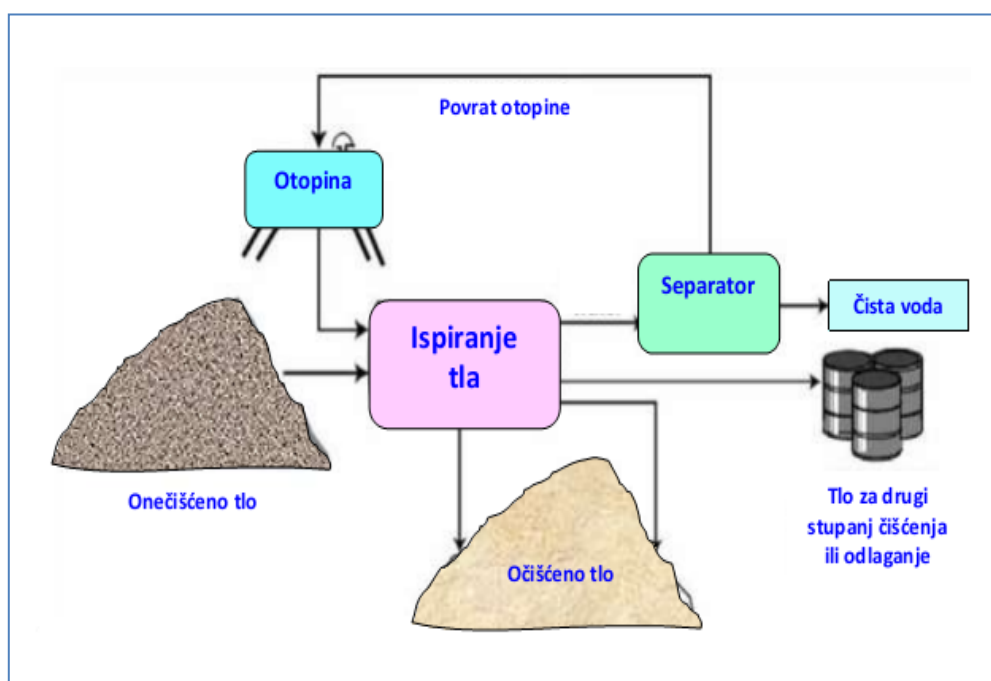
Tehnologija poplavljanja može se primijeniti na tla onečišćena metalima ( $\text{Cr}^{+6}$ ,  $\text{As}^{+3}$ ,  $\text{As}^{+5}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ), kao i hlapljivim i poluhlapljivim organskim onečišćujućim tvarima.

### 6.2.3 Ispiranje tla

Za razliku od poplavljanja tla koje se izvodi *in-situ*, ispiranje tla je *ex-situ* postupak remedijacije onečišćenog tla koji se temelji na ispiranju onečišćujućih tvari sa čestica tla vodenim otopinama različitih aditiva, ili se provodi u svrhu odvajanja čistog od onečišćenog tla, slika 69. Koncept ispiranja/pranja tla temelji se na činjenici da su onečišćujuće tvari sklone vezivanju na fino-zrnate čestice tla (muljevi i gline), pa je stoga glavni cilj ispiranja tla odvajanje te onečišćene fine frakcije od čiste krupnozrnate frakcije tla (pijeska i šljunka). Ukoliko se radi o onečišćenim tvarima koje se mogu ispirati vodom bez dodataka kemikalija, tada imamo jednostavan fizikalni proces odvajanja finog i grubog materijala.

Prednosti korištenja ispiranja tla kao sanacijske tehnike ogleda se u smanjenju volumena tla jer razdvajanjem čistog od onečišćenog količina tla koju je potrebno dodatno čistiti ili odlagati je puno manja. Pri tome se količina tla za pranje, kada se izvodi pod optimalnim uvjetima, može smanjiti za oko 90% od prvotne količine onečišćenog tla<sup>167</sup>.

Postupak ispiranja tla nije pogodan za glinovita i muljevita tla jer zbog jake povezanosti metala s česticama tla, postupak ispiranja treba višekratno ponavljati što povećava troškove. Stoga je ovo i jedan od najvećih nedostataka ove tehnike remedijacije je potreba za velikom površinom za postavljanje opreme za ispiranje tla. Naime, postupak je učinkovit za krupnozrnata tla i uglavnom se ne primjenjuje za tla koja sadrže više od 50% mulja, gline ili organskih tvari<sup>167</sup>.



<http://renewcanada.net/2010/scottish-scientists-export-remediation-tech/>

Slika 69. Shematski prikaz procesa remedijacije ispiranjem tla

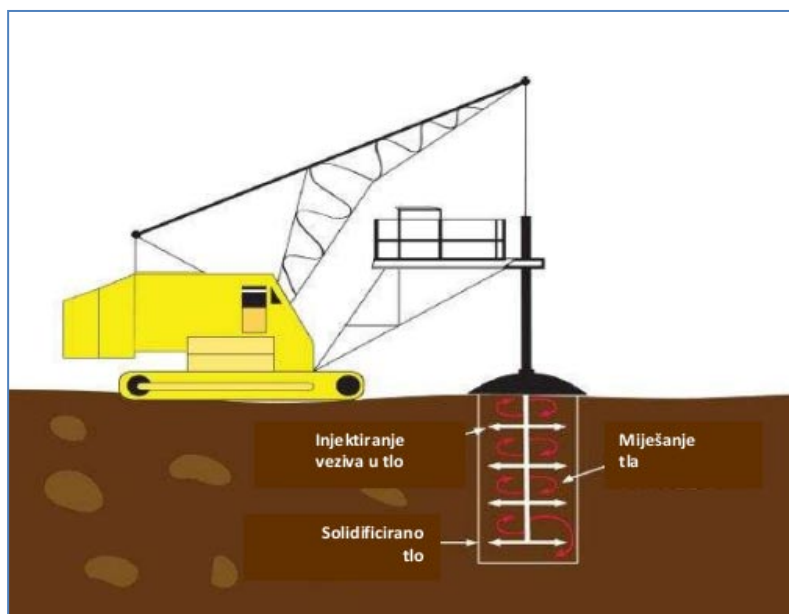
Ispiranje tla kao postupak remedijacije je primjenjiv za tla onečišćena različitim organskim i anorganskog onečišćujućim tvarima kao što su: nafta i naftini derivati, radionuklidi, teški metali, poliklorirani bifenili (PCB), pesticidi, cijanidi, hlapljivi organski spojevi itd.

#### 6.2.4 Solidifikacija/stabilizacija tla

Solidifikacija/stabilizacija (S/S) je tehnologija sanacije tla koja se temelji na imobilizaciji onečišćujućih tvari u tlu za što se koristi reakcija između dodanih reagensa i onečišćujuće tvari u tlu. Naime, ove dvije metode čine kombinaciju fizikalnih (solidifikacija) i kemijskih (stabilizacija) procesa i vrlo često se koriste kako bi se smanjio utjecaj onečišćenih tvari iz tla na okoliš. Ovi procesi se uglavnom temelje na sorpciji, taloženju ili ugradnji onečišćujuće tvari u kristalnu strukturu reagensa.

Postupci remedijacije solidifikacije/stabilizacije se mogu izvoditi *in situ* i *ex situ* za što danas postoji niz razvijenih tehnika<sup>168</sup> kao npr.:

- obrade onečišćenog tla u rotirajućim mješalicama ili reaktorima (bubnjevima),
- korištenjem opreme za *in situ* miješanje onečišćenog tla i injektiranog reagensa pomoću šupljeg svrdla, slika 70,
- izravno miješanje onečišćenog tla s reagensom u tankom sloju i nabijanjem,
- iskapanje i *ex situ* stabilizacija miješanjem tla s reagensima u pogonima namijenjenim za tu svrhu, slika 71.



<http://www.geoengineer.org/education/web-based-class-projects/geoenvironmental-remediation-technologies/stabilization-solidification?showall=1&limitstart>

Slika 70. Shematski prikaz procesa remedijacije tla solidifikacijom/stabilizacijom

S obzirom na prisutne onečišćujuće tvari u tlu, najbolji rezultati postignuti su u postupcima sanacije/remedijacije tla onečišćenog teškim metalima. Remedijacija tla onečišćenog teškim metalima se može izvoditi solidifikacijom tako da se topljivi toksični metali imobiliziraju vezanjem s vezivnim tvarima i na taj način postaju inertni, dok se stabilizacijom topljivi metali prevode u manje pokretljive i inertne oblike poput netopljivih ili slabotopljivih hidroksida, sulfata, fosfata i silikata teških metala. Remedijacija tla onečišćenog hlapljivim onečišćujućim tvarima se ne izvodi ovim tehnologijama<sup>169</sup> zbog mogućnosti njihovog isparavanja iz tla za vrijeme procesa miješanja reagensa i tla.

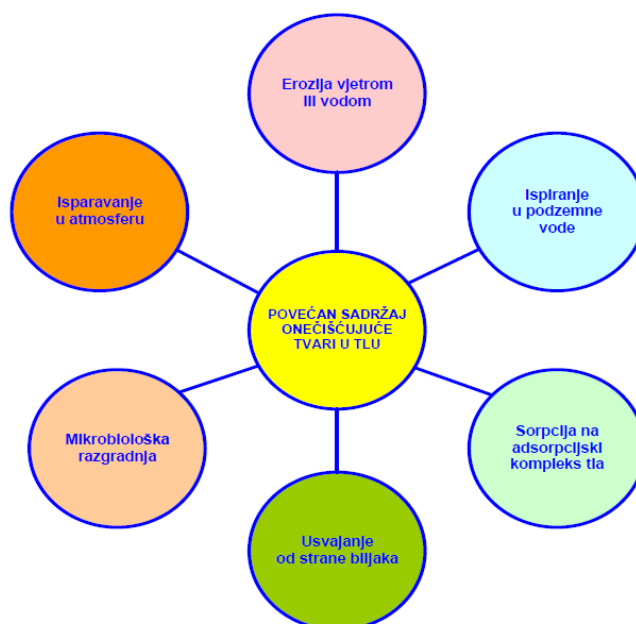


Slika 71. Shematski prikaz procesa remedijacije tla solidifikacijom *ex situ*

### 6.2.5 Prirodno čišćenje

Tehnika remedijacije *in situ* koja se koristi prirodnim procesima na duže vrijeme u kojem dolazi do slabljenja ili smanjenja onečišćenosti, naziva se prirodno slabljenje/smanjenje onečišćenosti. U spomenute prirodne procese ubrajaju se biološka razgradnja, radioaktivni raspad, isparavanje, disperzija, slabljenje, procjeđivanje u podzemne vode, bočno otjecanje u površinske vode, vezanje onečišćujuće tvari na organsku tvar ili glinu u tlu te vegetaciju sa površine tla.

Prirodno slabljenje/smanjenje onečišćenosti djeluje duže vrijeme i postupno smanjuje biodostupnost onečišćujuće tvari specifičnim sorpcijskim mehanizmima u tlu, gubitkom onečišćujuće tvari površinskim otjecanjem iz tla, iznošenjem onečišćujuće tvari iz tla njenom translokacijom u nadzemne dijelove biljke, isparavanjem onečišćujuće tvari iz tla u atmosferu itd., slika 72.



Slika 72. Prikaz djelovanja prirodnog slabljenja/smanjenja onečišćenosti tla<sup>6</sup>

Ovaj način remedijacije onečišćenosti tla svakako je najjeftiniji no zato i najdulje traje. U prošlosti se ovaj postupak često koristio posebice u slučajevima onečišćenja industrijskog zemljišta hlapljivim tvarima, koje je jednostavno bilo prepušteno vremenu i prirodnim procesima koji su dovodili do oslabljenja onečišćenosti tla. Postoji izvjesna prednost ovog postupka pred drugim remedijacijskim postupcima, a ogleda se u vrlo niskim troškovima, gotovo nikakvoj opasnosti po radnike jer nema rukovanja onečišćenim tlom i može se smatrati trajnim rješenjem.

Osnovni nedostatak remedijacije prirodnim slabljenjem/smanjenjem onečišćenosti tla, predstavlja potreba za dugotrajnim monitoringom smanjenja onečišćenosti tla, produkti razgradnje onečišćujuće tvari u tlu mogu biti toksični i migracijom ugroziti neke druge receptore u ekosustavu. Iz ovih razloga se ova tehnologija danas vrlo malo primjenjuje iako je primjenjiva u slučaju onečišćenosti tla ne halogeniranim hlapljivim i poluhlapljivim organskim spojevima i naftnim derivatima, dok je neupotreblija za sanaciju tla onečišćenog halogeniranim hlapljivim spojevima i pesticidima<sup>170</sup>.

### 6.3 Fizikalna remedijacija tla

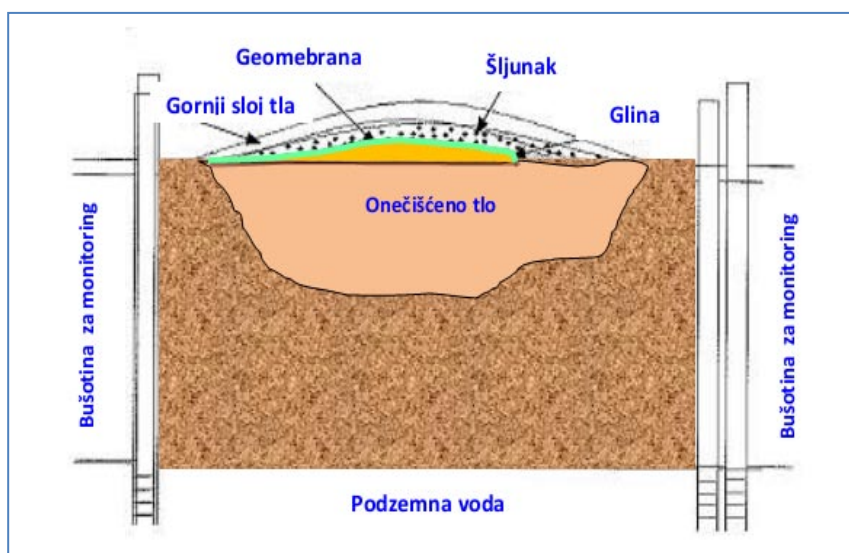
U većini do sada opisanih tehnologija sanacije/remedijacije tla, dolazi do značajnih promjena njegovih kemijskih i bioloških značajki, no kod fizikalnih remedijacija tla (kapsuliranje, iskapanje i miješanje tla) to nije slučaj.



### 6.3.1 Prekrivanje/kapsuliranje tla

Prekrivanje onečišćenog tla jedan je od najčešći oblika remedijacije na manjim lokacijama. Ovim postupkom se onečišćeno tlo prekriva višeslojnim pokrovom, kako bi se zaštitilo od erozije vodom i vjetrom te spriječio izravan utjecaj onečišćenog tla na biljni i životnjski živi svijet.

Prekrivanje onečišćenog tla može se izvoditi jednim slojem plodnog tla ili se može izvoditi u više slojeva kombinacijom slojeva tala i geosintetskih materijala različite propusnosti, slika 73.



Slika 73. Prikaz prekrivanja male površine onečišćenog tla<sup>6</sup>

Dizajniranje sustava za pokrivanje tla ovisi o njegovoj budućoj namjeni. Ovakvi sustavi se obično sastoje od slojeva koji predstavljaju barijeru i drenažnih slojeva, a za završno pokrivanje obično se koristi tlo. Ta je tehnologija slična onoj koja se primjenjuje za zatvaranje odlagališta komunalnog otpada, slika 74, a u praksi se često provodi zajedno s fitostabilizacijom i/ili fitovolatizacijom.



<http://www.ivanic-grad.hr/index.php/category/komunalno-gospodarstvo/>

Slika 74. Izgled saniranog odlagališta komunalnog otpada Tarno u Ivanić-Gradu

### 6.3.2 Iskop tla

Iskop tla kao remedijacijska tehnika, primjenjuje se uglavnom u slučajevima značajno zagađenih tala, kao što su zagađenja radionuklidima ili toksičnim teškim metalima visokih koncentracija. Naime, u takvim slučajevima zahtjeva se iskop takvog tla i njegovu sanaciju te vraćanje na prvobitnu lokaciju ili pak trajno zbrinjavanje odlaganjem na odgovarajuće (zakonom propisano) odlagalište.

Za iskop tla koristi se različita građevinska mehanizacija (bageri, utovarivači, buldozeri i sl.), a tlo se stavlja u kontejnere ili na nepropusne folije radi sprječavanja otjecanja procjednih voda u podzemlje, zaštite radnika i okolnog stanovništva, te otprema na obradu, slika 75.

Ova tehnika je vrlo učinkovita u slučaju onečišćenja malih površina tla, kada su tehnike neprikladne ili preskupe. Trajno zbrinjavanje onečišćenog tla na odlagalištima opasnog otpada se rijetko primjenjuje s obzirom da je vrlo skupo, nesigurno i zauzima velke površine. Iz tog razloga se češće primjenjuje neka od *ex situ* metoda sanacije/remedijacije, nakon čega se očišćeno tlo može vratiti na lokaciju ili koristiti na drugim lokacijama u druge svrhe.



<http://www.trecenv.com/trec-remediation.php>

Slika 75. Iskop male površine onečišćenog tla i priprema za odvoz na obradu/čišćenje

### 6.3.3 Miješanje tla

Miješanjem tla postiže se smanjenje koncentracije onečišćujuće tvari zbog razrjeđenja i to do razine koja nije opasna po okoliš. Ovo je moguće postići dovozom nekontaminiranog tla i miješanjem s onečišćenim tлом *in situ* ili se pak miješanje provodi primjenom agrotehničkih zahvata poput oranja, tanjuranja, drljanja, frezanja itd., pri čemu dolazi do miješanja površinskog onečišćenog tla s dubljim slojevima manje onečišćenog ili čistog tla. Tehnika vertikalnog miješanja slojeva tla ima i svojih nedostataka od kojih je prvi povećana količina sada ukupno onečišćenog (iako razrjeđene koncentracije) tla koja poskupljuje iskop ili odvoz na *ex situ* sanacije ukoliko se za tim kasnije ukaže potreba.

Sanacija/remedijacija tla miješanjem je vrlo učinkovita za tla onečišćena hlapljivim i poluhlapljivim onečišćujućim tvarima te ostacima eksplozivnih tvari.

Učinkovitost miješanja tla ovisi u mnogome o klimatskim uvjetima okoline koji za naše podneblje predstavljaju klimatski uvjeti u proljeće, rano ljeto te jesen. Naime niti u uvjetima suše, kao niti u prevlažnim uvjetima ne dolazi do biorazgradnje, dok u uvjetima niske temperature i smrzavanja tla zimi, učinkovitost ovog načina remedijacije je upitna.

Tehnologija miješanja tla, posebice kada se radi o onečišćenošću opasnim tvarima, u novije vrijeme se vrlo uspješno provodi u kombinaciji s *in situ* stabilizacijom uz primjenu vapnenih materijala, cementa, betona, zeolita i sl., slika 76.

Na ovaj način se tlo miješa s reagensima za stabilizaciju čime se onečišćujuća tvar prevodi iz opasnog u inertni oblik, pa se tako stabilizirani materijal može trajno odložiti i na odlagalište otpada.



Slika 76. Miješanje onečišćenog tla s reagensima za stabilizaciju<sup>133</sup>

#### 6.4 Termalna remedijacija tla

Tehnologija termalne sanacije/remedijacije tla može se izvoditi *in situ* i *ex situ*, u za to posebno konstruiranim i instaliranim postrojenjima<sup>171</sup>, a zasniva se na podvrgavanju onečišćenog tla uvjetima visokih temperatura (>1000 °C) pri čemu dolazi do isparavanja hlapljivih onečišćujućih tvari iz tla na nižim temperaturama (od 340 do 480 °C) ili se onečišćujuće tvari transformiraju u manje štetne oblike na višim temperaturama. Jedno takvo postrojenje proizvođača *ASTECC Thermal Remediation Systems*, SAD, prikazano<sup>172</sup> je na slici 77.

Ova tehnologija nije prihvatljiva za sanaciju/remedijaciju onečišćenog tla namijenjenog poljoprivredi jer se obradom tla na visokim temperaturama uništava sav biljni i životinjski svijet i ono prestaje biti pogodno za svoju prvotnu namjenu – supstrat za uzgoj biljaka. U slučaju da se radi o remedijaciji tla unutar industrijskih dvorišta ili tla namijenog u industrijske svrhe, termalna remedijacija tla se može uzeti u razmatranje kao moguća tehnologija. Posebno je važno napomenuti da su termalno obrađena tla dokazano primjenjiva u graditeljstvu kao materijal za prekrivanje odloženog otpada na odlagalištima, za izradu posteljica u cestogradnji, itd.

Onečišćujuće tvari koje se na ovaj način mogu *in situ* tehnikama ukloniti ili prevesti u manje štetan oblik su: klorirana otapala, dioksini i furani, pesticidi i herbicidi, nafta i njeni derivati, poluhlapljivi ugljikovodici, policiklički aromatski ugljikovodici, poliklorirani bifenili, živa itd<sup>171</sup>.

Termalna sanacija/remedijacija tla se može ilustrirati primjerom niskotemperaturne toplinske desorpcije kao najčešće primjenjivane *ex situ* tehnologije za uklanjanje pesticida iz tla. Ovaj postupak<sup>162</sup> se zasniva na zagrijavanju onečišćenog tla na temperaturu od 129 do 540 °C, čime se postiže isparavanje, ali ne i razaranje organske tvari.



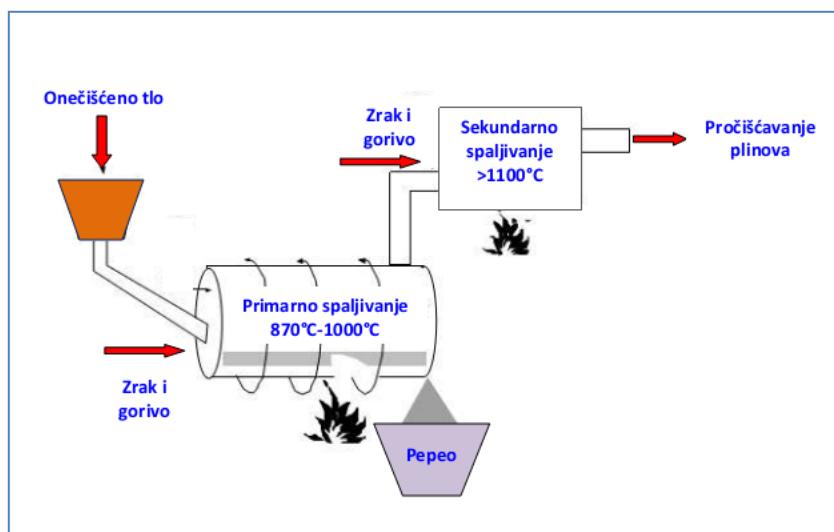
Nastali organski plinovi zatim prolaze kroz komoru za naknadno spaljivanje ili tzv. dogorijevanje, nakon čega prolaze kroz sustav za pročišćavanje, kako bi se sprječila njihova emisija u atmosferu.



Slika 77. Uređaj za termoremedijaciju onečišćenog tla proizvođača<sup>172</sup>

### 6.4.1 Spaljivanje tla

Tehnologija termalne sanacije/remedijacije onečišćenog tla spaljivanjem temelji se obradom tla u uvjetima visoke temperature<sup>173</sup> i to od 870 do 1190 °C, pri čemu dolazi do razgradnje onečišćujućih tvari sve do vode, CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, slika 78.



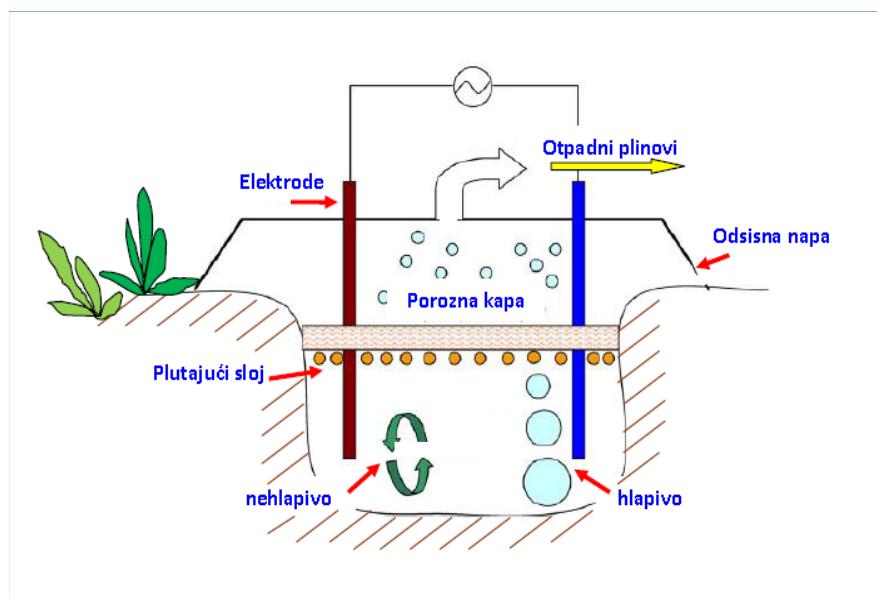
Slika 78. Pojednostavljen prikaz procesa spaljivanja onečišćenog tla<sup>173</sup>

Pravilno provedeno spaljivanje tla je vrlo učinkovita metoda remedijacije bez pojave mirisa i dima, a volumen obrađenog tla se smanjuje na minimum (pepeo) što je značajna prednost pred ostalim tehnologijama, ukoliko se želi trajno zbrinuti na odlagalištu otpada.

Spaljivanje onečišćenog tla se obično provodi u rotacijskim pećima za proizvodnju cementnog klinkera, iako je bilo pokušaja spaljivanja tla i u spalionicama otpada pri čemu su se javljale neželjene posljedice u vidu onečišćenja atmosfere različitim produktima izgaranja onečišćujućih tvari u tlu<sup>173</sup>.

#### 6.4.2 Vitifikacija/postakljivanje tla

Tehnologija sanacije/remedijacije onečišćenog tla njegovom obradom u uvjetima temperature od 1390 do 2000 °C ili više<sup>174,175</sup>, pri čemu dolazi do taljenja tla i nastajanja amorfne mase poput stakla, naziva se vitifikacija ili postakljivanje (lat. *vitrum* – staklo; *facere* - učiniti kao). Tehnologija *ex-situ* vitifikacije osmišljena je na inaktivaciji i/ili imobilizaciji onečišćujućih tvari prevodeći ih u staklastu amorfnu masu rastaljenog tla u uvjetima visokih temperatura, a ne smanjenju njihove koncentracije u tlu. Nastala vitificirana/postakljena masa ima veliku čvrstoću i otporna je na izluživanje u njoj "zarobljenih" onečišćujućih tvari, kojima je na taj način onemogućeno otapanje, migracija u podzemne vode ili bilo kakav drugi mogući utjecaj na okoliš. Svojstva nastale staklaste mase (mehaničke karakteristike i topljivost), ovise o tipu procesa vitifikacije/postakljivanja kao i o načinu hlađenja nastale taljevine koje se može provoditi na način da se taljevina naglo hladi vodom tzv. gašenjem (engl. *quenching*) ili se taljevina prepusti sporom hlađenju na zraku.



Slika 79. Pojednostavljen prikaz remedijacije onečišćenog tla vitifikacijom<sup>158</sup>



Vitrifikacija se obično provodi na jedan od tri načina i to kako slijedi:

- Električni postupak – *in situ* proces koji se izvodi dovodom električne energije na grafične elektrode utisnute u onečišćeno tlo, slika 79;
- Termalni proces u peći – *ex situ* proces koji se izvodi u posebnim reaktorima koje su obično rotacijske peći s unutarnje strane obložene vatrostalnim materijalom i
- Plazma proces – obično *in situ* proces koji se izvodi uvođenjem plazmenih plamenika u onečišćeno tlo, a temperatura plazme je ekstremno visoka (do 7000 °C), na kojoj dolazi do taljenja tla i u njemu onečišćujućih tvari.

Vitrifikacij *ex-situ* je primjenjiva za sanaciju tla onečišćenih različitim tvarima, no najučinkovitija je i najviše primjenjivana u slučaju onečišćenja tvarima anorganskog podrijetla. Vrlo često se koristi za obradu tla onečišćenih metalima i radionuklidima, koje postakljivanjem "zarobi" te ih zauvijek učini otpornim na izluživanje<sup>174</sup>.

Čimbenici koji na ovu tehnologiju mogu djelomično negativno utjecati smanjujući njenu učinkovitost ili primjenjivost su potreba nadzora nastalih dimnih plinova kod onečišćenosti tla organskim tvarima, kao i kod onečišćenosti tla hlapljivim teškim metalima i radionuklidima. Dodatni problem se javlja zbog potrebe zbrinjavanja troske nastale kao nus proizvod vitrifikacije onečišćenog tla, a koja može biti korištenje u industriji i drugdje ili trajno odlaganje na odlagalištima otpada.

### 6.4.3 Solarna-fotokemijska razgradnja tla

Za razgradnju nekih onečišćujućih tvari u tlu poput postojanih organskih onečišćujućih tvari, hlapljivih i poluhlapljivih organskih spojeva, goriva, i nešto manje uspješno, eksploziva, može se koristiti i sunčeva energija. Naime, pojedini djelovi sunčevog spektra razgrađuju organske tvari izravnom termalnom razgradnjom ili fotokemijskom reakcijom. U svrhu povećanja učinkovitosti ovog procesa, sunčeva se energija obično koncentrira te se na taj način omogućava postizanje visokih temperatura potrebnih za razgradnju. Za to se koriste različiti sustavi ogledala (tzv.heliostati) za apsorpciju energije kojom se postižu temperature i od 2000 °C.

Na ovaj način se može postići učinkovita remedijacija tla onečišćenog poliaromatskim ugljikovodicima, monoaromatskim ugljikovodicima poput benzena, toluena, etilbenzena i ksilena, itd.

## 7. ZAŠTITA TLA

Kako je već navedeno i ranije, tlo je prirodni uvjetno obnovljivi resurs u kojem je moguća vrlo brza degradacija, međutim čije je nastajanje i regeneracija vrlo spora, što korisnika tla obvezuje na upravljanje tлом na načelima dobrog gospodara i to bez obzira čemu je tlo namijenjeno. To gospodarenje mora biti usklađeno s konceptom koji polazi od činjenice da tlo ima višenamjenske uloge, a koji je sadržan i u dokumentima pravne stečevine EU, gdje se tlu i njegovoj zaštiti daje posebna pozornost.

Iako različite politike EU kao što su npr. politike vezane za vodu, kemikalije, sprječavanje industrijskog zagađivanja, pesticide, poljoprivredu itd., pridonose zaštiti tla, one ipak imaju druge ciljeve i drugi opseg djelovanja, te nisu bile dovoljne za osiguravanje zadovoljavajuće razine zaštite za sva tla u Europi.

Zbog ovog i mnogo drugih razloga, Europska komisija je 22. rujna 2006. godine usvojila Tematsku strategiju zaštite tla<sup>176</sup> (engl. *Thematic Strategy for Soil Protection, Communication COM (2006) 231*) i prijedlog za Okvirnu direktivu o zaštiti tla (COM(2006) 232), s ciljem zaštite tla u cijeloj EU. Europska Unija je donošenjem 6. Akcijskog programa za okoliš<sup>177</sup> *Okoliš 2010: Naša Budućnost, Naš Izbor* (engl. *Decision No 1390/2002/EC*) izjednačila značaj zaštite tla sa zaštitom vode i zraka, te je u tom smislu prepoznala potrebu izrade 7 tematskih strategija za slijedeća područja: zrak, sprječavanje nastajanja otpada i recikliranje, morski okoliš, tlo, pesticidi, prirodni resursi, te urbani okoliš. Sve ove strategije sadrže ciljeve za zaštitu i sprječavanje onečišćenja pojedinih sastavnica ekosustava.

Cilj Tematske strategije za zaštitu tla je zaštita i održivo gospodarenje tлом temeljeno na principima očuvanja uloga tla, prevencije degradacije, ublažavanja učinaka degradacije i popravljivanja degradiranih tala. Tematskom strategijom za zaštitu tla Europska komisija identificirala je 8 najznačajnijih prijetnji prema tlu: erozija, smanjenje organske tvari, onečišćenje, zaslaničavanje, zbijanje, gubitak biološke raznolikosti, pre-namjenu, te plavljenja i klizišta.

Prvi korak u zaštiti tla i očuvanju njegovih prirodnih uloga te sprječavanju degradacijskih procesa je praćenje stanja i uočavanje promjena svojstava tla u vidu uspostave sustava monitoringa odnosno trajnog motrenje tala. Ovo podrazumijeva kontinuirano praćenje određenih pokazatelja tla u svrhu prikupljanja informacija o promjenama stanja i obilježja tla, te identifikacije oblika i intenziteta degradacije. Sustav trajnog motrenja tla potpomognut informacijskim sustavom za tlo, danas čini temelj za razvoj i provedbu politike i strategije održivog gospodarenja i zaštite tla.

### 7.1 Zaštita tla i njegovo trajno motrenje u R. Hrvatskoj

Temeljni međunarodni ugovor o zaštiti tla je Konvencija Ujedinjenih Naroda o suzbijanju širenja pustinjskog okoliša (dezertifikacije) u zemljama pogođenim jakim sušama, osobito u Africi. Konvencija je usvojena u Parizu 1994., a na snagu je stupila 26. prosinca 1996. godine. Za R. Hrvatsku Konvencija je stupila na snagu 4. siječnja 2001. godine<sup>178</sup>.

Sukladno Zakonu o poljoprivrednom zemljištu iz 2001. godine, vlada Hrvatske uredbom od 8. studenog 2001. osnovala je Zavod za tlo sa sjedištem u Osijeku koji je danas dio Agencije za poljoprivredno zemljište. Osnova utemeljenja tadašnjeg Zavoda za tlo bila je zaštita tla kao izuzetno značajnoga prirodnog resursa – nezamjenjivoga nacionalnog blaga, a s ciljem racionalnog gospodarenja i sustavne skrbi o uređenju poljoprivrednog zemljišta.

Rad na organiziranoj zaštiti tala Hrvatske počinje osnivanjem Radne skupine za zaštitu tla u okviru Radnih zajednica Alpe, Alpe-Jadran i Podunavlje. Od prvog, osnivačkog kongresa, održanog 1987. god. do kraja prošlog stoljeća tekla je aktivnost ove Radne skupine, koja je utrla put tim aktivnostima u svim članicama, posebice u R. Hrvatskoj. Na zasjedanju u Szombathelyu (Mađarska) 1991. formirana je Radna podskupina za trajno motrenje tla, koja je preuzela zadaću koordinacije uspostave postaja za trajno motrenje tla u zemljama članicama, izrade (minimalne) baze podataka za jedinstven opis staništa i profila tla i usklađivanje jedinstvene tehnike uzimanja uzoraka, pripreme uzorka, određivanje "minimalne liste pokazatelja" koje valja pratiti, analitičkog postupka i kriterija graničnih vrijednosti za interpretaciju rezultata. U sastavu te skupine od utemeljenja do prestanka rada djelovao je prof. F. Bašić, koji je bio zadužen za pitanje erozije, oštećenja tala na skijaškim stazama i posebnosti krša. Radna skupina Bašić, Butorac, Vidaček, Racz, Ostojić, Bertić je još 1993. godine precizno utvrdila koncept zaštite tala koji i načinila Prijedlog<sup>179</sup> koji je kasnije poslužio za izradu okvirnog Programa zaštite tala Hrvatske.

Naša Nacionalna strategija zaštite okoliša<sup>116</sup>, u području tla kao prioritet ističe uspostavu Sustava trajnog motrenja tla na nacionalnoj razini. Nacionalni plan djelovanja za okoliš<sup>180</sup>, dodatno, kao cilj u području tla ističe tvorbu cjelovite politike zaštite tla putem izrade strategije i programa zaštite tla na nacionalnoj, regionalnoj i lokalnoj razini, za što je bio predviđen rok do 5 godina. Također je postavljen cilj donošenja *Zakona o zaštiti tla* u roku od dvije godine, te mnoge druge mjere koje nisu ostvarene.

Zakon o zaštiti okoliša<sup>2</sup> definira tlo kao gornji sloj Zemljine kore, smješten između kamene podloge i površine, a koje se sastoji od čestica minerala, organske tvari, vode, zraka i živih organizama, te predstavlja neobnovljivo dobro koje se mora koristiti održivo uz očuvanje njegovih uloga. Nadalje ističe, da se nepovoljni učinci na tlo moraju izbjegavati u najvećoj mogućoj mjeri.

Zaštita tla sukladno istom Zakonu obuhvaća očuvanje zdravlja i funkcija tla, sprječavanje oštećenja tla, praćenje stanja i promjenu kakvoća tla te saniranje i obnavljanje oštećenih tala i lokacija. Onečišćenje, odnosno oštećenje tla smatra se štetnim utjecajem na okoliš, a utvrđivanje prihvatljivih graničnih vrijednosti kakvoće tla provodi se na temelju posebnih propisa. *Program trajnog motrenja tala Hrvatske*, nastao je kao rezultat trogodišnje provedbe Projekta "Izrada Programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom", a sastoji se od tri cjeline i obrađuje postupke trajnog motrenja: poljoprivrednih tala, šumskih tala, te potencijalno onečišćenih i onečišćenih lokaliteta, vodeći pri tom računa o posebnostima uzimanja uzoraka tla, posebnim parametrima i različitoj vremenskoj dinamici motrenja parametara s obzirom na način korištenja tala.

Tijekom izrade *Programa trajnog motrenja tala Hrvatske* vodilo se računa o prirodnoj raznolikosti i raznolikim agroekološkim obilježjima Hrvatske, koja se nalazi pod utjecajem različitih klimatskih uvjeta, sadrži matične supstrate raznovrsnih litoloških svojstava i heterogene forme reljefa. S posebnom pozornošću praćeni su događaji na području zaštite tla u zemljama Europske Unije te uzeti u obzir relevantni dokumenti i pravni propisi koje je Republika Hrvatska trebala usvojiti u procesu pristupanja Europskoj Uniji. Za svaku kategoriju tla bili su predloženi institucijski okviri i zaduženja za provedbu trajnog motrenja, preporučeni Referentni centri uzimajući u obzir tada postojeće zakonske propise.

*Program trajnog motrenja tala Hrvatske* i paralelno razvijani *Hrvatski informacijski sustav za tlo*, - HIST<sup>181</sup>, temelje se na iskustvima zemalja Europske Unije i preporukama Tematske strategije zaštite tla i popratnih materijala Tehničkih radnih skupina. Na taj način osigurana je kompatibilnost s Europskim informacijskim sustavom za tlo (engl. *European Soil Information System* – EUSIS). HIST ima zadatak osigurati pouzdane informacije i podatke o aktualnom stanju i promjenama u pedosferi i okolišu s posebnim osvrtom na antropogene utjecaje koji su rezultat društveno-ekonomskih uvjeta i tehnološkog pritiska na tlo i okoliš.

Europska Unija je zaštitu tla po značaju izjednačila sa zaštitom vode i zraka, a za sva pitanja degradacije i zaštite tla u EU nadležan je *Europski ured za tlo* (engl. *European Soil Bureau* – ESB), koji djeluje u okviru *Zajedničkog istraživačkog centra* (engl. *Joint Research Centre* – JRC) sa sjedištem u Ispri nedaleko Milana (Italija).

Kako oštećenja tla ne poznaju granice, da bi svojim djelovanjem pokrio cijelu Europu, uključivo i države izvan EU, taj ured je uspostavio Mrežu Europskog ureda za tlo (engl. *European Soil Bureau Network* - ESNB), koja angažira tloznanstvenike svih europskih država (iz Hrvatske najprije prof. F. Bašić, a zatim prof. J. Husnjak), te kao savjetodavno tijelo opslužuje Europsko povjerenstvo (engl. *European Commission* – EC) podacima potrebnim za vođenje djelotvorne politike gospodarenja tlom i zaštite tla. Tako je nastao najvažniji dokument EC Tematska strategija zaštite tla. Tematska strategija EC definira 8 izvora oštećenja tla: Erozijski > Pad sadržaja humusa > Onečišćenje > Zaslanjivanje > Zbijanje > Pad biološke raznolikosti > Prenamjena > Poplave i klizišta.

Tematska strategija za zaštitu tla trebala bi na EU razini biti zakonska osnova za povezivanje i ujednačavanje-standardizaciju nacionalnih sustava trajnog motrenja tala u obliku Okvirne Smjernice o tlu (engl. *Soil Framework Directive* COM (2006) 232).

Posebna pozornost posvećena je mogućnosti provedbe Programa nadogradnjom postojećih zakonskih akata i koristeći postojeće institucijske okvire, dakle uz minimalna ulaganja i opterećenja postojećeg sustava. Za svaki od tri osnovna načina korištenja (poljoprivreda, šumarstvo i potencijalno onečišćene lokacije) definirani su fizikalni, kemijski i mikrobiološki pokazatelji koji će omogućiti prikupljanje neophodnih informacija o promjenama stanja i karakteristika tla.

Podaci koji se prikupljaju uspostavljenim sustavom trajnog motrenja tala Hrvatske omogućava uvid u stanje hrvatskih tala, planiranje politike zaštite tla i održivog gospodarenja tlom, očuvanje bogatih prirodnih resursa Hrvatske, te višestruko opravdava financijska sredstva uložena u njegovo motrenje.

Postojeći podaci o oštećenjima tla u R. Hrvatskoj su još uvijek nepotpuni i temeljita procjena stanja tla nije moguća<sup>182</sup>.

## 7.2 Zaštita poljoprivrednog tla u R. Hrvatskoj

Poljoprivredno zemljište ima iznimnu uporabnu vrijednost za čovjeka jer se radi o resursu koji je potreban čovjeku za proizvodnju hrane, a hrana je neophodna za život. No nije proizvodnja hrane jedina "usluga" koju poljoprivredno zemljište pruža čovjeku. Poljoprivredno zemljište je ekonomsko dobro jer ga koristimo za ekonomsku aktivnost poljoprivrede iz koje dobivamo poljoprivredne proizvode. Međutim, priroda pa tako i poljoprivredna zemljišta, nam daje i druge "usluge" koje čovjek koristi poput pročišćavanja vode i zraka, rezervoara biljaka i životinja i slično, a da one nisu dio nikakve gospodarske aktivnosti. Te usluge se obično nazivaju usluge ekosustava te ih korištena i nekorištena poljoprivredna zemljišta besplatno pružaju čovjeku. Naime, čak i kada se poljoprivredno zemljište ne koristi za poljoprivredu ono je ekosustav za biološku raznolikost koja opet pruža druge usluge čovjeku. Iznenađuje je s druge strane da kada se u Hrvatskoj poljoprivredno zemljište koristi za poljoprivredu kao u slučaju pašnjaka za stočarstvo ili livada za pčelarstvo se stvara stanište sa većom biološkom raznolikošću od hrvatskih šuma. Stoga se vrijednost poljoprivrednog zemljišta ne može izraziti samo monetarnom vrijednosti koja se trenutno artikulira kroz tržište kao vrijednost za poljoprivrednu proizvodnju, već ono vrijedi mnogo više budući da ljudima pruža korisne usluge koje se ne procjenjuju na tržištu.

Upravo zbog nužnosti poljoprivrednog zemljišta za proizvodnju hrane kao i drugih funkcija koje ono pruža, sve više ga se prepoznaje kao jedan od ključnih resursa čija zaštita postaje imperativ.

Prema Zakonu o poljoprivrednom zemljištu<sup>3</sup> poljoprivrednim zemljištem se smatraju slijedeće poljoprivredne površine: oranice, vrtovi, livade, pašnjaci, voćnjaci, maslinici, vinogradi, ribnjaci, trstici i močvare kao i drugo zemljište koje se uz gospodarski opravdane troškove može privesti poljoprivrednoj proizvodnji.

U odnosu na pojam *poljoprivredno zemljište* treba razlikovati pojam *poljoprivredno tlo* koje je Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja<sup>58</sup> definirano kao dio zemljišta koji se koristi za poljoprivrednu proizvodnju pod čime se podrazumijeva površinski obrađeni sloj tla, kao i dublji horizont koji nije zahvaćen obradom, uključujući rastresite dijelove supstrata s podzemnom vodom koji mogu također biti onečišćeni tvarima unijetim u zemljište na opisani način.

Pri tome je potrebno provoditi zaštitu tog zemljišta od oštećenja kako bi se osigurala proizvodnja zdravstveno ispravne hrane i zaštite zdravlja ljudi, životinjskog i biljnog svijeta. Oštećenjem poljoprivrednog zemljišta, prema istom Zakonu, smatra se degradacija fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki, onečišćenje štetnim tvarima i organizmima (teški metali, potencijalno toksični elementi, organske onečišćujuće tvari i patogeni organizmi), premještanje (erozija vodom i vjetrom, eksploatacija kamena, šljunka i drugih građevinskih materijala, odnošenje plodinama, posudište, prekrivanje smećem ili drugim tлом) i prenamjena (izgradnja urbanih područja, industrijskih, energetske objekata, prometnica i hidroakumulacija).

### 7.2.1 Mjere zaštite poljoprivrednog tla od oštećenja

Zaštita poljoprivrednog tla provodi se u svrhu očuvanje njegovog njegove osnovne funkcije – proizvodnje hrane, čime se ujedno sprječava mogući štetan utjecaj na okoliš.

Da bi se propisale i provele odgovarajuće mjere za učinkovitu zaštitu poljoprivrednog tla, mora se poznavati aktualno stanje tla s obzirom na utvrđeni degradacijski proces (erozija, pad sadržaja humusa, onečišćenje itd.). Također je bitno poznavati zemljišnu politiku, međunarodne obveze i aktivnosti u zaštiti tla, te opća načela i prioritete za održivo gospodarenje i zaštitu tla kao i načela dobre poljoprivredne prakse.

Ovdje će biti navedene samo neke od mjera kojima se uspješno provodi smanjenje učinka ili potpuno zaustavljanje pojedinih degradacijskih procesa poljoprivrednog tla.

#### *Zaštita od erozija*

Erozija tla je gubitak čestica tla djelovanjem vode i vjetra. Ovaj oblik oštećenja dovodi do gubitka gornjeg sloja tla i smanjuje plodnost tla odnoseći fine čestice bogate hranjivima jer se smanjuje dubina ukorjenjivanja usjeva, a time i količina vode u tlu dostupna usjevu<sup>183</sup>. Šteta od gubitka tla sa površina na plitkoj podlozi mnogo je veća nego ondje gdje su tla duboka.

Osim gubitka tla šteta može biti prouzročena ispiranjem tla s korijena ili odnošenjem tek zasijanih usjeva. Usjevi se tada moraju ponovno sijati što je dodatni trošak, a i prinosi su niži radi kasnije ponovljene sjetve.

S obzirom da se erozija tla vjetrom pojačava kada je tlo suho, slabo strukturirano, golo i ravno, a vjetar jak, najučinkovitija mjera protiv erozije tla vjetrom jest podizanje vjetrozaštitnih pojaseva, drvoreda ili grmlja, i stalna pokrivenost tla biljem.

Erozija poljoprivrednog tla vjetrom u R. Hrvatskoj nije dovoljno znanstveno proučavana, a smatra se da ona i ne predstavlja poseban problem. Mjestimično se može javiti na lakšim pjeskovitim tlima istočne Slavonije i Podravine u onim dijelovima godine kada tlo nije zaštićeno vegetacijskim pokrovom<sup>184</sup>. Erozija tla vodom obično nastaje kada je količina padalina veća od kapaciteta tla za vodu, pa dolazi do formiranja potočića i vododerina na određenom mjestu pri velikoj količini padalina u kratkom vremenu. Rizik od erozije vodom je povećan na nagnutim poljoprivrednim tlima i tlima u nizinama uz rijeke.

Kao primjer učinkovite zaštite tla od erozije vodom može se navesti tzv. konzervacijska obrada tla odnosno postupak ostavljanja žetvenih ostataka nakon žetve radi povećanja organske tvari na površini tla.

Iako je procesima erozije zahvaćena gotovo polovica poljoprivrednog tla, u hrvatskoj poljoprivrednoj praksi se rijetko primjenjuju protuerozivne mjere, jer je na većini površina erozija umjerenog intenziteta<sup>182</sup>.

#### *Zaštita od smanjenja sadržaja humusa*

Oštećenjem tla se smatra i smanjenje sadržaja organske tvari (*humusa*) u tlu. Poznato je da organska tvar (*humus*) predstavlja temelj plodnosti tla i izvor je mikroorganizama, opskrbljuje biljke hranjivima i tvarima koje im povećavaju otpornost na bolesti i štetnike, povećava kapacitet tla za vodu i zrak, stvara mrvičastu strukturu itd., pa svako smanjenje organske tvari ug-



rožava podobnost tla za proizvodnju bilja. Brzina kojom se smanjuje sadržaj organske tvari u tlu ovisan je o sustavu gospodarenja i korištenja tla, pa se svaka agro-tehnička mjera mora pažljivo razmotriti s obzirom na sadržaj organske tvari (*humusa*) u tlu. U posljednjih pedeset godina, sadržaj organske tvari u našim tlima je u stalnom opadanju<sup>182</sup>, a procjenjuje se da je u tom razdoblju izgubljeno 50-70 % ishodišne organske tvari.

Da bi se poljoprivredno zemljište zaštitilo od ovog oblika oštećenja, te osigurali stabilni prinosi u biljnoj proizvodnji, neophodno je određenim mjerama kontinuirano održavati sadržaj organske tvari na zadovoljavajućoj razini. Tako npr. ako se stajski gnoj ne primjenjuje redovito, sadržaj organske tvari u tlu može se povećati se tzv. plodoredom što u praksi znači da se tijekom određenog broja godina, poljoprivredne kulture izmjenjuju svake godine. Nadalje, očuvanje sadržaja organske tvari može se osigurati i izbjegavanjem nepotrebne obrade tla i dubokog oranja kao i unošenjem žetvenih ostataka u tlo umjesto njihovog spaljivanja na tlu, jer se na tako povećava sadržaj organske tvari i biološka aktivnost tla.

### ***Zaštita od onečišćenja***

Onečišćujuće tvari u tlu su teški metali i potencijalno toksični elementi (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn), organske onečišćujuće tvari (pesticidi, industrijske kemikalije, nusproizvodi izgaranja i industrijskih procesa), radionuklidi i patogeni organizmi.

Kako je ranije rečeno, teški metali dopijevaju u tlo suhim i mokrim atmosferskim depozicijama iz industrije i prometa, no nije zanemariv njihov unos u tlo primjenom mineralnih gnojiva (Cd) i sredstava za zaštitu bilja (Cu).

Onečišćujućim tvarima smatraju se i tvari poput pesticida i herbicida koje dopijevaju na i u poljoprivredno zemljište, ali neadekvatno primjenjene (količine, vrijeme primjene, uvjeti u zemljištu i drugo) mogu prouzročiti štete po okoliš i/ili zdravlje ljudi.

Podaci o onečišćenju tla pesticidima, teškim metalima, PCB-ima i petrokemikalijama relativno su rijetki i obično se radi o rezultatima istraživanja na određenim lokalitetima, pa se onečišćenjima ovim tvarima pripisuje lokalni karakter. No bez obzira, na lokalni karakter ovih onečišćenja, zaštita poljoprivrednog zemljišta je propisana i provodi se zabranom, ograničavanjem i spriječavanjem njihovog unošenja u tlo kao i poduzimanjem drugih mjera za očuvanje poljoprivrednog zemljišta.

### ***Zaštita od zakiseljavanja***

Poljoprivreda ima veliki utjecaj na stanje tla zbog primjene agro-tehničkih mjera koje mogu uzrokovati njegovo kako biološku tako i kemijsku degradaciju. Tako npr. dugotrajna upotreba mineralnih gnojiva osim onečišćenja tla metalima, može uzrokovati i njegovo zakiseljavanje. Ovome u prilog ide podatak<sup>182</sup> o prosječnoj kiselosti našeg najplodnijeg tla u istočnoj Slavoniji, čiji pH iznosi svega 5,6. To je izuzetno niska pH vrijednost za tlo i znatno je ispod optimalne vrijednosti za neke poljoprivredne kulture.

Nadalje, ako tlo nije prirodno dovoljno opskrbljeno kalcijevim ili magnezijevim karbonatom ili nije redovno vapnjeno, njegova pH vrijednost se smanjuje. Vrlo kisela tla s pH ispod 4 nisu pogodna za poljoprivrednu proizvodnju.

Kako bi se spriječila pojava zakiseljavanja poljoprivrednog tla, potrebno je redovito analizirati njegovu pH vrijednost i poduzimati potrebne mjere. Jedna od najčešće korištenih mjera je učinkovita kalcijacija. Kod primjene postupka kalcijacije valja uzeti u obzir neutralizirajuću

vrijednost materijala za kalcizaciju (CaO) te ju provoditi češće s manjim količinama, jer prekomjerne količine materijala za kalcizaciju kroz dulje razdoblje mogu uzrokovati smanje preuzimanje većine hranjiva iz tla i nepovoljne učinke na intenzitet rasta biljaka.

### 7.3 Zaštita tla u zakonodavstvu R. Hrvatske

Za uvođenje suvremenih zakonodavnih rješenja, posebno imajući u vidu odredbe Ustava RH kojim se jamči, među ostalim, očuvanje prirode i čovjekova okoliša, zaštita prirodnog bogatstva, zemljišta, šume, vode, zračnog prostora, biljnog i životinjskog svijeta, te drugih dijelova prirode, kao i prava građana na zdrav život i zdrav okoliš, prijeko je potrebno donijeti Zakon o zaštiti tla, koji još uvijek ne postoji, a kojim bi se uredila temeljna pitanja u svezi s trajnim osiguranjem funkcija tla i održanja njegovih vrijednosti.

Naime, u članku 52. *Ustava Republike Hrvatske* iz 1990. godine, prepoznate su među ostalim i prirodne vrijednosti tala, koje su od povijesnog, gospodarskog i ekološkog značenja te kao takve od državnog interesa i imaju njezinu osobitu zaštitu, a raspolaganje tim vrijednostima potrebno je zakonom propisati.

Stoga i *Deklaracija o zaštiti okoliša Republike Hrvatske* iz 1992. godine, poziva na uspostavljanje zakonodavnog sustava i preporuča u skladu s međunarodnim ugovorima te s europskim i svjetskim standardima racionalno gospodariti tlom, značajnim prirodnim bogatstvom u cilju proizvodnje hrane. To nalaže provedbu stroge zaštite, odnosno zabranu prenamjene visokoplovnog tla u nepoljoprivredne, a posebice građevinske svrhe, unapređivanje nižih kategorija tala, privođenje zapuštenih površina poljoprivrednoj proizvodnji, strogu kontrolu primjene sredstava za zaštitu bilja, racionalno gospodarenje šumama, sanaciju degradiranih šuma, sustavno obnavljanje uništenih šuma, čime će se spriječiti daljnje propadanje i uništavanje šuma, bez obzira na moguće uzroke – kisele, kiše, nekontroliranu siječu, požare, ratna razaranja.

Pored Ustava, Deklaracija o zaštiti okoliša, Strategije i akcijskog plana zaštite biološke i krajobrazne raznolikosti i Nacionalne strategije zaštite okoliša, pojedina pitanja u svezi zaštite tla i održivog gospodarskog razvitka uređena su i mnogim drugim zakonskim propisima:

- Tako npr., Zakon o poljoprivrednom zemljištu propisuje osnovne uvjete zaštite, korištenja i promjene namjene poljoprivrednog zemljišta, raspolaganje poljoprivrednim zemljištem u vlasništvu Republike Hrvatske, nadzor i kaznene odgovornosti. Zaštita tla je također neodvojiva od zaštite poljoprivrednog zemljišta;
- Zakon o šumama pak, propisuje uvjete i način gospodarenja šumama kao i ograničenja korištenja šuma za potrebe stočarstva, odnosno poljoprivrede. Tim Zakonom uređuju se pojedina pitanja u svezi općekorisnih funkcija šume, te pitanja gospodarenja šumom, što uključuje najbitnija načelna pitanja zaštite tla (zaštitne šume u svezi sa sprječavanjem erozije tla, sprječavanjem bujica i poplava, utjecaja na plodnost zemljišta i poljoprivrednu proizvodnju i dr.);
- Zakon o rudarstvu uređuje pojedina pitanja u svezi korištenja i zaštite tla, posebno iskorištavanja prirodnih dobara, provođenja istraživanja, utjecaja tih radnji na okoliš, sanaciju devastiranog zemljišta i dr.;

- Zakon o zaštiti zraka uređuje pitanja onečišćenja zraka koja, između ostalog, imaju za posljedicu onečišćavanje tla (zakiseljavanje, suho i/ili mokro taloženje, taloženje krutih tvari, teških metala i sl.);
- Zakon o održivom gospodarenju otpadom uređuje pojedina pitanja u svezi postupanja s otpadom, saniranja otpadom onečišćenih površina, posebno u cilju sprječavanja onečišćenja okoliša, a time i tla;
- Zakon o prostornom uređenju uređuje pitanja u vezi gospodarenja, zaštite i upravljanja prostorom Republike Hrvatske kao osobito vrijednim i ograničenim nacionalnim dobrom. Prostorno uređenje obuhvaća očuvanje prirodnog i kulturnog bogatstva i korištenje njime, a to znači i korištenje tla kao jedne od temeljnih nacionalnih vrijednosti. Zahvati u prostoru provode se sukladno dokumentima prostornog uređenja, posebno sukladno Strategiji i Programu prostornog uređenja Republike Hrvatske, te prostornim planovima koji određuju osnovu za organizaciju, zaštitu, korištenje i namjenu prostora, zaštitu i unaprjeđenje okoliša, a to znači i zaštitu tla;
- Zakon o gradnji također uređuje pojedina pitanja u svezi s korištenjem tla, posebno s izgradnjom građevina i građevinskih cjelina i mogućim ugrožavanjem okoliša;

Iz navedenog se vidi da postoji cijeli niz važnih zakona i njihovih provedbenih dokumenata u kojima se uređuju pojedina pitanja vezana uz tlo, no jedinstven propis u obliku *Zakona o tlu* još ne postoji. Tlo namijenjeno korištenju u poljoprivredne svrhe uređeno je dijelom legislative koja obuhvaća temeljni zakon i niz pravilnika koji predstavlja provedbene akte su:

- Zakon o poljoprivrednom zemljištu (NN 39/13)
- Pravilnik o mjerilima za utvrđivanje osobito vrijednog obradivog (P1) i vrijednog obradivog (P2) poljoprivrednog zemljišta (NN 53/10)
- Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 60/10)
- Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10)
- Pravilnik o uvjetima i načinu korištenja sredstava naknade koja se plaća zbog promjene namjene poljoprivrednog zemljišta (NN 87/09, 2/10)
- Pravilnika o evidenciji uporabe poljoprivrednog zemljišta NN (128/11, 131/12, 24/13)

Unatoč brojnim ljudskim aktivnostima koje ovise o tlu te načinu korištenja zemljišta, u R. Hrvatskoj, kao niti u EU, bez obzira na navedenu legislativu, nije uspostavljen zakonski okvir za zaštitu tla i zemljišta na način na koji su zaštićene druge sastavnice okoliša. Nedostatak zakonskoga okvira za posljedicu ima i kronični nedostatak podataka o stanju tla i načinu korištenja zemljišta, što otežava ispunjavanje obveza R. Hrvatske za izvješćivanje prema međunarodnim institucijama.

Na samom završetku pripreme ove skripte za publiciranje, iz tiska je izašla monografija pod naslovom "The Soils of Croatia" (F. Bašić 2013), u kojoj se, uz ostalo navodi: "*Članovi utjecajnog tijela EU - Mreže Europskog ureda za tlo (European Soil Bureau Network - ESNB <http://eusoiils.jrc.it/>), jedinstveni su u mišljenju kako djelotvorna zaštita tla na europskom prostoru nema alternative. Održivo gospodarenje tlom u poljoprivredi i šumarstvu, kao najvećim korisnicima zemljišta osnova je na kojoj je osmišljen koncept temeljen na tom mišljenju. A njegova provedba izravno utječe na količinu i sigurnost opskrbe europskog čovjeka hranom (Food security), kvalitetu i zdravstvenu ispravnost hrane (Food safety), čistu, za piće zdravu vodu i topao, oku drag i pamtljiv krajobraz na zajedničkom nam europskom zemljopisnom prostoru. Sve su to sastavnice i "pokretačka snaga" održivog ruralnog razvoja, toliko potrebnog Hrvatskoj. Hrvatski tloznanstvenici i korisnici tla daju svoj prilog cilju koji smjera Hrvatsku učiniti uglednim i poželjnim gospodarskim partnerom u Europskom društvu naroda. Odgovarajući na "poziv vremena" namjeravamo osmisliti osnovna načela ekonomski, ekološki i socijalno održiv i prihvatljiv sustav gospodarenja tlom na našem prostoru".*

Mi na kraju dodajemo: ako makar i skromno doprinese provedbi ovih zamisli, ovo djelo će ispuniti namijenjenu mu ulogu.

## 8. LITERATURA

1. Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13)
2. Zakon o zaštiti okoliša (NN 80/13)
3. Zakon o poljoprivrednom zemljištu (NN 39/13)
4. V. Glavač, Uvod u globalnu ekologiju, Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, Zagreb, 1999., str. 42
5. <http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/1ESO/Astro/contenido20.htm> (24.7.2013.)
6. I. Kisić, Sanacija onečišćenog tla, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2011.
7. F. Bašić, Oštećenje i zaštita tla, 2. izdanje, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2009.
8. <http://www.marlimillerphoto.com/chemical.html> (24.7.2013.)
9. V. Hršak, Onečišćenje tla u Ekološki leksikon, ur. O.P. Springer, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb, 2001, str. 95-103.
10. H. Resulović, H. Čustović, Pedologija – Opći dio, Knjiga I, Univerzitet u Sarajevu, BiH, Sarajevo 2002.
11. <http://www.vaderstad.com/uk/Know-How/Soils-basic/Soil-structure/> (28.7.2013.)
12. M. Ćirić, Pedologija, 3. Izdanje, Svjetlost, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo 1991, str. 116.
13. D. Kaučić, Hrvatski meteorološki časopis, **24**, 24 (1989) 65-71.
14. D. Derežić, V. Vučetić, Tendencija povećanja srednje temperature tla u Hrvatskoj, Hrvatski meteorološki časopis, **46**, 46 (2012) 85-96.
15. <http://djh.hrt.hr/mnu-raspored/2738> (30.7.2013.)
16. <http://www.medp.unist.hr/moduli/pedologija/predavanja/Humus.pdf> (30.7.2013.)
17. F. Bašić, Pedologija, Viša poljoprivredna škola, Križevci, 1976.
18. D.L. Sparks, Environmental soil chemistry, 2nd ed., Academic Press, San Diego, CA, 2003, str. 116
19. [http://www.chicagowilderness.org/CW\\_Archives/issues/summer2008/book\\_reviews.html](http://www.chicagowilderness.org/CW_Archives/issues/summer2008/book_reviews.html) (30.7.2013.)
20. F. Bašić, Oštećenja i tehnologije zaštita tala hrvatske – otvorena pitanja, rukopis pisanih predavanja studentima Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2009.
21. <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/consumer/quickref/soil/soillife.html> (30.7.2013.)
22. A. Špoljar, Tloznanstvo i popravak tla, I dio, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 2007, str. 71.
23. <http://www.poljoprivreda.ba/preporucujemo/leksikon-mainmenu-122/2093-plodnost-tla> (15.7.2013.)
24. V. Vukadinović, Plodnost tla i gnojidba usjeva - Priručnik Osječko-baranjske županije, Poljoprivredni fakultete u Osijeku, [http://ishranabilja.com.hr/literatura/ishrana\\_bilja/Plodnost\\_tla.pdf](http://ishranabilja.com.hr/literatura/ishrana_bilja/Plodnost_tla.pdf) (2.8.2013.).
25. <http://pedologija.com.hr/literatura/OTiBP/Funkcije%20tla.pdf> (7.8.2013.)

26. V. Mihalić, F. Bašić, Temelji bilinogojstva, Školska knjiga Zagreb, Zagreb 1997.
27. W. E. H. Blum, Functions of Soil for Society and the Environment, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, **4**, 3(2005) 75-79.
28. A. M. Breure, Soil biodiversity: measurements, indicators, threats and soil functions, 1st International Conference soil and compost eco-biology, León – Spain, September 15th – 17th 2004.
29. K. Madena, H. Bormann, L. Giani, Soil functions – today's situation and further development under climate change, Erdkunde, **66**, 3 (2012) 221-237.
30. W.E.H. Blum, B.P. Warkentin, F. Frossard; Soil, human and environment u Function of Soils for Human Societies and the Environment, urednici E. Frossard, W. E. H. Blum, B.P. Warkentin, Geological Society London, Special publication 266, London, UK 2006, str. 1-8.
31. S. Lazar, W. Kappler, Recording and documentation of archive functions of soils in the Stuttgart city area, Report of the project: Development of new soil management strategies Part 1 in the EU project URBAN SMS (Project No. 6.56), Stuttgart, Germany 2010.
32. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC, Brussels, 22.9.2006, COM (2006) 232 final, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0232:FIN:EN:PDF>.
33. [http://sh.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Carbon\\_cycle-cute\\_diagram.svg](http://sh.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Carbon_cycle-cute_diagram.svg) (9.8.2013.)
34. [http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec\\_001/ins\\_001/pedologija/004%20Organizmi%20i%20organska%20tvar-razgradnja.pdf](http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec_001/ins_001/pedologija/004%20Organizmi%20i%20organska%20tvar-razgradnja.pdf) (9.8.2013.)
35. [http://www.apcp.hr/zanimljivosti\\_opsirno.asp?zID=29](http://www.apcp.hr/zanimljivosti_opsirno.asp?zID=29) (9.8.2013.)
36. V. Drenvenkar, S. Fingler, Pesticidi i drugi perzistentni organoklorovi spojevi u okolišu u nas, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, **51**, (2000) 59-73.
37. S. Herceg Romanić, B. Krauthacker. Raspodjela organoklorovih pesticida i polikloriranih bifenila (PCB) u zraku sakupljenom u Zagrebu. U: Valić F, Šega K, ur. Zbornik radova Drugoga Hrvatskog znanstveno-stručnog skupa *Zaštita zraka '99*, 22.–25. rujana 1999, Šibenik. Zagreb: Hrvatsko udruženje za zaštitu zraka 1999; str. 499–503.
38. M. Picer, N. Picer. Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske. I. Istraživanje razina polikloriranih bifenila na tlu i u otpadnom ulju ratom oštećenih trafostanica krškoga područja Hrvatske. Hrvatska vodoprivreda **73** (1998) 10–14.
39. [http://landresources.montana.edu/SWM/PDF/Final\\_proof\\_SW1.pdf](http://landresources.montana.edu/SWM/PDF/Final_proof_SW1.pdf) (12.8.2013.)
40. <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/spi/soil-biodiversity/what-is-soil-biodiversity/en/> (12.8.2013.)
41. <http://guernseysoil.blogspot.com/2012/07/your-backyard-woods-water-cycle.html> (12.8.2013.)
42. M. Jock, T. Henrichs, A. Pirc-Velkavrh, A. Volkery, D. Jarosinska, P. Csagoly, Y. Hoogeveen, The European Environment State and Outlook 2010 – Synthesis, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 2010, str. 53.
43. Pokrov i namjena korištenja zemljišta u RH - stanje i trendovi, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb 2010, str 21.-23.



44. Pregled podataka o korištenju zemljišta i promjenama u korištenju zemljišta u RH, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb 2012., str. 19.
45. [http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land\\_use/index.php?idp=150](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=150) (14.8.2013.)
46. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05).
47. Direktiva 2008/98/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o otpadu i ukidanju određenih direktiva (SL L 312, 22. 11. 2008.).
48. Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada ( NN 117/07, 111/11, 17/13, 62/13).
49. <http://www.kab.org/site/PageServer?pagename=landfilling> (13.8.2013.)
50. Cheal Petroleum Limited Deep Well Injection Monitoring Programme Biennial Report 2007-2009, Technical Report 2009-92, Taranaki, New Zeland, 2010. <http://www.trc.govt.nz/assets/Publications/technical-reports/oil-and-gas-compliance-monitoring-reports/715251.pdf>. (13.8.2013.)
51. Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13).
52. Pregled podataka o odlaganju otpada i odlagalištima otpada Republike Hrvatske, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb 2012., str. 3.
53. Zakon o potvrđivanju konvencije o europskim krajobrazima (NN 12/02)
54. <http://www.unep.org/geo/GEO3/english/120.htm> (16.8.2013.)
55. [http://www.ieep.eu/assets/431/land\\_degdesert.pdf](http://www.ieep.eu/assets/431/land_degdesert.pdf) (5.12.2013.)
56. F. Bašić, Klasifikacija oštećenja tala Hrvatske, Agronomski glasnik, **3-4** (1994) 291-310.
57. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN 15/92)
58. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10)
59. H. Mesić, A. Čidić, S. Dominković Alavanja i drugi, Program trajnog motrenja tala Hrvatske, Projekt Izrada Programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom LIFE TCY/CRO 000105, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2008.
60. W. Grzebisz, L. Cieśła, J. Komisarek, J. Potarzycki, Geochemical Assessment of Heavy Metals Pollution of Urban Soils, Polish Journal of Environmental Studies, **11**, 5 (2002), 493-499.
61. K.M. Banat, F.M. Howari, A.A. Al-Hamad, Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks?, Environmental Research, **97**, 3(2005) 258-273.
62. D. Salvagio Manta, M. Angelone, A. Bellanca, R. Neri, Mario Sprovieri, Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy, Science of the total environment, **330**, 1-3 (2002) 229-243.
63. M. Cleto Soares de Moura, G. Ciaramella Moita, J. Machado Moita Neto, Analysis and assessment of heavy metals in urban surface soils of Teresina, Piauí State, Brazil: a study based on multivariate analysis, Comunicata Scientiae **1**, 2 (2010) 120-127.
64. A. H. M. M. Morshed, M. A. Farukh, M. A. Sattar, Heavy Metal Contamination in Farm and Urban Soil in Mymensingh, Journal of Environmental Science and Natural Resources, **5**, 2 (2012) 81-84.
65. B. J. Alloway, Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils, Environmental Pollution, **22** (2013) 11-50.

66. Z. Lončarić, I. Kadar, Z. Jurković, V. Kovačević, B. Popović, K. Karalić, Teški metali od polja do stola, Proc. 47th Croatian International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 13-17 February, 2012, p. 14.23.
67. I. Jakovljević, S. Žužul, Policiklički aromatski ugljikovodici u zraku, Arhiv za Higijenu Rada i toksikologiju 62 (2011) 357-370.
68. M. I. Bakker, B. Casado, J. W. Koerselman, J. Tolls, C. Kollöffel, Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and plant samples from the vicinity of an oil refinery, Science of the Total Environment, 263 (2000) 91-100.
69. T. C. Van Brummelen, R. A. Verweij, S. A. Wedzinga, C. A. M. Van Gestel, Enrichment of polycyclic aromatic hydrocarbons in forest soils near blast furnace plant. Chemosphere 32 (1996) 293-314.
70. J. J. Nam, G. O. Thomas, F. M. Jaward, E. Steinnes, O. Gustafsson, K. C. Jones, PAHs in background soils from Western Europe: Influence of atmospheric deposition and soil organic matter. Chemosphere, 70 (2008) 1386-1392.
71. A. F. Wick, N. W. Haus, B. F. Sukkariyah, K. C. Haering, W. L. Daniels, Remediation of PAH-Contaminated Soils and Sediments: A Literature Review, Environmental Soil Science, Wetland Restoration and Mined Land Reclamation, Ed.: A. F. Wick and W. L. Daniels, Virginia Tech, 2011, Blacksburg, VA, USA. <http://landrehab.org/userfiles/files/Dredge/Virginia%20Tech%20PAH%20Remediation%20Lit%20Review%202011.pdf> (23.8.2013.)
72. B. Maliszewska-Kordybach, B. Smreczak, A. Klimkowicz-Pawlas, H. Terelak, Monitoring of the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in arable soils in Poland, Chemosphere 2008, 73 (2008)1284-1291.
73. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Z. Šmit, Čeličanska elektropeć kao izvor emisije polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina i dibenzofurana u svijetlu Direktive Vijeća 96/61 EC o cjelovitom sprječavanju i kontroli onečišćenja, Kem.Ind. 57, 1 (2008) 9–18.
74. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Z. Šmit, Značaj emisije polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina i dibenzofurana od procesa proizvodnje željeza i čelika, Kem.Ind. 55, 12 (2006) 511–522.
75. U. Quass, M. Fermann, G. Broeker, Assesment of Dioxin Emission until 2005, The European Dioxin Emission Inventory – Stage II, Volume 3, North Rhine Westphalia State Environment Agency and EC, Directorate General for Environment, Essen, Germany, December 2000, str. 25, 118-136.
76. U. Quass, M. Fermann, G. Broeker, The European Dioxin Emission Inventory Project – Final Results, Chemosphere 54 (2004) 1319.
77. T. Sofilić, J. Jendričko, PCDDs/Fs Pollution from Metallurgical Processes in the Town of Sisak, Croatia, Archives of metallurgy and materials (u tisku).
78. S. N. Meijer, W.A. Ockenden, A. Sweetman, K. Breivik, J.O. Grimalt, K.C. Jones, Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: implications or sources and environmental processes. Environ. Sci. Technol. 37, (2003) 667-672.
79. A. J. Sweetman, M. D. Valle, K. Prevedouros, K. C. Jones. The role of soil organic carbon in the global cycling of persistent organic pollutants (POPs): interpreting and modelling field data. Chemosphere, 60 (2005)959-972.

80. R. Lohmann, K. Breivik, J. Dachs, D. Muir. Global fate of POPs: Current and future research directions. *Environ. Pollut.* **129** (2007)129-144.
81. D. Kožul, S. Herceg Romanić, Analiza polikloriranih dibenzo-*p*-dioksina i polikloriranih dibenzofurana u tlu i sedimentu, *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, **60** (2009) 243-257.
82. O. Jovanović-Kovačević, I. Draganić, Radiohemija i nuklearna hemija u Radioaktivni izotopi i zračenja, Knjiga I., Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, 1981, str. 203-206.
83. EUROPEAN COMMISSION, Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, Radiation Protection 112, European Commission, Directorate-General, Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1999.
84. D. Barišić, A. Vertačnik, S. Lulić, Caesium contamination and vertical distribution in undisturbed soils in Croatia, *Journal of environmental radioactivity* **46**, 3 (1999) 361-374.
85. N. Filipović-Vinceković, D. Barišić, N. Mašić, S. Lulić, Distributiom of fallout radionuclides through soil surface layer, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* **127**, 1 (1991) 53-62.
86. V. Oreščanin, D. Barišić, L. Mikelić, I. Lovrenčić, M. Rožmarić Mačefat, G. Pavlović, S. Lulić, Chemical and radiological profile of the coal ash landfill in Kaštel Gomilica, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* **57**, 1 (2006) 9-16.
87. Pravilnik o uvjetima, načinu, mjestima te rokovima sustavnog ispitivanja i praćenja vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, krutim i tekućim oborinama, vodi za piće, hrani i predmetima opće uporabe te stambenim i radnim prostorijama, (NN 60/08).
88. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Š. Cerjan-Stefanović, Radioaktivni materijali u čeličnom otpadu, *Strojarstvo* **43**, 1-3 (2001) 65-70.
89. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Š. Cerjan-Stefanović, Ž. Grahek, Opravdanost praćenja prisutnosti radionuklida u čeličnom otpadu i sirovom čeliku, *Strojarstvo*, **43**, 4-6 (2001) 203-209.
90. J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Wörner, Natural Radionuclide Concentrations in Materials Processed in the Chemical Industry and the Related Radiological Impact, European commission, Nuclear safety and the Environment, Report EUR 19264, 2000.
91. A. M. Gbadebo and A. J. Amos, Assessment of Radionuclide Pollutants in Bedrocks and Soils from Ewekoro Cement Factory, Southwest Nigeria, *Asian Journal of Applied Sciences*, 3 (2010)135-123.
92. C. Manea, C. Podina, I. Pordea, G. Crutu, G. Ilie, I. Robu, The estimation of cements radioactivity obtained by electrofilter ashes addition due to thermal power station based on coal from Oltenia Coalfield, Romania. *Analele Universitatii din Bucuresti – Chimi. Anul XVII* 1 (2008) 45–49.
93. K. Khan, H. M. Khan, Natural gamma-emiting radionuclides in Pakistani Portland cement, *Applied Radiation and Isotopes* **54** (2001) 861-865.

94. S. Turhan, U. N. Baykan, K. Sen, Measurement of the natural radioactivity in building materials used in Ankara and assessment of external doses. *J. Radiol. Prot.* **28**, 1 (2008) 83–87.
95. C. Manea, C. Podina, I. Pordea, G. Crutu, G. Ilie, I. Robu, The radiological risk assessment due to the radioactivity of thermal power station ashes added in building materials. *Rev. Roum. Chim.* **55**, 1(2010) 39–44.
96. T. Sofilić, D. Barišić, Ž. Grahek, Š. Cerjan-Stefanović, A. Rastovčan-Mioč, B. Mioč, Radionuclides in metallurgical products and waste, *Acta metallurgica Slovaca*, **10**, 1 (2004) 29-35.
97. T. Sofilić, D. Barišić, U. Sofilić, Natural Radioactivity in Steel Slag Aggregate. *Archives of metallurgy and materials*, **56**, 3 (2011) 628-634.
98. T. Sofilić, D. Barišić, U. Sofilić, M. Đuroković, Radioactivity of Some Building and Raw Materials in Croatia. *Polish Journal of Chemical Technology*, **13**, 3 (2011) 23-27.
99. T. Sofilić, D. Barišić, U. Sofilić, Monitoring of Radionuclides in Carbon Steel Blooms Produced by EAF Process. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* **47**, 2 (2011)125-136.
100. C. Carlon, M. D'Allesandro, F. Swartjes, Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe a Review and Evaluation of National Procedures Towards Harmonisation, European Commission, Directorate-General Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 2007.
101. V. Rajaganapathy, F. Xavier, D.Sreekumar, P.K.Mandal, Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products: a review, *Journal of Environmental Science and Technology* **4**, 3 (2011) 234–249.
102. K. Fent, Ecotoxicological effects at contaminated sites, *Toxicology* **205**, 3 (2004) 223–240.
103. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overview-of-activities-causing-soil-contamination-in-europe> (14.8.2013.)
104. P. Panagos, M. Van Liedekerke, Y. Yigini, L. Montanarella, Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network, *Journal of Environmental and Public Health*, **2013** (2013) 1-11.
105. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/detailed-analysis-of-industrial-and-commercial-activities-causing-soil-contamination-by-country> (27.8.2013.)
106. <http://www.eea.europa.eu/themes/soil/soil-threats> (25.8.2013.)
107. Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2005.-2008., Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb 2012.
108. T. Vrančić, Iskustva u sanaciji najzagađenijih područja, *Građevinar* **63**, 8 (2011) 793-800.
109. V. Mladineo, Zbrinjavanje građevinskog otpada koji sadrži azbest u RH, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, **60** (2009) 11-14.
110. Program rada Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost za 2013. godinu, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, Zagreb 2013.
111. Okoliš na dlanu I – 2013, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb 2013.
112. U. Sofilić, V. Mandić, H. Skopal, Karakterizacija mulja iz procesa kemijske pripreme čeličnih cijevi, *Kem. Ind.* **58**, 10 (2009) 433–440.

113. D. Barišić, S. Lulić, P. Miletić, Radium and uranium in phosphate fertilizers and their impact on the radioactivity of waters, *Water Research* **26**, 5 (1992) 607-611.
114. D. Barišić, A. Vertačnik, J. Bromenshenk, N. Kezić, S. Lulić, M. Hus, P. Kraljević, M. Šimpraga, Z. Seletković, Radionuclides and selected elements in soil and honey From Gorski Kotar, Croatia, *Apidologie* **30**, 4 (1999) 277-287.
115. A. Vertačnik, D. Barišić, Lj. Musani, E. Prohić, M. Juračić, Exchangeable fraction of Elements in alluvial sediments under waste disposal site (Zagreb, Croatia), *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*. **218**, 1(1997) 45-52.
116. Nacionalna strategija zaštite okoliša (NN br. 46/02).
117. D. Krasić, D. Vidić, A. Mikulić, Rudarska djelatnost u Republici Hrvatskoj, dostupno na <http://www.bib.irb.hr/datoteka/571313.BRA.doc>.
118. V. P. Beškoski, G. Đ. Gojgić-Cvijović, J. S. Milić, M. V. Ilić, S. B. Miletić, B. S. Jovančičević, M. M. Vrvić, Bioremedijacija zemljišta kontaminiranog naftom i naftnim derivatima: mikroorganizmi, putanje razgradnje, tehnologije, *Hem. ind.* **66**, 2 (2012) 275–289.
119. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva - Uprava za inspeksijske poslove, Godišnje izvješće o radu inspekcije zaštite okoliša u 2009. godini, Zagreb, 2010.
120. S. Vujec, Prikaz rudarstva Hrvatske, Europe i svijeta na kraju milenija, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, **11** (1999) 33-42.
121. Lj. Rajić, B. Dalmacija, M. Dalmacija, Elektrokinetičko uklanjanje pb iz jalovine uz primenu stabilizacionih agenasa, *Mining Engineering*, **4** (2012) 225-241.
122. <http://www.nacional.hr/clanak/92997/madarska-zbog-straha-od-novog-izlijevanja-toksicnog-mulja-evakuiran-kolontar>
123. <http://blogs.agu.org/landslideblog/2010/10/07/the-ajkai-timfoldgyar-tailings-dam-disaster-lessons-from-the-los-frailles-tailings-dam-failure-in-spain/>
124. R. Remus, M. A. Aguado-Monsonet, S. Roudier, L. Delgado Sancho, JRC Reference Report, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), EUR 25521 EN, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Seville, Spain, 2013.
125. F. Bikić, Š. Goletić, Desulfurizacija koksnog plina Zeničke koksne baterije – primjena BAT tehnologije, *Zbornik radova 6. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem KVALITET 2009*, Neum, BiH, 2009.
126. [http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/SCHO0195BJKP-e-e\\_0.pdf](http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/SCHO0195BJKP-e-e_0.pdf)
127. M. Petrović, Priprema mineralnih sirovina - osnovi aglomeriranja, [http://140.53.116.242/Predavanja\\_vjezbe\\_programi\\_rokovi/Materijali/predavanje\\_osnove\\_sinteriranja.pdf](http://140.53.116.242/Predavanja_vjezbe_programi_rokovi/Materijali/predavanje_osnove_sinteriranja.pdf).
128. P. Besta, A. Samolejová, K. Janovská, M. Lampa, R. Lenort, Evaluation of benefits resulting from innovation of input raw materials dosing process in sintering, *Metalurgija*, **51**, 4 (2012) 457-460.

129. T. Sofilić, A. Rastovčan-Mioč, Z. Šmit, Značaj emisije polikloriranih dibenzo-p-dioksina i dibenzofurana od procesa proizvodnje željeza i čelika, *Kemija u Industriji*, **55**, 12 (2006) 511–522.
130. Tehnička enciklopedija, JLZ Zagreb, 1979., svezak 13, str. 680.
131. A. Rađenović, J. Malina, G. Matijašić, Promjena svojstava visokopećnog mulja, *Kem. Ind.* **58**, 4 (2009) 138–142.
132. Pravilnik o razvrstavanju, označavanju, obilježavanju i pakiranju opasnih kemikalija (NN br. 64/11, 116/11, 71/12).
133. C.Z. Rizescu, E.V. Stoian, C. Ittu, D.N. Ungureanu, Z. Bacinschi, (2011), Heavy metals dust from electric arc furnace, International Conference on Biomedical Engineering and Technology, IPCBEE vol.11 IACSIT Press, Singapore, 2011, 116-120.
134. C. Sikalidis, M. Mitrakas, R. Tsitouridou, Immobilization of Electric Arc Furnace Dust Toxic Elements Within the Matrix of Concrete Based Products, *Global NEST Journal*, **12**, 4 (2010) 368-373.
135. V. Barcan, Leaching of nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust, *Environment International* **28** (2002) 63-68.
136. R. Schulín, F. Curchod, M. Mondeshka, A. Daskalova, A. Keller, Heavy metal contamination along a soil transect in the vicinity of the iron smelter of Kremikovtzi (Bulgaria), *Geoderma* **119** (2007) 52-61.
137. M. Lončnar, M. Zupan, P. Bukovec, A. Jakli, The Effect Of Water Cooling on the Leaching Behaviour of Eaf Slag from Stainless Steel Production, *Materials and technology* **43**, 6 (2009) 315–321.
138. A.A. Rodella, D.G. Chiou, Copper, Zinc, and Manganese Mobilization in a Soil Contaminated by a Metallurgy Waste used as Micronutrient Source, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **40**, 9-10 (2009) 1424-1434.
139. M. Tossavainen, E. Forssberg, Leaching behavior of rock material and slag used in road construction – a mineralogical interpretation, *Steel Research International*. **71**, 11 (2000) 442–448.
140. M.P. Luxán, R. Sotolongo, F. Dorrego, E. Herrero, Characteristics of the slags produced in the fusion of scrap steel by electric arc furnace, *Cement and concrete research*, **30**, 4 (2000) 517–519.
141. E. Remon, J.L. Bouchardon, B. Cornier, B. Guy, J.C. Leclerc, O. Faure, Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: implications in risk assessment and site restoration, *Environmental Pollution* **116** (2005) 316-323.
142. A. Ene, A. Pantelică, C. Freitas, A. Boşneagă, EDXRF and INAA Analysis of Soils in the Vicinity of a Metallurgical Plant, *Romanian Journal of Physics*, **56**, 7–8 (2011) 993–1000.
143. F. Sallaku, S. Fortuzi, O. Tota, B. Huqi, D. Chachalis, M. Daraesheh, Heavy metal soil contamination around the metallurgical plant of Elbasani in Albania, *Journal of Food, Agriculture & Environment* **7**, 3-4 (2009) 878-881.



144. P. Adamo, M. Arienzo, M.R. Bianco, F. Terribile, P. Violante, Heavy metal contamination of the soils used for stocking raw materials in the former ILVA iron–steel industrial plant of Bagnoli (southern Italy), *The Science of the Total Environment* **295** (2002) 17–34.
145. T. Sofilić, Povezanost zagađenja zraka i tla, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Tehnološki fakultet, Zagreb 1984.
146. T. Sofilić, B. Bertić, V. Šimunić-Mežnarić, I. Brnardić, Soil Pollution as a Result of Temporary Steel Scrap Storage at the Melt Shop, *Ecologia Balkanica* **1** (2013) 21–30.
147. T. Sofilić, A. Šorša, V. Šimunić-Mežnarić, I. Brnardić, Indirektni utjecaj procesa proizvodnje čelika na onečišćenje tla, pozvano predavanje, Prvi naučno-stručni-skup sa međunarodnim učešćem "5. juni-svjetski dan zaštite okoliša", Bihać 4.-5.06.2013.
148. T. Sofilić, I. Brnardić, V. Šimunić-Mežnarić, A. Šorša, Soil Pollution as a Result of Nonhazardous Waste Landfilling from Steel Production, *Kemija u industriji*, **62**, 11-12 (2013) 381-388.
149. Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 23/07 i 111/07).
150. I. Budić, Osnove tehnologije kalupljenja, Jednokratni kalupi I. dio, II. Izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski brod, 2010, str. 34-55.
151. T. Sofilić, F. Unkić, Direktiva IPPC (96/61/EC) i njezin značaj za hrvatske čeličane i ljevaonice, *Ljevarstvo*, **50**, 4 (2008) 107-117.
152. Risk-based Management of Land Contamination at Foundry Sites, <http://www.castingstechnology.com/public/documents/000000000000131.pdf>.
153. M. I. Szykowska, A. Pawlaczyk, E. Leśniewska, T. Paryjczak, Toxic Metal Distribution in Rural and Urban Soil Samples Affected by Industry and Traffic, *Polish J. of Environ. Stud.* **18**, 6 (2009) 1120-1129.
154. R.A Laitar, M.M. Geoffrey, New Foundry Binder Technologies: A Review of Environmental and Productivity Improvements, *Transaction of the American Foundrymens Society*, 96-117 (1996) 929-936.
155. D. Ugrinov, A. Stojanov, Bioremedijacija u tretmanu zagađenog zemljišta, *Zaštita materijala* **51**, 4 (2010) 237-244.
156. I. Gudelj, J. Hrenović, T. Landeka Dragičević, F. Delaš, V. Šoljan, H. Gudelj, Azo boje, njihov utjecaj na okoliš i potencijal biotehnološke strategije za njihovu biorazgradnju i detoksifikaciju, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* **62** (2011) 91-101.
157. V. P. Beškoski, G. Đ. Gojgić-Cvijović, J.S. Milić, M.V. Ilić, S.B. Miletić, B.S. Jovančićević, M.M. Vrvic, Bioremedijacija zemljišta kontaminiranog naftom i naftnim derivatima: mikroorganizmi, putanje razgradnje, tehnologije, *Hem. Ind.* **66**, 2 (2012) 275–289.
158. F.I. Khan, T. Husain, R. Hejazi, An overview and analysis of site remediation technologies, *J. Environ. Manage.* **71** (2004) 95–122.
159. E. Salt, M. Blaylock, N. Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley, I. Chet, I. Raskin, Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants, *Biotechnology* **13** (1995) 468–474.

160. C. Garbisu, J. Hernandez-Allica, O. Barrutia, I. Alkorta, J. M. Becerril, Becerril, Phytoremediation: a technology using green plants to remove contaminants from polluted areas, *Rev. Environ. Health* **17** (2002) 152–188.
161. T. Radić Lakoš, M. Radačić, Upotreba hiperakumulatora teških metala u remedijaciji onečišćenog tla, dostupno na [http://bib.irb.hr/datoteka/58261.Hiperakumulatori teških metala.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/58261.Hiperakumulatori%20teških%20metala.pdf) (23.9.2013.)
162. M. Đokić, N. Bilandžić, F. Briški: Postupci uklanjanja pesticida iz okoliša, *Kem. Ind.* **61**, 7-8 (2012) 341–348.
163. Y.J. Liu, Q.J. Liu, H. Ding, Reviews on soil pollution, risks, sources and phytoremediation involving metal contaminants, In: *Handbook of Phytoremediation*, Ed. I.A. Golubev, Nova science Publ., Inc. 2011, pp 223-262.
164. <http://deoracle.org/learning-objects/phytoremediation-organic-contaminants.html>
165. In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil, dostupno na <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1000STG.pdf> (28.9.2013.)
166. A.A. Khan, Modelling of Soil Contamination and its Remediation by In-Situ Solvent Flushing u Sh. A. Shahid, F. K. Taha, M. A. Abdelfattah, *Developments in Soil Classification, Land Use Planning and Policy Implications*, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2013, str. 771.
167. <http://www.geoengineer.org/education/web-based-class-projects/geoenvironmental-remediation-technologies/soil-washing?showall=&start=4>
168. B. D. Bone, L. H. Barnard and C. D. Hills, *Guidance on the use of Stabilisation/Solidification for the Treatment of Contaminated Soil*, Published by: Environment Agency, Rio House, Bristol, UK, 2004.
169. L. Grobbel, Z. Wang, A Review of Stabilization/Solidification (S/S) Technology for Waste Soil Remediation, <http://www.geoengineer.org/education/web-based-class-projects/geoenvironmental-remediation-technologies/stabilization-solidification?showall=1&limitstart=> (2.10.2013.)
170. <http://www.on.ec.gc.ca/pollution/ecnpd/tabs/tab22-e.html> (2.10.2013.)
171. <http://www.ersremediation.com/remediation/thermal-techniques> (2.10.2013.)
172. <http://www.astecinc.com/images/file/literature/AstecThermalRemediationSystem.pdf>
173. [http://www.epa.gov/superfund/students/clas\\_act/haz-ed/ff\\_08.htm](http://www.epa.gov/superfund/students/clas_act/haz-ed/ff_08.htm) (3.10.2013.)
174. F. I. Khan, T. Husain, R. Hejazi, An overview and analysis of site remediation technologies, *Journal of Environmental Management* **71** (2004) 95–122.
  
175. L. V. Pavel, M. Gavrilescu, Overview of ex situ decontamination techniques for soil cleanup, *Environmental Engineering and Management Journal* **7**, 6 (2008) 815-834.
176. [http://ec.europa.eu/environment/soil/three\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm) (14.10.2013.)
177. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:242:0001:0001:EN:PDF>
178. Zakon o potvrđivanju Konvencije Ujedinjenih Naroda o suzbijanju dezertifikacije u zemljama pogođenim jakim sušama i/ili dezertifikacijom, osobito u Africi (NN-MU 11/00).

179. F. Bašić, A. Butorac, Ž. Vidaček, Z. Racz, Z. Ostojić, B. Bertić, Program zaštite tala Hrvatske (prijedlog), Fond dokumentacije Državne uprave za zaštitu okoliša, Zagreb, 1993.
180. Nacionalni plan djelovanja za okoliš (NN 46/02).
181. <http://www.azo.hr/UspostavaIRazvoj> (14.10.2013.)
182. D. Znaor, S. Karoglan Todorović, Priručnik za provođenje mjera zaštite okoliša na SAPARD i IPARD projektima za poljoprivredu i prehrambenu industriju, dostupno na [http://www.mzoip.hr/doc/EI/Prirucnik\\_IPARD\\_2012.pdf](http://www.mzoip.hr/doc/EI/Prirucnik_IPARD_2012.pdf) (13.12.2013.)
183. I. Katalinić, S. Krnić, M. Brstilo i drugi, Načela dobre poljoprivredne prakse, Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja, Zagreb, 2009.
184. Ž. Vidaček, M. Bogunović, A. Bensa, Aktualno stanje zaštite tla u Hrvatskoj, <http://bib.irb.hr/datoteka/146016.pinta.doc> (16.12.2013.)

#### **Dopunska literatura:**

1. F. Bašić, Oštećenje i zaštita tla - skripta, 2. izdanje, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2009.
2. I. Kisić, Sanacija onečišćenog tla, Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2011.
3. F. Bašić, The Soils of Croatia, World Soil Book Series, International Union of Soil Sciences, editor Alfred E. Hartemink, Springer Verlag, p. 179., Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 2013.
4. Geokemijski atlas Republike Hrvatske, Hrvatski geološki institut, ur. Josip Halamić i Slobodan Miko, Zagreb, 2009.
5. V. Glavač: Uvod u globalnu ekologiju. II izd. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Pučko otvoreno učilište, 2001.

## 9. POPIS OZNAKA, KRATICA I POKRATA

- BTEX – benzena, toluena, etilbenzena i ksilena, (engl. *Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene*);
- CHC – klorirani ugljikovodici (engl. *Chlorinated Hydrocarbon*);
- CL – zemljište pod usjevima (engl. *Cropland*);
- EEA – Europska agencija za okoliš (od engl. *European Environment Agency*);
- EIONET – Europska informacijska i promatračka mreža (od engl. *European Environment Information and Observation Network*);
- EK – elektrokemijska
- ELP – elektrolučna peć;
- ESDAC – Europska središnjica za prikupljanje podataka o tlu (engl. *European Soil Data Centre*);
- EU – Europska unija;
- EUSIS – Europski informacijski sustav za tlo (engl. *European Soil Information System*);
- FAO – međunarodna organizacija za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda (engl. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*);
- FL – šumsko zemljište (engl. *Forest Land*);
- GL – travnjaci (engl. *Grassland*);
- Gt – mjerna jedinica za masu, giga =  $10^9$ , 1Gt =  $10^9$ t = 1000 000 000 t;
- GV – granična vrijednost;
- ha – mjerna jedinica za površinu ( $10\,000\text{ m}^2$ );
- HIST – Hrvatski informacijski sustav za tlo;
- IPCC – međuvladin panel o promjeni klime (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*);
- OL – ostalo zemljište (engl. *Other Land*);
- P – poroznost tla;
- PAH – policiklički aromatski ugljikovodici (engl. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*);
- PCB – poliklorirani bifenili;
- PCDD – poliklorirani dibenzo-*p*-dioksini (engl. *Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins*);
- PCDF – poliklorirani dibenzofurani (engl. *Polychlorinated Dibenzofurans*);
- pH – negativni logaritam brojčane vrijednosti množinske koncentracije vodikovih iona;
- POP – postojeane organske onečišćujuće tvari (engl. *Persistent Organic Pollutants*);
- Rgp – relativna gustoća prava;
- Rgv – relativna gustoća volumna;
- SL – naseljeno područje (engl. *Settlements*);
- S/S – solidifikacija/stabilizacija;

- TOC – ukupni organski ugljik (engl. *Total Organic Carbon*);
- UHP – elektrolučna visokoučinska peć (engl. *Ultra High Power*);
- UNEP – Program Ujedinjenih naroda za zaštitu okoliša (od engl. *United Nations Environment Programme*);
- VOPT – višenamjensko obilježje poljoprivrede i tla (engl. MFCAL od *Multifunctional character of agriculture and land*);