

Štetne tvari u tlu

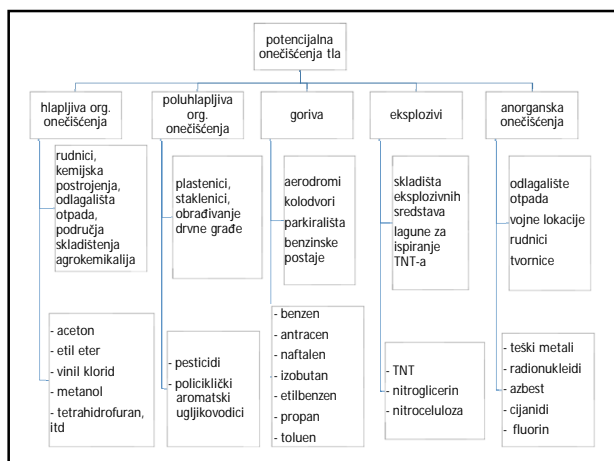
modul: Osnove agroekologije
prof. dr. sc. Irena Jug

- Štetna tvar je svaka tvar u poljoprivrednom tlu u koncentraciji koja privremeno ili trajno dovodi u pitanje njegovu osnovnu ulogu u proizvodnji hrane.
- Onečišćena tla (lokalno ili globalno) su tla u kojima se nalaze tvari koje se ne nalaze u prirodnom kemijskom, fizikalnom i biološkom sastavu tla.
- *Lokalno onečišćenje tala* – vezano za velika industrijska i/ili poljoprivredna područja
- *Globalno onečišćenje tala* – uzrokovano prijenosom štetnih tvari oborinama, vjetrovima, vodotokovima i dr.
- Takva tla imaju neželjene posljedice na ekosustav

Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 39/13)

- Zaštita zemljišta od onečišćenja provodi se zabranom, sprječavanjem i ograničavanjem unošenja onečišćujućih tvari u zemljište kao i poduzimanjem drugih mjera za njegovo očuvanje.
- Onečišćujuće tvari su teški metali (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) i potencijalno toksični esencijalni elementi (Zn i Cu), organske onečišćujuće tvari (pesticidi, industrijske kemikalije, nusproizvodi izgaranja i industrijskih procesa), radionuklidi i patogeni organizmi.

- Onečišćujućim tvarima smatraju se i tvari koje se uobičajeno unose u zemljište, ali neadekvatnom primjenom (količine, vrijeme primjene, uvjeti u zemljištu i drugo) mogu prouzročiti štete po okoliš i/ili zdravlje ljudi.
- Izvori onečišćenja su: industrijska proizvodnja i usluge, industrijski otpad, gradski otpad, naftna industrija, rudarstvo, elektrane, skladišta, vojna aktivnost, promet, transportni izljevi, poljoprivredna djelatnost, incidentne situacije i ostalo.



- Fe, Mo i Mn su važni mikroelementi čija toksičnost nije visoka
- Zn, Ni, Cu, V, Co i Cr su toksični elementi (Zn, Cu i Ni – mikroelementi)
- As, Cd, Hg, Pb nemaju određenu biološku funkciju i smatraju se toksičnima za žive stanice.

Teški metali u tlu

- Pod pojmom onečišćenja tla teškim metalima podrazumijevamo udio teškog metala u tlu u onoj količini koja dovodi do mjerljivih poremećaja neke od funkcija tla, a posebice one vezane za tvorbu organske tvari
- Tlo je složeni sustav s brojnim procesima koji ga određuje te je u interakciji biljka-tlo vrlo teško utvrditi je li došlo do onečišćenja tla (za razliku od onečišćenja zraka i vode)
- *Teški metali* - metali čija gustoća prelazi 5 g cm^{-3} ; s aspekta biljne ishrane možemo ih podijeliti na :
 - *Mikroelemente* (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Ni)
 - *Toksične elemente* (Cd, Hg, Cr, Pb)

PORIJEKLO TEŠKIH METALA U TLU

- **PRIRODNO** (geogeno – matični supstrat)
- **IMISUSKO** (unešeno)
- **ANTROPOGENO** (utjecajem ljudskog rada)

- Fiziološka uloga teških metala za čovjeka, biljke i životinje nije dovoljno poznata.
- Neki od njih pripadaju grupi biogenih elemenata (u manjim koncentracijama), neki su bez fiziološkog značaja, dok je jedan dio toksičan i dovodi do anomalija u živim organizmima.
- Svi teški metali imaju tendenciju neograničenog nakupljanja u organizmu ili biljnom tkivu, što je posebno opasno na zagađenim staništima i pri uzgoju biljaka koje imaju visoki afinitet prema tim elementima (primjer povrća).

Koncentracija teških metala u ekosustavima povećava se uslijed:

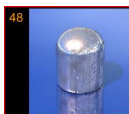
- industrije i prometa (Zn, Cu, Pb, Hg, Cd i Ni),
 - termoelektrana (As)
 - poljoprivrede (Cd, As i Ni)
- Prirodnim fosfatima unose se U, V, As, Cr i Cd, a organskim gnojivima Cd, Zn, Cu (svinjski stajski gnoj) te Pb i Co.
- Teški metali unose se i materijalom za kalcijaciju (saturacijskim muljem), iako povećanjem pH vrijednosti opada bioraspoloživost teških metala (isključujući Mo).

- Fiziološka uloga teških metala za čovjeka, biljke i životinje nije dovoljno poznata.
- Neki od njih pripadaju grupi biogenih elemenata (u manjim koncentracijama), neki su bez fiziološkog značaja, dok je jedan dio toksičan i dovodi do anomalija u živim organizmima.
- Svi teški metali imaju tendenciju neograničenog nakupljanja u organizmu ili biljnom tkivu, što je posebno opasno na zagađenim staništima i pri uzgoju biljaka koje imaju visoki afinitet prema tim elementima (primjer povrća).

Afinitet nekih biljnih vrsta za teške metale

velika	srednja	mala	vrlo mala
salata	kelj	kukuruz	grah
špinat	kupus	brokula	grašak
mrkva	cikla	cvjetača	dinja
endivija	bijela rotkva	kelj pupčar	rajčica
	repica	celer	paprika
	krumpir	kupina	patlidan
		jagoda	jabuka

Kadmij (Cd)



- Lat. cadmium, mek, srebrnast metal, sličan i srodan cinku, koji ga redovito prati u mineralima.
- Gustoća mu je 8,63.
- Hlapljiviji je od cinka, pa se stoga nalazi u prvim frakcijama prašine koja se taloži u predlošcima pri destilaciji cinka.
- Dobiva se iz dima iz peći za proizvodnju olova i bakra, kao i iz ostataka pri elektrolitskoj rafinaciji cinka.

- Spojevi kadmija vrlo su otrovni.
- Najobičnija sol kadmija je sulfat, CdSO_4 , dobiven otapanjem metala u sulfatnoj kiselini.
- Kadmij-sulfid CdS , služi kao slikarska boja (kadmijsko žutilo).
- Kadmij-bromid (CdBr_2) i jodid (CdI_2) upotrebljavaju se u fotografiji slično solima srebra.
- Kristali kadmij-sulfida, selenida i telurida (CdS , CdSe , CdTe) upotrebljavaju se u poluvodičkoj elektronici zbog dobrih fotoelektričkih svojstava.

- Cd se u tlima akumulira izgaranjem fosilnih goriva, spaljivanjem otpada, u industriji plastike, boja, eksploziva itd.
- Sadržaj Cd u tlima je uglavnom nizak (ispod 3 mg kg^{-1}), a kontaminaciju izazivaju mineralna gnojiva, organska gnojiva i gnojiva dobivena iz kanalizacijskog mulja.
- Normalna koncentracija Cd u biljkama je $0.05 - 2 \text{ mg kg}^{-1}$, dok se toksičnost javlja $> 3 \text{ mg kg}^{-1}$.
- Cd u mineralnim gnojivima porijeklom je iz sirovina za proizvodnju P-gnojiva. Izborom sirovina može utjecati na koncentraciju Cd u gnojivu, ali to utječe i na cijenu proizvoda

- Cd se nalazi u znatnim količinama u fosfatima sedimentnog podrijetla. Fosforiti iz Maroka sadrže 15.4 g Cd/t , a iz Senegala čak 75.0 g Cd/t .
- Normalne koncentracije Cd u tlu su 0.1 do 1 mg Cd/kg tla , dok mineralna gnojiva iz "Petrokemije" d.o.o. sadrže $35.7 \text{ mg Cd/kg P}_2\text{O}_5$, pa u narednih barem stotinu godina kadmij iz mineralnih gnojiva neće predstavljati problem.
- Opasnost od kadmija i drugih teških metala izrazita je tek u vrlo kiseloj sredini

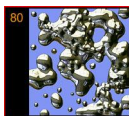
Olovo (Pb)



- U elementarnom stanju plovo-sivkast, sjajan, mekan i mehanički slab metal relativne gustoće 11,3
- porijeklom – prometnice (sastavni dio goriva). Veći dio olova oslobođenog ispušnim plinovima deponira se do 100 m od prometnice, što uzrokuje koncentraciju Pb u biljkama i do 150 mg kg^{-1} Pb.
- U površinskim slojevima tla vrijednosti se kreću od 2 do 100 mg kg^{-1} , iako postoje i ekstremne vrijednosti od 1000 mg kg^{-1}

- U tlu se olovo nalazi u obliku Pb^{2+} te kao olovo tetraetil, olovo trietil, olovo dietil,...
- Organski oblici olova za biljku predstavljaju veći problem od ionskog olova jer su mobilniji
- Pb je snažni okolišni polutant i toksičan je u vrlo niskim koncentracijama
- Ne pripada skupini esencijalnih elemenata i akumulira se u različitim djelovima biljke
- Fitotoksičnost Pb: narušavanje fizioloških procesa, smanjenje vodenog potencijala, negativan utjecaj na sintezu hormona, smanjena aktivnost elektronskog transporta, -/+ enzimatska aktivnost

Živa (Hg)

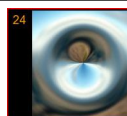


- lat. Hydrargyrum
- Elementarna živa je jedini je tekući metal koji na sobnoj temperaturi tvori žitku tekućinu velike gustoće (13,6 puta teža od vode)
- Pojavljuje se u elementarnom obliku (toplomjeri), organskim (metilživa) i anorganskim spojevima (živa(I)-klorid, živa(II)-cijanid, živa(II)-sulfid, itd)
- Poriijeklo u tlu: primjenama fungicida (metilživa), gnojiva, komunalnog otpada, pigmentima boja (cinober), itd.

- U tlu se živa veže u netopive oblike koji su slabo mobilni te je akumulacija u tlu i pristupačnost za biljku slaba do osrednja
- Elementarna živa može se u okolišu pojaviti iz prirodnih izvora kao što su erupcije vulkana, erozija tla te bakterijska razgradnja organskih živinih spojeva i antropogenih izvora kao što su spalioničke komunalnog otpada, ložišta na fosilna goriva, pogoni elektrolize gdje se živa koristi kao elektroda, itd. Temeljni problem onečišćenja okoliša živom je u tome što se njezini organometalni spojevi mogu nakupljati i metabolizirati u biosferi (najpoznatiji slučaj masovnog otrovanja organometalnim spojevima žive koji se dogodio u zaljevu Minamata, u Japanu).

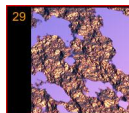
- Iako su svi spojevi žive izuzetno toksični za biljke i životinje, njena fitotoksičnost ne predstavlja veći ekotoksikološki problem.
 - Koncentracija pri kojoj se uočavaju simptomi fitotoksičnosti Hg na biljkama znatno je iznad onih koji se u normalnim uvjetima nalaze u tlu.
 - pristupačnost žive u tlu za biljke je obično niska, i smatra se da korjen predstavlja prepreku većem nakupljanju žive u nadzemnom dijelu biljke.
- Prema nekim istraživanjima akumulacija žive u korjenu može biti i dvadeset puta veća nego u nadzemnim organima biljke.
- Koncentracija žive u biljkama u prosjeku se kreće oko 0,2 mg kg⁻¹ ST, dok je toksična granica između 1-3 mg kg⁻¹ ST

Krom (Cr)



- Krom je sjajan, bijeli, vrlo tvrd i krk metal gustoće 7,2 g cm⁻³
- U prirodi ga nalazimo u tlu, vulkanskoj prašini i dimu
- U tlu se pojavljuje kao Cr³⁺ i Cr⁶⁺
- Primjenjuje se u čeličnoj industriji, kemijskoj industriji i kožarskoj ind.
- U biljci koncentracija Cr se kreće od 00,02 do 1 mg kg⁻¹, a toksično granica je > 5 mg kg⁻¹

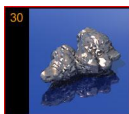
Bakar (Cu)



- Lat. cuprum, crveni metal gustoće 8.96, poslije srebra najbolji vodič topline i elektriciteta.
- Dužim stajanjem potamni od oksida, a pod utjecajem atmosferilija s vremenom se prevlači zelenom patinom.
- U prirodi rijedak u elementarnom stanju.
- Najviše ga ima u sulfidnim rudama (halkopirit, kovelit, halkozin i bornit), zatim u oksidnim (kuprit) i u karbonatnim rudama (malahit i azurit).

- Mikroelement, slabo mobilnosti osim pri pH<4
- Najveći izvori bakra u poljoprivredi – zaštitna sredstva na bazi bakra, industrijski mulj, gnojovka
- Sadržaj bakra u tlu – 5-50 ppm, a u biljkama od 2-20 ppm
- Toksičnost bakra očituje se smanjenim rastom korijena i izdanaka, klorozom starijeg lišća i crvenkasto – smeđom nekrozom

Cink (Zn)



- Plavo bijeli metal gustoće 7.14,
- Glavne rude: sfalerit i smitsonit
- Najveći postotak cinka u onečišćenim tlima povezan je sa željeznim i manganovim oksidima.
- Bioraspoloživost Zn raste smanjenjem pH vrijednosti
- Toksična vrijednost konc. Zn u biljkama je 150 – 200 ppm

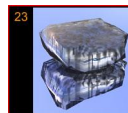
Željezo (Fe)



- U čistom elementarnom stanju željezo je poput srebra - bijel, razmjerno mekan, kovan metal, kemijski dosta otporan
- iz primarnih i sekundarnih minerala, sadržaj ~ 2 % (pretežno anorganske prirode)
- sadrže ga karbonati, oksidi, silikati, sulfidi
- najznačajniji *hematit* i *geotit*
- u tlima s dosta OT *Fe-oksi-hidroksi* spojevi i *Fe kelati*
- u ionskom obliku – Fe^{3+} i Fe^{2+}

- Suvišak željeza - u vrlo kiselim, slabo prozračenim tlima, gdje je moguće toksično djelovanje suviška željeza.
- Kritična toksična granica za Fe je 400 do 1000 ppm (~500 ppm), a pojava je češća kod uzgoja riže (bronzing efekt).
- Toksično djelovanje željeza ogleda se u inhibiciji vegetacijskog rasta, tamnom, plavozelenom lišću i mrkoj boji korijena.

Vanadij (V)

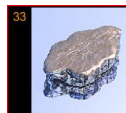


- tvrd, siv ili srebrno-bijeli metal, netopiv u hladnoj kloridnoj i sulfatnoj kiselini; gustoća 5,98.
- Pojavljuje se u prirodi u dosta rijetkim mineralima, ali prati mnoge druge metale u njihovim rudama (uran, radij, aluminij).

Sadržaj teških metala u nekim gnojivima (ppm)

Element	NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	Sirovi fosfati	Superfosfat	Bazne drozge
Cu	1 - 20	1 - 10	1 - 50	10 - 100	10 - 100
Co	0-5	<1	1 - 10	1 - 10	1 - 10
Ni	<1	<1	1 - 10	1 - 10	1 - 10
Pb	<1	<1	1 - 10	1 - 10	1 - 10
Mo	<1	<1	1 - 20	1 - 20	1 - 20
Zn	1 - 10	1 - 50	50 - 1000	50 - 1000	10 - 100
Mn	1 - 50	1 - 50	10 - 1000	10 - 1000	1 - 5%
Cr	<1	<1	100 - 500	10 - 500	1000 - 5000
Ti	<1	<1	10 - 1000	50 - 2000	1000 - 5000
V	<1	<1	10 - 1000	50 - 2000	1000 - 5000

Arsen (As)



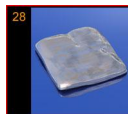
- Sivi metal koji se u čistom obliku ne nalazi u okolišu
- Toksični oblici- arsenat (As^{5+}) i arsenit (As^{3+})
- Arsenat – se fiksira u tlu i time postaje nepokretan.
- U tlu su vrlo male količine As
- Toksičnost je vidljiva kod biljaka koje su uzgajane na odlagalištima rudnog otpada kao i na tlima tretiranim herbicidima i muljem otpadnih voda

Selen (Se)



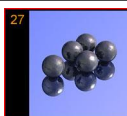
- Metal s nekoliko alotropskih modifikacija za koje je značajna crvena ili siva boja
- U prirodi je rijedak, a često se pojavljuje kao pratitelj sumpora
- Toksične konc. Se u tlu javljaju se u aridnim područjima,
- Izvor onečišćenja može biti i otpadna voda za navodnjavanje (termoelektrane na ugljen)

Nikal (Ni)



- Srebrno bijeli teško topivi metal koji je za biljke i životinje neophodan
- Najčešći izvor onečišćenja tla niklom je kanalizacijski mulj
- Višak nikla uvjetuje deficit Fe jer sprječava njegovu translokaciju
- Leguminoze usvajaju veće količine Ni

Kobalt (Co)



- Lat. cobaltum, srebrnobijeli metal srodan niklu i željezu, magnetičan i na visokim temperaturama. Redovito prati nikal i druge metale u njihovim mineralima; u slobodnom stanju nalazi se u meteoritima.
- Povećane koncentracije kobalta - na tlima gdje je odložen opasni otpad koji sadržava Co
- Co se oslobađa u okoliš i izgaranjem nafte i ugljena te ispušnim plinovima automobila

RADIONUKLIDI U TLU

- su svi elementi koji se nalazeu prirodi, a čiji su redni brojevi veći od 83 (bizmut)
- Prirodni radionuklidi javljaju se u većim ili manjim količinama u svim dijelovima ekosustava, a naročito je značajna njihova prisutnost u atmosferi, hidrosferi i pedosferi
- 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

- Ove onečišćujuće tvari se u tlo nose depozicijom iz atmosfere, migracijom nekontrolirano ispuštenih otpadnih voda ili uporabom nusproizvoda i/ili otpada, koji mogu sadržavati umjetne radionuklide
- 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

URAN (U^{235}) - porijeklom je iz fosfatnih sirovina, a najveći je zagađivač u radioaktivnom obliku (izotop U^{238})

KALIJ (K^{40}) - Važan biogeni makroelement, nepoželjan u radioaktivnom obliku. Porijeklo mu je iz sirovina za proizvodnju gnojiva.

Istraživanja Instituta "Ruđer Bošković" pokazuju da je uz uobičajene doze gnojiva potrebno 500 godina da se prirodni fon radioaktivnosti u tlu udvostruči.

PAH – poliaromatski ugljikovodici

- Skupina cikličkih ugljikovodika koji sadrže 4,5,6 ili 7 povezanih benzenovih prstenova, a prema kemijskoj građi pripadaju trajnim organskim onečišćivačima
- U prirodi je koncentracija PAH-a niska, a povećan sadržaj uvjetovan je jedino različitim antropogenim djelovanjem
- PAH-ovi su kancerogeni i mutageni
- Antracen, koronen, krizen, piren, fluoren, naftalen, itd.

POP – postojani organski onečišćivači

- Skupina toksičnih aromatskih sintetskih spojeva dobivenih kloriranjem bifenila (aromatski ugljikovodik, koji se ističe toplinskom postojanošću. Ima ga u katranu kamenog ugljena. Služi u organskim sintezama, u proizvodnji mnogih bojila, kao konzervans i kao medij za laboratorijske toplinske kupelji) uz katalizator

- UNEP (United Nations Environment Programme) krajem 20 st. Pokrenuli su inicijativu za izradu Konvencije o postojanim organskim onečišćivačima.
- Konačan tekst je potpisan 2001. g. U Stockholmu (RH je također potpisnik ove Konvencije)
- Konvencija nalaže: SVE POPISNICE MORAJU UKLONITI OPREMU KOJA SADRŽAVA POLIKLORIRANE BIFENILE (PCB-e) DO 2025. GODINE
- Cilj Konvencije je monitoring proizvodnje i upotrebe svih POP-ova

1. Aldrin – pesticid - u RH zabranjen od 1972.g.
2. Klordan – pesticid s vremenom razgradnje do 4 g. U RH zabranjen 1971. g.
3. DDT (diklordifeniltrikloretan) – insekticid (2. sv. Rat u borbi protiv malarije, tifusa i dr., a nakon toga kao insekticid u poljoprivredi te protiv komaraca). Rok raspadanja – do 15 godina u tlu. U RH zabranjen od 1972.g.
4. Dieldrin – protiv bolesti i štetnika. U Rh zabranjen od 1972.g.
5. Endrin – insekticid. U RH zabranjen od 1989.g.
6. Heptaklor – insekticid. U Rh zabranjen od 1973.g.
7. Heksaklorbenzen – tretiranje sjemena. U RH –do 1980.g.
8. Mireks – insekticid.

FITOREMEDIJACIJA

- tehnologija koja se koristi biljkama i njihovim rizosfernim mikroorganizmima pri uklanjanju, degradaciji ili zadržavanju štetnih kemijskih tvari u tlu, podzemnim vodama te atmosferi.

prednosti	nedostatci
Okolišno prihvatljiva tehnologija	Dugo vremensko razdoblje (15 g)
Jeftinija od ostalih metoda	Opasnost od prijenosa onečišćivača
Mali volumen otpada	Ograničenje dubinom korijena
Krajobrazno prihvatljiva	Različiti klimati
Poboljšava biodivergentnost	Mogućnost onečišćenja podzemnih voda
Protuerozijska mjera	Autohtonost biljaka
Smanjuje emisiju čestica tla	Fitotoksična ograničenja
Ne narušava strukturu	SUDBINA BILJNE MASE?????

Fitoremedijacija se sastoji od četiri različite tehnologije uklanjanja štetnih tvari iz tla i vode :

1. **Fitoe ekstrakcija** - uporaba biljaka velike biomase sa sposobnošću akumuliranja teških metala i drugih onečišćivača i njihovog translociranja u nadzemne dijelove biljke koji se potom uklanjaju uobičajenim agrotehničkim mjerama
2. **Fitostabilizacija** - uporaba biljaka u cilju smanjenja bioraspoloživosti polutanata u okolišu kroz rizosferu kemijskim i biološkim mehanizmima pri čemu dolazi do promjene u pH vrijednosti tla
3. **Rizofiltracija** - upotreba korijenovog sustava biljaka za adsorpciju i adsorpciju polutanata, uglavnom metala, iz vode
4. **Fitovolatilizacija** – pomoću transpiracije više biljke otpustaju onečišćivače u atmosferu

Vrsta remedijacije	Cilj	Medij	Onečišivači	Biljke
fitoekstrakcija	ekstrakcija i zadržavanje onečišivača	<ul style="list-style-type: none"> tlo sediment mulj 	<ul style="list-style-type: none"> metali (Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, Co radionukleidi) 	<ul style="list-style-type: none"> indijska gorušica poljski mošnjak suncokret topola
rizofiltracija	-II-	<ul style="list-style-type: none"> podzemne površinske vode 	-II-	<ul style="list-style-type: none"> indijska gorušica zumbul suncokret
vegetativni pokrov	Blokada onečišivača i kontrola erozije	<ul style="list-style-type: none"> tlo sediment mulj 	organski i anorganski spojevi	<ul style="list-style-type: none"> topole trave
rizodegradacija fitodegradacija	uništavanje onečišivača	<ul style="list-style-type: none"> tlo sediment mulj podzemna i površinska voda (samo za fito-) 	organski spojevi za fitodegradaciju i: fenoli, klorirana otapala, herbicidi...	Rizodegradacija: crveni dud, trave, riza, topola Fitodegradacija: Alge, topola, crna vrba, čempres
fitovolatizacija	Ekstrakcija onečišivača iz medija i ispuštanje u zrak	<ul style="list-style-type: none"> tlo sediment mulj podzemna voda 	Klorirana otapala i neki anorganski spojevi (Se, Hg, As)	<ul style="list-style-type: none"> Jablani Lucerna Ind. gorušica

Izvor: I. Kokić (2012): Sanacija onečišćenog tla, Zagreb

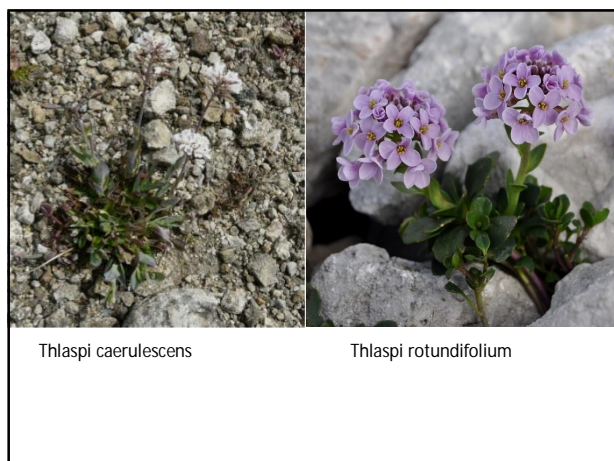
Fitoekstrakcija – koncept sanacije onečišćenog tla koji se obavlja biljkama *hiperakumulatorima* (biljke tolerantne na visoke konc. toksičnih tvari).

Biljke hiperakumulatori:

Thlaspi rotundifolium

Thlaspi caerulescens

Alpine pennycress (iznese do 125 kg Zn i 2 kg Cd/ha/god.)



Thlaspi caerulescens

Thlaspi rotundifolium

Astragalus bisulcatus – hiperakumulator Se



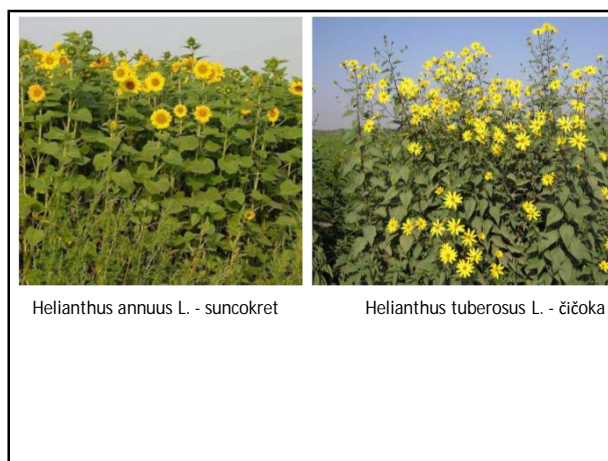
Eichhornia crassiper

Lemna minor L.

Amaranthus cruentus L.

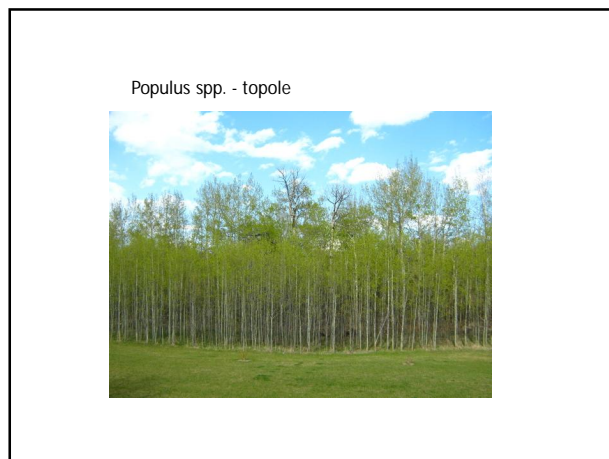
Amaranthus tricolor L.

Amaranthus paniculatus L.



Helianthus annuus L. - suncokret

Helianthus tuberosus L. - čičoka



Štetna tvar u tlu	Biljna vrsta pogodna za fitoremedijaciju
Cd	Gorušica, vrbe, breze, konoplja
Cr	Smeđa ili indijska gorušica
Hg	Smeđa ili indijska gorušica, suncokret, hibridne topole, neke vrste vrba
Ni	Spinat, kupus, grašak, konoplja, ječam, bob
Pb	Suncokret, grašak, heljda, kukuruz
U	Kelj, kineski kupus, suncokret
eksplozivi	Djetelina, raž, sirak, čempres, šaš



MAKSIMALNO DOPUŠTENE KOLIČINE ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U POLJOPRIVREDNOM ZEMLJIŠTU

mg/ kg	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Pjeskovito tlo	0,0-0,5	0-40	0-60	0,0-0,5	0-30	0-50	0-60
Prškasto – ilovasto tlo	0,5-1,0	40-80	60-90	0,5-1,0	30-50	50-100	60-150
Glinasto tlo	1,0-2,0	80-120	90-120	1,0-1,5	50-75	100-150	150-200

- Stupanj onečišćenja zemljišta teškim metalima i potencijalno onečišćujućim elementima izračunava se prema sljedećoj jednadžbi:

$So (\%) = \text{ukupni sadržaj TM} / \text{maksimalno dopuštena vrijednost} \times 100$

Za interpretaciju onečišćenja koristite se sljedeći kriteriji:

- čisto, neopterećeno zemljište do 25 %;
- zemljište povećane onečišćenosti 25 -50 %;
- zemljište velike onečišćenosti 50 – 100%;
- onečišćeno zemljište 100 – 200 %;
- zagađeno zemljište više od 200% od graničnih vrijednosti.

- Za teške metale kadmij (Cd), cink (Zn) i nikal (Ni) ukoliko je pH vrijednost glinastog tla manji od 6,0, tada se primjenjuje granična vrijednost propisana za praškasto – ilovasta tla, a ukoliko je pH vrijednost praškasto – ilovastog tla manji od 6,0, tada se primjenjuje granična vrijednost propisana za pjeskovita tla.
- Za teške metale olovo (Pb) i krom (Cr) ukoliko je pH vrijednost glinastog tla manji od 5,0, tada se primjenjuje granična vrijednost propisana za praškasto – ilovasta tla, a ukoliko je pH praškasto – ilovastog tla manji od 5,0, tada se primjenjuje granična vrijednost propisana za pjeskovita tla.
- Za teške metale živu (Hg) i bakar (Cu) ukoliko je sadržaj humusa glinastog tla manji od 3%, tada se primjenjuje granična vrijednost propisana za praškasto – ilovasta tla, a ukoliko je sadržaj humusa praškasto – ilovastog tla manji od 3%, tada se primjenjuje granična vrijednost propisana za pjeskovita tla.