

Čiščenje prsti s pomočjo rastlin

IZVLEČEK

Rastline vseh vrst so lahko dober pokazatelj biološkega odpravljanja velikega števila nevarnih snovi, ki so prisotne v različnih tipih okolja. Lahko se uporabljajo za remediacijo industrijskega onesnaženja, odpravljanja posledic pri morebitnem razlitju onesnaženih voda ali pri odpravljanju težav, ki nastanejo zaradi slabega otekanja voda. Proces, ki pri vsem tem poteka, so proces bioakumulacije, fitoekstrakcije, fitostabilizacije in rizofiltracije. Vse te procese lahko združimo v skupino procesov, ki jo imenujemo fitoremediacija.

Ključne besede:

ekoremediacija, fitoremediacija, prsti, kvaliteta prsti, fitoremediacijske rastline, onesnaževanje prsti.

ABSTRACT

Plants of all species are good indicators of biological reduction of hazardous contaminants that are widely present in all environment types. They can be used for remediation of industrial pollution, for impact reduction in case of wastewater spills and for solving the problems that are linked to insufficient draining of water. The processes involved are bioaccumulation, phytoextraction, phytostabilisation and rhizofiltration. All these processes can be joined into a group of processes called phytoremediation.

Key words:

ecoremediation, phytoremediation, soil, soil quality, phytoremediation plants, soil pollution.

Avtorici besedila:

Dr. ANA VOVK KORŽE, red. prof.,
Filozofska fakulteta, Univerza v Mariboru
E-pošta: ana.vovk@uni-mb.si

KATJA JANŠKOVEC, absolventka Oddelka za
geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Mariboru
E-pošta: katjansko@yahoo.com

COBISS 1.04 strokovni članek

Fitoremediacija je ena izmed tehnik bioremediacije. Pri tej tehniki uporabimo rastline za odstranjevanje strupov in kovin iz zemlje in vode. Tla, ki so izgubila samoočiščevalno sposobnost, so nevarna za okolje in jih je potrebno očistiti. Izbira tehnike čiščenja oziroma remediacije je odvisna od vrste strupenih snovi v tleh in od finančnih sredstev. V ta namen uporabljajo rastline, ki imajo že po naravni poti lastnosti, kot so močna absorpcija, presnova strupenih molekul v manj škodljive, zmanjšanje števila sintetičnih organskih spojin ter odpornost najvišje koncentracije strupenih molekul. Na drugi strani pa uporabljajo tudi gensko spremenjene rastline. Te vsrkanke strupene snovi se nalagajo v zgornjih delih rastline. Pri nekaterih rastlinah se samo skladiščijo, druge te nevarne molekule za okolje pretvarjajo in jih oddajajo v atmosfero v manj nevarni obliki.

Pri odločanju o metodi čiščenja je potrebno upoštevati lastnosti tal: homogenost, prepustnost, vlago, pH, oksidacijsko-redukcijski potencial (Eh) tal, vsebnost humusa in organsko vezanega ogljika, morebitno prisotnost olj in masti in še mnogo drugih dejavnikov. Znanstveniki so odkrili okrog štirideset vrst rastlin, ki so odporne za tovrstne postopke čiščenja prsti in vode.

Vrste fitoremediacij

Kovinska fitoremediacija

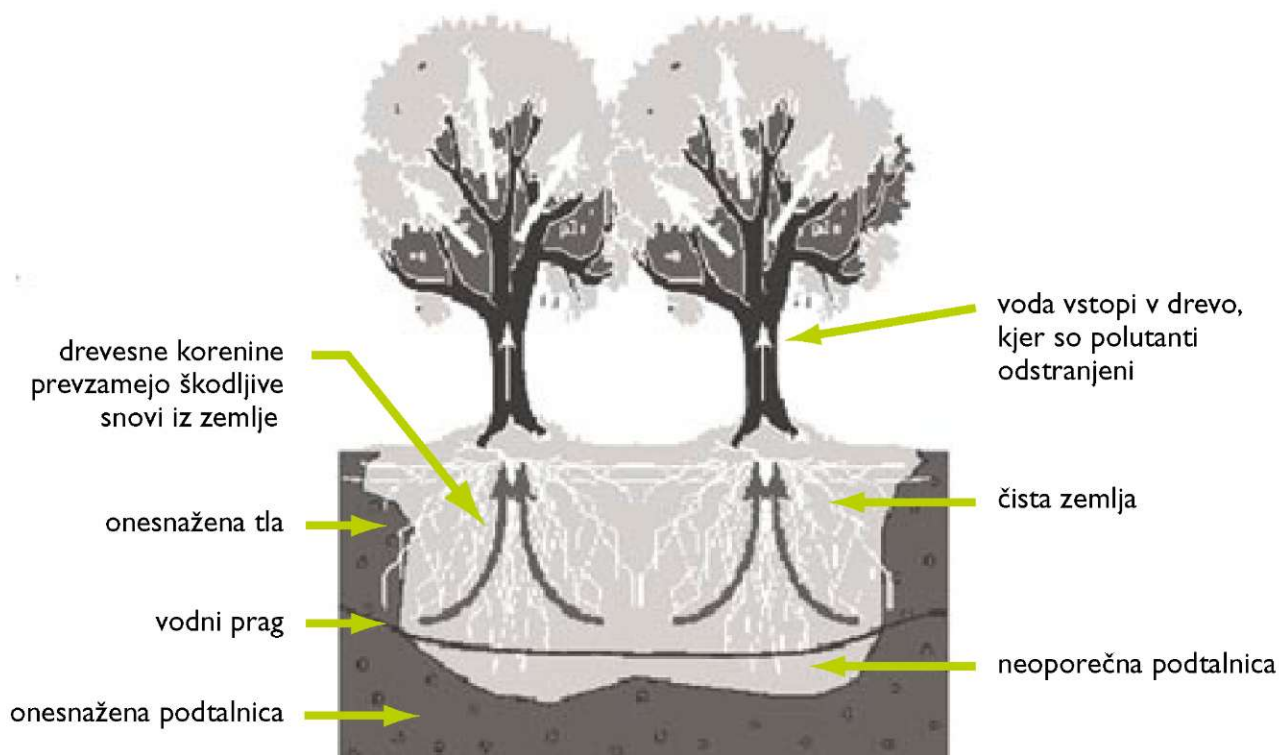
Remediacija območij onesnaženih s kovinami vsebuje uporabo naravnih zmožnosti nekaterih rastlin, da odstranijo ali uravnotežijo onesnaženost z bioakumulacijo, fitoekstrakcijo, rizofiltracijo ali fitostabilizacijo.

Fitoekstrakcija

Proces fitoekstrakcije vključuje črpanje kovinskih onesnaževalcev iz zemlje (preko korenin rastline) in njihovo akumuliranje v dele rastline, ki so nad zemljo. Določene vrste, imenovane hiperakumulatorji so sposobne absorbirati zelo velike količine kovin – v primerjavi z navadnimi rastlinami to pomeni od 50 do 100 krat višjo količino, občasno še precej več; (Primeri so *Thaspi caerulescens* in *Cardaminopsis halleri*, ki lahko akumulirata cink in kadmij ter *Alyssum lesbiacum*, ki lahko akumulira nikelj.).

Največ takih rastlin raste v krajih, ki že naravno vsebujejo velike količine kovin – njihova nenavadna

sposobnost je posledica evlucijske prilagoditve. Trenutno so najboljši kandidati za odstranjevanje baker, nikelj in cink, saj so to kovine, ki jih lahko preko korenin iz zemlje črpa velika večina hiperakumulacijskih rastlin. Da bi razširili število kovin za odstranjevanje se iščejo vrste hiperakumulacijskih rastlin, ki so sposobne absorbirati velike količine kroma in svinca. Poseben poudarek je tudi na rastlinah, ki omogočajo absorpcijo kadmija in celo arzena. Posebej slednji je velik izziv, saj se obnaša dokaj različno od ostalih kovinskih onesnaževalcev, ker se pojavlja v oblikah, ki so težko izsledljive. Nekaj napredka je bilo narejenega s pomočjo postopka, pri katerem z uporabo bipolarne elektrolize oksidira arzen v arzenat, ta pa reagira z železovimi ioni na železni anodi. Bolj uporabljen je klasičen postopek remediacije, s katero dobimo kovinske soli, ki so lažje odstranljive. Če bi se našla rastlina, ki bi učinkovito odstranjevala arzen preko korenin v nižje dele rastline, bi bil to ogromen napredek. Ena izmed možnih rastlin je kitajska *Pteris vittata*, ki lahko absorbira 5 gramov arzena na kilogram suhe biomase. Ker raste zelo hitro, arzen pa shranjuje v koraninah in nizkih delih stebela, je zelo enostavna tudi za odstranjevanje in s tem posledično odstranjevanje arzena iz zemlje.



Slika 1: Potek fitoremediacije v prsteh na primeru drevesnih korenin (8).



Slika 2: V Mežiški dolini v okolici Žerjave so izbrali tri vrste trav za fitostabilizacijo in sicer rdečo bilnico (*Festuca rubra* L.), pasjo travo (*Dactylis glomerata* L.) in ovčjo bilnico (*Festuca ovina* L.) (17).

Hiperakumulacija

Hiperakumulacija je sama po sebi zelo zanimiv fenomen, ki sproža veliko osnovnih vprašanj. Prej omenjena rastlina *Pteris vittata* je sposobna akumulirati 0,5 % arzena, nekatere vrste alpskih rastlin pa so sposobne akumulirati kar 1,5 % kadmija pri isti količini suhe biomase, kar je zelo visoka količina. Kako natančno poteka črpanje in posledično akumulacija je že samo posebi zanimiv postopek. Kljub temu pa je še bolj zavito v skrivnost zakaj naj bi bila takšna količina sploh izčrpana. Hiperakumulacija bakra ali cinka je lahko posledica preveč sposobnega naravnega mehanizma. Biološka osnova črpanja popolnoma nepomembne kovine pa ostaja, sploh v takih velikih količinah, v tem trenutku odprto vprašanje. Kakorkoli – vloga rastlin, kot je recimo *Thlaspi*, ki omogoča odstranjevanje 40 kg cinka na hektar na leto, je v procesu bioremediacije več kot očitna.

V praktičnih primerih so primerne rastline izbrane glede na tip onesnaževalca, regionalnih klimatskih

pogojev in drugih okoljskih razmer. Ta lahko vključujejo uporabo ene ali pa več vrst hiperakumulatorskih rastlin, odvisno od konkretnega primera. Ko so rastline posajene in rastejo nek določen čas, jih odstranijo in s tem s tega področja trajno odstranijo onesnaževalce, ki so jih rastline akumulirale. Proces se lahko, če je potrebno, tudi ponovi, seveda z novimi rastlinami, dokler ni dosežen željeni učinek. Eden izmed kritičnih pogledov na proces bioremediacije je, da se v bistvu problem onesnaženja samo prenese z enega območja na drugega. Za primer služi sama usoda odstranjenih hiperakumulatorjev, saj je tudi te, ki pa sedaj vsebujejo strupene snovi, potrebno uničiti na naravi prijazen način. Najpogosteje se uporabljata procesa kompostiranja ali sežiga. Pri procesu kompostiranja je potrebno uporabiti pomožni kompost, s pomočjo katerega bodo količine strupenih snovi, ki se nahajajo v biomasah hiperakumulatorjev, na dovoljeni ravni. Pri sežigu pa se pojavi problem shranjevanja pepela. Ta pepel se hrani kot odpadke, pri čemer je treba upoštevati, da pepel še vedno vsebuje strupene snovi, vendar pa so te snovi na veliko manjšem območju, kot prej (razmerje je približno 1:10).

Kot alternativa se občasno omenja možnost reciklaže tako zbranih kovin. Pri tem je kar nekaj razlogov, vsaj teoretičnih, zakaj naj to ne bi bilo mogoče, vendar je resnica odvisna samo od vrednosti zbranih kovin. Sušena rastlinska biomasa bi lahko bila prav tako uporabna za reciklažo. Večina malo vrednih materialov, kot je na primer svinec, nima perspektive na tem področju. Trenutno je največkrat obravnavan cink. Veliko zanimanja se je pokazalo tudi za t.i. biorudarstvo. Pri tem procesu bi iz območij nekdanjih rudnikov, kjer tradicionalne metode rudarstva ne pridejo več v upoštevanje, še vedno lahko iz zemlje pridobivali različne vrste kovin. Način s katerim bi to dosegli je fitoekstrakcija. Zadnje raziskave kažejo tudi ugodne rezultate glede finančnega vidika sušenja rastlinske biomase in pridobivanja niklja iz nje.

Nekaj zanimanja se je pokazalo tudi za kovine srednjih vrednosti. Tak primer je kovina cink, ki sicer zaradi ne ravno visoke vrednosti nima posebnega komercialnega pomena, lahko pa pripomore k neposrednemu čiščenju okolja ob predelavi cinka, ki drugače zelo obremenjuje okolje. Vprašanje recikliranja s pomočjo rastlin je v tem trenutku še daleč od dejanske uporabe, vendar pa teoretično lahko pomeni zelo priporočljivo alternativo klasičnim procesom v kovinski industriji.

Rizofiltracija

Rizofiltracija je absorpcija onesnaževalcev iz onesnažene zemlje v rastlinske korenine. Osnovna razlika med rizofiltracijo in prej omenjenimi procesi je v tem, da je rizofiltracija namenjena v prvi vrsti za čiščenje podtalnic in ne samo za absorpcijo onesnaževalcev iz onesnažene zemlje. Rastline, ki jim je namenjena takšna vloga so ponavadi vzgojene hidroponično in v končni fazi aklimatizirane na specifične zahteve posameznih onesnaženih voda. Ko rastline postanejo nasičene s strupenimi snovmi, jih požanje in prav tako, kot rastline pri uporabi fitoekstrakcije, potrebujejo poseben način končnega uničenja. Rizofiltracija je manj vsesplošno sprejet proces, kot fitoekstrakcija, kljub temu pa ima veliko potencialnih možnosti za uporabo. Primer rastline, ki se lahko uporablja za rizofiltracijo so sončnice, ki so jih uspešno preizkusili za odstranjevanje radioaktivnega urana iz vode, ki je bil posledica nesreče v nuklearni elektrarni v Černobilu v Ukrajini.

Fitostabilizacija

V veliko pogledih je fitostabilizacija zelo podoben proces, kot prejšnja dva – fitoekstrakcija in rizofiltracija. Prav tako kot pri obeh opisanih, tudi pri proces fitostabilizacije pomeni črpanje in akumulacijo v korenine oziroma v obmoje okrog korenin rastline. Na prvi pogled je razlikovanje med procesi zelo težko, saj tudi fitostabilizacija v osnovi uporablja enake tehnike ekstrakcije in filtriranja, kot fitoekstrakcija in rizofiltracija. Glavna lastnost, po kateri se ta proces razlikuje od prejšnjih dveh je v tem, da žetev rastlin nasičenih s strupenimi snovmi ni del procesa fitostabilizacije. V tem procesu torej rastline ne odstranijo onesnaževalcev iz zemlje, ampak jih imobilizirajo in ohranijo v okviru samega rastlinskega sistema, kjer ostanejo celo 'žive' rastline.

Bistvo tega procesa je v akumulaciji onesnažene zemlje ali podzemnih voda v rastlinski biomas ali v rizosferi, s čimer se zmanjša možnost za migracije onesnaževalcev na druga območja. Kovine se v tem procesu ne razkrajajo, zato se lahko postavi vprašanje, če je tak način čiščenja res najprimernejši. Proces se uporablja predvsem na območjih, kjer je stopnja onesnaženosti razmeroma nizka oz. na velikih območjih, kjer drug način zaradi različnih dejavnikov preprosto ni mogoč.



Slika 3: Hallerjev penušnjek akumulira cink in kadmij, zato je fitoremediacijska rastlina za prsti, onesnažene s težkimi kovinami (5).

Še ena prednost tega procesa je v tem, da lahko na območjih, kjer stopnja kovin v zemlji celo pospešuje rast rastlin, ki so sposobne akumulirati velike koncentracije kovin, z njihovim nasajanjem zmanjšamo učinek vetrovne erozije ali izpiranja zemlje, s tem pa zmanjšamo možnost, da bi se količina onesnaževalcev razširila po večji površini območja.

Organska fitoremediacija

Vedno pogostejši onesnaževalec okolja je velika vrsta različnih organskih kemikalij – pesticidi, raztopila, mazila ... Najbrž med najbolj razširjene med njimi spadata, iz znanih razlogov, bencin in nafta. Ta hidrokarbonata se, kot onesnaževalca, večinoma nahajata do globine dveh metrov pod površjem. Ker sta zaradi tega v skoraj neposrednem stiku z rizosfero, sta idealna kandidata za uporabo fitoremediacije. V okviru te potekajo procesi fitodegradacije, rizodegradacije in fitovolatilizacije.



Slika 4: Vrbe omejujejo pronicanje nitratov in fosfatov globlje v prsti in imajo preventivno vlogo varovanja prsti (14).

Fitodegradacija

Proces fitodegradacije, poznan tudi pod imenom fitotransformacija, vključuje biološko razbitje onesnaževalcev – lahko interno, ki so zgodi po tem, ko rastlina onesnaževalca posrka vase, ali pa eksterno s pomočjo encimov v rastlinah. Komplexne organske molekule se s pomočjo biodegradacije razgradijo v enostavnejše, ki jih potem rastline vključijo v svoje tkivo. Zaradi prisotnosti izvenceličnih encimov se lahko ta proces uporablja za razgradnjo različnih vrst kemikalij, na primer kloriranih topil, eksplozivov in herbicidov. Ker je proces odvisen od neposrednega črpanja onesnaževalcev iz zemlje ali vode in akumuliranja v rastlinskem tkivu, je pomembno predvsem to, da so akumulirane spojine nestrupene ali pa vsaj občutno manj strupene, kot spojine v samem onesnaževalcu.

Rizodegradacija

Rizodegradacijo imenujemo tudi fitostimulacija ali poudarjena rizosferična degradacija. Proces je v osnovi biodegradacija onesnaževalcev s pomočjo posebnih mikrobov in samih sposobnosti rizosfere. V procesu rizodegradacije sodelujejo območja z visoko stopnjo

mikrobiološke biomase in posledično visoke stopnje mikrobiološke aktivnosti, ki pospešuje učinkovitost biodegradacije organskih substanc v rizosferi v primerjavi z ostalimi območji ali mikrofloralnimi skupinami. Del razloga za to je, da rastlinske korenine povečujejo oksidacijo zemlje v njihovi bližini in izločajo metabolite v rizosfero. Ugotovljeno je, da sprostitve sladkorjev, aminokislin in ostalih snovi iz rastline lahko doseže isti učinek čiščenja, kot 20 % fotosintetične aktivnosti rastline v enem letu. Kot dodatek temu rastlinskemu procesu so tudi glive, povezane z rastlinskimi koreninami, ki prav tako pripomorejo k učinkovitejšemu biodegradiranju organskih spojin. To je zelo pomemben vidik, saj imajo te glive unikatno sposobnost, ki omogoča tudi biodegradacijo organskih spojin, ki ne bi bila možna samo z bakterijami. V bistvu je rizodegradacija notranja remediacija, izboljšana samo z naravnimi lastnostmi encimov, ki so aktivni v območju do enega milimetra v rastlinski korenini. Na ta način lahko pride do transformacije organskih spojin, ki ne bi bila mogoča brez rastlinske pomoči. Kljub vsem pozitivnim lastnostim pa ima ta proces tudi eno negativno lastnost in sicer v tem, da je precej počasnejši kot prej opisani proces rizodegradacije.

Fitovolatilizacija

Fitovolatilizacija je proces črpanja onesnaževalcev s pomočjo rastlin, njihovo transformacijo in, kot zadnja faza v procesu, njihovo izpuščanje v atmosfero. Ta biotehnološka fitoremediacija v svojem bistvu sloni na t.i. transpiracijskem potegu hitro rastočih rastlin, ki pospešuje črpanje onesnaževalcev iz zemlje ali podtalnih voda, ki potem izhlapijo skozi liste rastline. Rastlina seveda te onesnaževalce v sebi transformira v nenevarne ali manj nevarne snovi. Eden izmed primerov fitovolatilizacije je poizkus z genetsko spremenjenim rumenim topolom, ki so mu dodali gen za redukcijo živega srebra. S tem so omogočili, da je rastlina zmožna prenašati bistveno višjo koncentracijo živega srebra. Rastlina lahko spremeni obliko kovinskih ionov živega srebra v elementarne snovi, ki jih skozi liste izloči v atmosfero.

Izbira topolov za ta proces je zanimiva, saj so se izkazali za učinkovite tudi pri ostalih procesih. Posebej učinkoviti so pri odstranjevanju spojine TCE (trikloroetilen), ki se uporablja za razmaščevanje v inženirstvu in ostalih industrijskih panogah. Težava spojine TCE je v tem, da se zelo hitro širi pod površino tal. Topoli so sposobni volatilizirati skoraj 90 % izčrpanega TCE. Topoli delujejo kot ogromne sončne črpalke, ki iz tal črpajo vodo, vključno z onesnaževalci, ki potem potujejo skozi rastlino in iz nje v atmosfero.

Ob vsem tem pa se postavlja vprašanje, ali zaradi izpuščanja onesnaževalcev v ozračje ne prihaja do nevarnosti. Odgovor na to leži v redčenju onesnaževalcev. Drevesa morajo, recimo, živo srebro, ki ga izčrpajo iz tal transformirati do te mere, da izpust v atmosfero nima vpliva na naravo oz. zdravje ljudi.

Uporaba drevesnih vrst za čiščenje onesnaženih tal pridobiva na ugledu, vendar je fitoremediacija omejena ne območja, kjer so tla onesnažena sorazmerno plitvo. Raziskave v Evropi in ZDA pa so pokazale, da lahko globlje korenine zmanjšajo stopnjo onesnaženja v globljih predelih tal.

Hidravlično zadrževanje

Velike rastline imajo sposobnost, da izčrpajo velike količine vode iz tal in s tem onemogočajo pronicanje strupenih snovi globlje v tla in v podtalnico. Posebej uporabna pri tem so drevesa, predvsem zaradi nji-

hovega ogromnega transpiracijskega potega in velikih korenin. Topoli, kot primer, imajo zelo globoke korenine in so sposobni izčrpati ogromne količine vode – med 200 in 1100 litri na dan. Cilj tega je ustvarjanje funkcionalnih vodnih depresij v katerih bi se zbirale strupene snovi, ki bi jih kasneje z dodatnimi procesi lahko lažje odstranili. Ta lastnost črpanja vode s pomočjo rastlin za kontroliranje migracij strupenih snovi v tleh se imenuje hidravlično zadrževanje.

S pomočjo rastlin lahko ob obrežjih rek, ali okrog območij, ki vsebujejo strupene snovi ustvarimo t.i. obrežne koridorje (riparian corridors), ki omejujejo pronicanje strupenih snovi globlje v tla. V konkretnem primeru – omejevanje pronicanja nitratov in fosfatov globlje v tla – so se za zelo uspešne izkazali topoli in vrbe. Uporabljajo se predvsem v območjih, kjer je prisotna velika količina kmetijskega gnojenja. Del velikega potenciala tega procesa je tudi v tem, da se lahko le – ta kombinira z ostalimi fitoremediacijskimi procesi.

Drugačen pristop, k istemu procesu, ki se občasno uporablja, je izdelava rastlinskih čepic. Ta princip vključuje sajenje rastlin za preprečevanje pronicanja deževnice v tla, obenem pa se s tem tudi zmanjša stopnja zemeljske erozije. Ta metoda je uspešna kot naravna alternativa nepropustni glini ali geopolimerskim ograjam. Rastlinske čepice so se pokazale kot uspešne tudi pri izboljšanju stopnje biološke razgradnje tal. V tem smislu lahko na njih gledamo tudi kot sredstvo za uporabo procesa rizodegradacije ali celo fitodegradacije.



Slika 5: Grobelnik akumulira nikelj (*Alyssum lesbiacum* – grobeljnik) (9).

Še eden izmed primerov za uporabo fitotehnoloških procesov je t.i. bio-nasip (*bio-bund*). Sestavljen je iz gosto nasajenih dreves, najpogosteje vrb, na umetno zgrajenem nabrežju. Tak sistem je uporaben tudi za znižanje hrupa s cest, železnic in hrupnih industrijskih območij. Sistem ima, poleg tega tudi sekundarno vlogo in sicer deluje kot zaščita pred delci, ki jih prinašajo močni vetrovi. Če je potrebno se lahko bio-nasip skonstruira tudi tako, da poleg vsega tega še zmanjšuje pronicanje kemijskih spojin ali drugih onesnaževalcev v tla.

Izbira rastlin

Primerno rastlino ali skupino rastlin izberemo glede na tip tal in rastne razmere, vrsto onesnaževalca in njegovo biološko dostopnost. Najpogosteje so v uporabi vrbe in topoli, zaradi hitre rasti, dobri akumulatorji so trave in rastline iz rodu družine križnic *Brassicaceae*.

Očitno je, da je izbira rastlin odvisna predvsem od zahtev uporabljenega procesa in od vrste v tleh prisotnih onesnaževalcev. Na primer, za proces organske fitotransformacije se uporabljajo rastline, ki so odporne, hitro rastoče, nezahtevne za vzdrževanje, imajo velik transpiracijski poteg in lahko transformirajo strupene snovi v manj strupene. V veliki večini primerov so zelo primerne rastline z globokimi koreninami.

Na posameznih območjih je zelo primeren način sejanka travnih vrst skupaj z raznimi vrstami dreves. S tem je omogočeno čiščenje tako globljih delov tal (globoke korenine dreves), kot tudi plitvejših delov (zelo fine travnate koreninice). Travnate koreninice so predvsem uporabne za čiščenje bencena, toluena, etilbenzena, ksilenov ali policikličnih aromatičnih hidrokarbonatov.

Izbira primernih rastlin za bioinženirstvo pa ni omejena zgolj na sposobnosti odstranjevanja posameznih strupenih snovi. Stročnice, na primer, so lahko zelo koristne tam, kjer je naravna koncentracija dušika v tleh premajhna, saj lahko dušik preko bakterije v njihovih koreninah črpajo neposredno iz atmosfere.

Zaradi ogromnega števila rastlinskih vrst je pri izbiri rastlin zelo pomembna tudi vloga dobrega botanika ali agronoma.

Znanstveniki so odkrili okrog štirideset vrst rastlin, ki so odporne za tovrstne postopke čiščenja prsti in vode. Spodaj je navedenih nekaj takih rastlin, ki se pogosteje uporabljajo:

1. *Thaspi caerulescens* in *Cardaminopsis halleri* (Hallerjev penušnjek), akumulirata cink in kadmij.
2. *Alyssum lesbiacum* (Grobeljnik), akumulira nikelj.
3. *Pteris vittata*, akumulira 0,5 % arzena.
4. *Thlaspi* (Mosnjak), omogoča odstranjevanje 40 kg cinka na hektar na leto.
5. *Helianthus*, (sončnice), uspešno preizkusili za odstranjevanje radioaktivnega urana iz vode.
6. Genetsko spremenjen rumeni topol, ki so mu dodali gen za redukcijo živega srebra.
7. Topoli (*Populus*) in vrbe (*Salix caprea*) – omejujejo pronicanje nitratov in fosfatov globlje v tla.
8. Razne trave, kot so na primer rdeča bilnica (*Festuca rubra* L.), pasja trava (*Dactylis glomerata* L.) in ovčja bilnica (*Festuca ovina* L.).

Primeri fitoremediacij iz Slovenije

V Sloveniji imamo še vedno naravne ekosisteme, medtem ko drugje po svetu takšnih ekosistemov ni več in jih je potrebno obnavljati. Zato moramo v Sloveniji te naravne ekosisteme, kjer potekajo procesi neovirano, izkoristiti za varovanje okolja.

Pri nas imamo kar nekaj primerov kako očistiti prst ali vodo s pomočjo tehnik bioremediacije.

V Mežiški dolini v bližini rudnika in talilnice svinca v Žerjavu je zaradi visoke onesnaženosti s Cd, Zn, Pb in SO₂ avtohtona vegetacija povsem propadla, zaradi česar prihaja do erozije in zapraševanja. Od 15. stoletja dalje je bilo območje izpostavljeno aktivnemu rudarjenju in plavžarskem obdelovanju svinčeve rude. Da bi rešili problem zapraševanja in erozije so nasadili rastline, ki imajo veliko koreninsko razrast.

Pomembno je, da rastline dobro uspevajo na revni podlagi, so nezahtevne za gojenje in se hitro razraščajo, ker s tem prekrivajo tla. Poleg tega morajo biti rastline prilagojene na višje koncentracije kovin v zemlji. Ta v okolici Žerjava vsebuje 5490 mg kg⁻¹ Zn, 390 mg kg⁻¹ Cd in 67940 mg kg⁻¹ Pb.

Uporabili so metodo fitostabilizacije, ki pomaga stabilizirati polutante v zelo kontaminirani zemlji, da se prepreči razširjanje v podtalnico in/ali v okolico. Pomembno je, da rastline slabo transportirajo kovine v poganjke, ki bi jih lahko zaužili ljudje ali živali.

Rastline so izbrali po kriterijih: šopasta razrast korenin, občutljivost korenin na kovine ter njihovo zadrževanje v koreninah. Po teh kriterijih so ob upoštevanju milega alpskega podnebja v Mežiški dolini izbrali tri vrste trav, ki so jih lahko uporabili za fitostabilizacijo: rdeča bilnica (*Festuca rubra* L.), pasja trava (*Dactylis glomerata* L.) in ovčja bilnica (*Festuca ovina* L.).

Namen raziskave je bil ugotoviti primernost izbranih vrst za fitostabilizacijo v okolici Žerjava. Ugotovili so, da je pasja trava vsebovala najmanj Zn (cinka) in Cd (kadmij), ovčja bilnica pa največ Pb (svinca). Rdeča bilnica po privzemu vseh treh kovin ni izstopala.

Pri vseh travah je koncentracija kovin bistveno večja v koreninah kot v poganjkih, med posameznimi vrstami trav pa v vsebnosti kovin v poganjkih ni bilo razlik.

Rastline se med seboj niso razlikovale po odstotkih kaljivosti v prisotnosti kovin. Primerjava relativne dolžine korenin pa je pokazala, da je na Zn in Pb najbolj občutljiva pasja trava medtem ko se po občutljivosti na Cd trave niso razlikovale. Absolutna velikost rdeče bilnice je bila pri testiranih koncentracijah kovin v primerjavi z ostalima vrstama največja.

Kljub poročilom o zmanjšani sposobnosti kaljivosti avtohtonih trav primernih za fitostabilizacijo okolice Žerjava, jim je uspelo dokazati, da so izbrane komercialne trave primerne za fitostabilizacijo onesnaženih območij. Enaka rast rastlin v kontrolni prsti in prsti iz Žerjava kaže na to, da visoka vsebnost Cd, Zn in Pb bistveno ne vpliva na rast izbranih trav, kar potrjujejo tudi rezultati testa kaljivosti. Testi občutljivosti na kovine so pokazali, da sta ovčja in rdeča bilnica primernejši kot pasja trava. Odločili so se za rdečo bilnico kot najustreznejšo, ker razvije najdaljše korenine in poganjke, ni občutljiva na kovine in jih tudi relativno dobro privzema v korenine. Ustreza morfološkim kriterijem, ker je trpežna, nizka vrsta trave, ki se blazinasto razrašča in ima najmanj 30 cm globoke korenine. Prav tako ustreza podnebnim razmeram, saj je odporna na mraz.



Viri in literatura

1. Debeljak Barbara, Golob Karmen, Gorjan Alenka, Mehle Alma, Kramar Andrej, Koren Špela, Kalan Katja, Logar Katja, Fitostabilizacija: realnost ali utopija?, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Večna pot 111, SI-1000, Ljubljana;
2. Gareth M. Evans, Judith C. Furlong, 2003, Environmental Biotechnology, Theory and Application, University of Durham, UK and Taus Biotech Ltd, England, str. 143 – 168;
3. Scragg Alan, 1999, Environmental Biotechnology, Longman, England, str. 131 – 132;
4. Vovk Korže Ana, Vrhovšek Danijel, 2006, Ekoremediacije za učinkovito varovanje okolja, Inštitut za promocijo varstva okolja, Maribor;
5. Medmrežje 1: flora.nhm-wien.ac.at
6. Medmrežje 2: www.uga.edu/srel/Fact_Sheets/phytoremediation.htm
7. Medmrežje 3: www.guaddunes.com
8. Medmrežje 4: besedomanija.blogspot.com/search/label/Znanost
9. Medmrežje 5: www.dpw.wau.nl/genetics/staff/people/MarkAartsDocs/thlaspi%20caerulescens.htm
10. Medmrežje 6: www.biologie.uni-regensburg.de/Botanik/choenfelder/kanaren/flora_canaria_O.html
11. Medmrežje 7: www.missouriplants.com/Whitealt/Thlaspi_arvense_page.html
12. Medmrežje 8: www.biolib.cz/IMG/GAL/1566.jpg
13. Medmrežje 9: www.arbolesornamentales.com/Populusxcanadensis.htm
14. Medmrežje 10: www.unikiel.de/Pharmazie/bio/images/Exkursionen/Ostseekueste/2005/Pflanzen/Seiten/Salix%20caprea.jpg.htm
15. Medmrežje 11: www.ous.ac.jp/garden/photo1/ousinokegusa.html
16. Medmrežje 12: www.gardenorganic.org.uk/organicweeds/weed_information/weed.php?id=99
17. Medmrežje 13: www.delta-intkey.com/festuca/www/prpr.htm