

# zaštita okoliša

Uređuje: Vjeročka Vojvodić

Predstavljamo članak temeljen na predavanju prof. dr. sc. Ivica Kisića "Biološke metode sanacije onečišćenih tala", održanom 26. ožujka 2014. u sklopu tribine "Novi aspekti zaštita okoliša u Hrvatskoj u okviru Europske unije", koju organiziraju Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa (HDKI) i Sekcija za ekološko inženjerstvo.

Vjeročka Vojvodić

## Biološke metode sanacije onečišćenih tala

I. Kisić\*

Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,  
Zavod za opću proizvodnju bilja, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb

### Uvod

Tlo predstavlja tanki (maksimalno do 50 cm) rahli sloj smješten na površini planeta Zemlje, između litosfere i atmosfere. Nastaje izuzetno složenim i dugotrajnim djelovanjem podneblja, vegetacije i živih makro- i mikroorganizama na litosferu. Ukupna raspoloživa površina tla na Zemlji je ograničena, a tlo je izuzetno značajan, a u jednom naraštaju neobnovljiv prirodni izvor. Među brojnim procesima oštećenja tla, o kojima na ovom mjestu nećemo govoriti, sve veći značaj ima onečišćenje tla. Pod tim pojmom podrazumijeva se prisutnost problematičnih tvari u tlu u količini u kojoj uzrokuju vidljiv ili mjerljiv poremećaj neke od uloga tla.

Ako želimo definirati što je to onečišćeno tlo, možemo reći da je to tlo u kojemu je prirodnim procesima ili ljudskom djelatnošću povećan sadržaj štetnih tvari kojima koncentracija može biti opasna za ljudsku aktivnost, odnosno za uzgoj biljaka ili životinja. Iz tih razloga posljednjih desetljeća sve se više govori o sanaciji/remedijaciji onečišćenih tala. Za kvalitetnu sanaciju onečišćenog tla vrlo je važno provesti što točniju inventarizaciju, tj. utvrđivanje trenutnog stanja onečišćenja tla. Sanacija onečišćenih tala može se provesti na tri načina primjenom raznih tehnologija:

- smanjenjem koncentracije ukupnog onečišćenja na prihvatljivu razinu u skladu s budućim načinom korištenja tla
- fizikalna/kemijska/biološka/mehanička izolacija onečišćenja radi sprječavanja daljnje reakcije (širenja) onečišćenog tla u okolišu
- smanjenjem biopristupačnosti organskih i anorganskih onečišćenja.

### Izvori onečišćenja i onečišćivači u tlu

Potencijalni izvori onečišćenja tla prema svom podrijetlu mogu biti prirodni i antropogeni. Prema obliku postanka onečišćenja tla mogu biti lokalna (točkasta), linijska te raspršena (difuzna). Lokalna (točkasta) onečišćenja tla općenito su povezana s rudarstvom, industrijskim postrojenjima, odlagalištima otpada, kao i napuštenim industrijskim ili vojnim lokacijama. Glavni izvori linijskih onečišćenja su autoceste, željeznice, te gradske prometnice, iako je ovdje teško razgraničiti linijsko od difuznog onečišćenja. Raspršeno (difuzno) onečišćenje tla povezano je s atmosferskim taloženjem, tj. obaranjem emisije onečišćenja koje je nastalo iznad velikih gradova, poljoprivrednim aktivnostima, nepravilnim rukovanjem i reciklira-

njem otpada i otpadnih voda te navodnjavanjem poljoprivrednih površina nekvalitetnim vodama.

Iako postoji više razdioba onečišćenja tla, u održanom predavanju su podijeljena na pet grupa: hlapljiva i poluhlapljiva organska onečišćenja, goriva, anorganska onečišćenja (uključujući radioaktivne elemente) i eksplozivni.

### Tehnologije sanacije/remedijacije onečišćenih tala

Remedijacija onečišćenih područja/lokacija postala je ključna tema zbog razvoja globalne svijesti o onečišćenju, prekomjernoj eksploataciji prirodnih resursa te štetnom utjecaju na okoliš i ljudsko zdravlje. To je dovelo do donošenja strožih zakona i pravila koji se odnose na skladištenje, transport, tretiranje i odlaganje tekućega i krutog otpada. Iako to nigdje nije jasno napisano, temeljem osobnog dugogodišnjeg terenskog iskustva, jasno se nameće zaključak da su položaj (lokacija) i budući način korištenja onečišćenog prostora odlučujući pokazatelji za odabir odgovarajuće tehnologije remedijacije. Ako se novcem uloženim u remedijaciju može isplatiti budući način korištenja, tada novac nije problem, investitor će se uvijek naći. Ako budući način korištenja ne može financijski podnijeti troškove sanacije, tada onečišćene lokacije ostaju problem koji će rješavati generacije koje dolaze za nama. Takvo promišljanje osobito se primjenjuje na *brownfield*-lokacijama, ovisno o njihovu položaju. *Brownfield*-lokacija<sup>†</sup> je zemljište prethodno korišteno u industriji ili kao vojna područja ili u komercijalne svrhe koje može biti onečišćeno različitim koncentracijom opasnog otpada ili onečišćenja te, nakon što se očisti, postoji mogućnost za ponovnu uporabu u razne svrhe. U svim slučajevima uzima se u obzir da vrijednost obnovljenog zemljišta, kada se oduzmu troškovi naknade i prenamjene, treba biti veća od utrošenih sredstava za remedijaciju. Navedene *brownfield*-lokacije locirane su vrlo često u širem središtu velikih gradova. Te tvornice ili vojni objekti, kada su građeni prije stotinjak godina, bili su na dalekoj periferiji gradova. Na tim lokacijama najčešće poslije sanacije niču nove poslovne zone, hoteli, trgovački i rijetko stambeni objekti.

Odabir tehnologije sanacije najviše ovisi o:

- tipu i vrsti onečišćenja
- prostornoj zahvaćenosti onečišćenja (površini, volumenu i mjestu onečišćenja – blizini površinskih/podzemnih voda)
- tipu tla (reakciji, sadržaju organske tvari, teksturi, osobito udjelu i tipu gline)

\* Prof. dr. sc. Ivica Kisić, dipl. ing. agr.  
e-pošta: ikisic@agr.hr

<sup>†</sup> *brownfield*, engl. – postojeći kapaciteti, postojeća infrastruktura (nap. ur.)

T a b l i c a 1 – Prikaz tehnologija sanacije/remedijacije onečišćenog tla

I. BIOLOŠKA REMEDIJACIJA	II. KEMIJSKA REMEDIJACIJA
I.1. Bioremedijacija tla	II.1. Elektrokemijska remedijacija
I.2. Bioventilacija tla	II.2. Poplavljanje tla
I.2.1. Ubrizgavanje oksidirajućih reagensa u tlo	II.3. Ispiranje tla
I.2.2. Dodavanje organskih tekućih gnojiva	II.4. Solidifikacija/stabilizacija tla
I.3. Fitoremedijacija tla	II.5. Prirodno slabljenje tla
I.3.1. Fitoekstrakcija/fitoakumulacija	
I.3.2. Fitostabilizacija	
I.3.3. Fitovolatizacija	
III. FIZIKALNA REMEDIJACIJA	IV. TERMALNA REMEDIJACIJA
III.1. Prekrivanje/kapsuliranje tla	IV.1. Spaljivanje tla
III.2. Iskop tla	IV.2. Vitifikacija tla
III.2. Miješanje tla	IV.3. Solarna – fotokemijska razgradnja tla

Izvor: Kisić, 2012.

- razdoblju izlaganja potencijalnom onečišćenju
- budućem načinu korištenja tla
- definiranom zakonskom okviru pojedine države o potrebnom stupnju remedijacije.

Temeljem navedenih parametara odlučuje se hoće li se primjenjivati remedijacija *in situ*, *on situ* ili *ex situ*. Pregledom mnogobrojnih izvora literature u održanom predavanju razjašnjena su četiri tipa sanacije tla te objašnjeni njihovi elementarni principi / mehanizmi djelovanja, s posebnim osvrtom na biološku remedijaciju (tablica 1).

Odabir remedijacijske tehnologije za tretiranje onečišćenih tala najviše ovisi o ciljevima remedijacije ili željenoj, prihvatljivoj razini onečišćenja nakon provedenog postupka remedijacije.

Budući izazovi u razvoju tehnologija remedijacije onečišćenog tla su:

- razvoj tehnologija remedijacije *in situ* koje su jeftine, djelotvorne i brze. Općenito, tehnologije *in situ* imaju sve više opravdanja zbog lakšega, jeftinijega i bržeg provođenja
- razvoj integriranih fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa remedijacije

- razvoj novih tehnologije za remedijaciju onečišćenog tla organskim i anorganskim onečišćenjima
- povećanje prirodnih procesa, tj. autoremedijacije (prirodne obnovljivosti) samoga tla
- razvijanje genetski modificiranih mikroorganizama i biljaka za detoksifikaciju onečišćenog tla.

Najučinkovitija, najbezbolnija i najjeftinija tehnologija remedijacije tla jest preventiva. Na žalost, o toj tehnologiji mnogo se piše i govori, no nitko je ne poštuje. Nadamo se da će se u budućnosti početi poštivati i ova tehnologija remedijacije.

O svemu više zainteresirani čitatelji mogu naći u sveučilišnom udžbeniku:

“Sanacija onečišćenog tla”, autora prof. dr. sc. Ivice Kisića.

Knjigu se može nabaviti na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25.

#### Osoba za kontakt:

gđa Helena Oppitz, tel. 01 23 93 814 ili e-pošta: hoppitz@agr.hr