

UDK: 582.623;630\*9.  
Predhodno saopštenje (*Preliminary report*)

## ULOGA TOPOLA U FITOREMEDIJACIJI ZEMLJIŠTA I PODZEMNIH VODA

PILIPOVIĆ A.; KLAŠNJA B.; ORLOVIĆ S.<sup>1</sup>

**Sažetak:** U poslednjoj dekadi prošloga veka, na teritoriji SAD-a, započeta su istraživanja o uticaju biljaka na staništa kontaminirana teškim metalima i jedinjenjima organskog i neorganskog porekla, koji su proizvodi različitih grana industrije. Istraživanja su pokazala da biljke utiču na smanjenje koncentracije polutanata u zemljištu i podzemnim vodama, tako da se rodila ideja o mogućnosti njihovog prečišćavanja sadnjom biljaka na takvim terenima. Ime nove tehnologije glasi fitoremedijacija, što u prenesenom značenju znači » ispravljanje zla pomoću biljaka «. Ustanovljeno je da vrste iz rodova *Salix* i *Populus* najefikasnije vrše fitoremedijaciju zbog svojih poznatih osobina velike transpiracije i plastičnosti korenovog sistema, stoga im je posvećena velika pažnja.

**Gljučne reči:** fitoremedijacija, topole, polutanti, zemljište, podzemne vode

### THE ROLE OF POPLARS IN SOIL AND GROUNDWATER PHYTOREMEDIATION

**Abstract:** In the last decade of 20<sup>th</sup> century US-scientists developed researches about plant-affection on sites contaminated by heavy metals, organic and non-organic compounds produced by industry. Researches showed plant-affection in decrease of their concentrations in soil, surface and groundwater. wich developed idea for planting plants at these sites. The name of this new technology called phytoremediation means »correct evil« by plants. As a potential candidate for remediation are choosen Poplar trees because of their high transpiration and root possibility to follow groundwater.

**Keywords:** phytoremediation, poplars, contaminants, soil, groundwater

## 1. UVOD

Fitoremedijacija je nova tehnologija koja koristi biljke i njihove rizosferične mikroorganizme da ukloni, degradira ili zadrži štetne hemijske materije koje se nalaze u zemljištu, sedimentima, površinskim i podzemnim vodama i atmosferi (E P A, 2000.). Istraživanjima je utvrđeno da se biljkama može delovati na većinu štetnih materija, uključujući naftne derivate, hlorovane rastvarače, pesticide, metale, radionuklide, eksplozive i dr.

---

<sup>1</sup>Dipl.inž Andrej Pilipović, istraživač pripravnik, \* Dr Bojana Klašnja, naučni savetnik, Saša Orlović, viši naučni saradnik, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Institut za topolarstvo

Prednosti fitoremedijacije su:

- ✓ mogućnost *in situ* tretiranja,
- ✓ korišćenje sunca kao izvora energije,
- ✓ smanjenju troškova za 10-20% u odnosu na troškove mehaničke obrade
- ✓ veća brzina procesa smanjenja količine toksina u odnosu na prirodne procese,
- ✓ veća estetska privlačnosti i odobravanje javnog mnjenja,
- ✓ obezbeđivanje staništa za razvoj faune,
- ✓ smanjenje količine CO<sub>2</sub> u atmosferi,
- ✓ smanjenje buke i zaštita od vetra,
- ✓ izvor biomase sečom stabala na kraju tretmana.

Pored prednosti, fitoremedijacija ima sledeće nedostatke:

- ✓ ograničenost primene na plića zemljišta,
- ✓ ograničenost na izvore i podzemnu vodu,
- ✓ postojanje granice tolerancije toksičnosti biljaka,
- ✓ duže trajanje od mehaničkog procesa,
- ✓ efektivna je samo na umereno hidrofobna jedinjenja,
- ✓ moguć je ulazak toksina u lanac ishrane konzumacijom biljaka od strane životinja.

Najvažniji uslov za fitoremedijaciju je da štetna materija mora biti pristupačna biljci i njenoj rizosferi. Polutant ne sme biti u jako dubokim slojevima zemljišta, niti čvrsto vezan za organsku komponentu zemljišta, a lako rastvorljiv u vodi, da ga korenov sistem može usvojiti.

### **Interakcija topola i podzemnih voda**

Zbog svojstva da mogu da transpirišu velike količine vode topole se mogu saditi na staništima sa kontaminiranim podzemnim vodama, u cilju kontrole protoka ili redukcije količine rastvorene faze polutanta u podzemnoj vodi.

Zahvaljujući velikim asimilacionim organima i provodljivosti sokova kroz ceo presek stabla (difuzno porozna vrsta), stablo topole je u stanju da transpiriše, zavisno od starosti, 18-111 l dnevno. Da bi ta količina bila veća, koriste se hibridi sa još većim listovima (npr. *P.trichocarpa x P.deltoides*).

U normalnim uslovima, topole su plitkog korena, ali primenom specijalnih tehnika duboke sadnje postiže se efekat dubokog korenovog sistema koji je u stanju da koristi vodu iz vodom zasićene i nezasićene zone. Takva stabla mogu stvoriti zonu zadržavanja u kojoj se sva voda u određenom sloju jednog dela zasićene zone, koristi za transpiraciju. Stvaranjem te zone, dolazi do velikog protoka vode iz zasićene u nezasićenu zonu, gde se mogu odvijati aerobni procesi degradacije. Pored toga uzlazni tok vode smanjuje ocedivanje i taloženje polutanata u nižim slojevima. Na staništima sa kontaminiranim podzemnim vodama, topole se mogu koristiti za regulaciju nivoa podzemnih voda, pravca toka podzemnih voda, dotoka vode i polutanata na lokacije koje se nalaze iza postavljenog fitoremedijacionog pojasa.

## **Sistemi fitoremedijacije vrstama roda *Populus***

Dosadašnja istraživanja su utvrdila nekoliko različitih sistema remedijacije zemljišta i podzemnih voda na osnovu načina delovanja biljaka na polutante. U daljem radu će ukratko biti opisani pojedini sistemi i rezultati

### **1. Fitoekstrakcija**

Fitoekstrakcija je proces usvajanja polutanata pomoću korena biljaka i njihova translokacija u biljku. Uklanjanje polutanata sa lokacije se obavlja uklanjanjem biljaka sa površine što je jednostavnije od uklanjanja sloja zemljišta (E P A, 2000.). Ova tehnologija se koristi za zemljišta, jalovine i muljeve. U nekim slučajevima biljke koje su u sebe koncentrisale metal, mogu biti njegov resurs i poslužiti za ishranu, npr. biljke koje su gajene na staništima sa viškom selena (Se), mogu se koristiti za ishranu životinja. (B a n u e l o s , et al. 1997b.) Nedostatak se ogleda u smanjenju rasta i prirasta, ujedno i smanjenju biomase, korenovog sistema zbog negativnog uticaja teških metala i mogućnosti pojave fitotoksičnosti. (N a n d a K u m a r , et al. 1995.) Drugi nedostatak se ogleda u tome da se biljke moraju odlagati po određenoj specifikaciji, u zavisnosti od vrste metala koji se tretira.

Za rod *Populus* je karakteristično da mogu ekstrahovati velike količine arsena (As) i kadmijuma (Cd). Na ogleđima koji su postavljeni na rudničkim deponijama hibidne topole su u svome tkivu sadržavale značajne količine arsena i kadmijuma. (P i e r z i n s k y , et al. 1994.)

### **2. Fitostabilizacija**

Fitostabilizacija je proces (1) imobilizacije polutantna u zemljištu absorpcijom i akumulacijom u korenu, adsorpcijom na korenu ili taloženjem u zoni korena biljaka, (2) korišćenja biljaka ili korena za sprečavanje migracije polutanata eolskom, denom erozijom, spiranjem ili dispergovanjem u zemljištu (E P A, 2000.).

Proces fitostabilizacije se odvija kroz korenovu zonu, putem mikrobioloških i hemijskih mehanizama same zone, uz promenu hemizma zemljišta i/ili polutanta. Do promene pH vrednosti zemljišta dolazi usled izdvajanja eksudata korenovog sistema ili zbog nastajanja CO<sub>2</sub>. Fitostabilizacija može promeniti rastvorljivost metala, ili uticati na rastvorljivost organskog jedinjenja. Zemljište pod dejstvom biljaka može prevesti metal iz rastvorljivog u nerastvorljivo oksidaciono stanje (S a l t , et al., 1995.). Takođe može biti ispoljena kroz sorpciju, taloženje, kompleksaciju ili redukciju valentnosti metala (E P A, 1997.). U nekim slučajevima dolazi i do fitolignifikacija – oblik fitostabilizacije u kome se organska jedinjenja ugrađuju u biljni lignin (C u n n i n g h a m , et al. 1995b.).

Medijumi koji se mogu tretirati su zemljišta, sedimenti i muljevi koji sadrže polutante koji se nalaze u zoni korena, mada, zona uticaj korenovog sistema se može povećati transportom eksudata u niže slojeve. Topole su izučavane u cilju ispitivanja njihove tolerancije na metale zbog njihove dubine korena (1,5-3,0m). Najčešća istraživanja su vršena na zemljištima koja sadrže arsen kojeg biljke uzimaju jer je sličan hranljivim fosfatima. Iako su topole gajene na zemljištu sa prosečno 1,25 g/kg arsena u obliku arsenata, u lišću topola nisu pronađene značajnije količine (P i e r z i n s k y, et al. 1994.).Kadmijum takođe može biti usvojen jer je sličan Ca i Zn. Topole su gajene u rudničkim otpadima sa koncentracijama polutanata do 160 mg/kg, dok je prosek terena iznosio 9,4 mg/kg (P i e r z i n s k y, et al. 1994 ).

Prednosti ovog sistema su nepotrebno uklanjanje zemljišta, veća ekonomičnost, a metoda je manje drastična od drugih tehnologija remedijacije zemljišta. Takođe, povratak vegetacije (revegetacija) pojačava održavanje ekosistema, dok odlaganje opasnih materiala ili biomase nije potrebno.

Nedostaci su u tome što polutant ostaje na terenu, vegetacija se mora dugo održavati đubrenjem i ostalim melioracijama zemljišta da bi sprečila oslobađanje i spiranje u budućnosti, ali je ipak vremenski ograničena mera. Često biljke služe kao pomoć u stabilizaciji smanjenjem kretanja vode i prevencijom od erozije, dok glavni uticaj na stabilizaciju polutanata imaju agrotehničke mere zemljišta. Važno je napomenuti da korenova zona, eksudati, polutant i zemljište moraju biti praćeni da bi sprečili povećanje rastvorljivosti metala i njihovo spiranje.

### 3. Rizodegradacija

Rizodegradacija je razlaganje organskih polutanata u zemljištu pomoću mikroorganizama koje je potpomognuto prisustvom korenovog sistema. Ovaj mehanizam se naziva još i biodegradacija (E P A, 2000.).

Korenovi eksudati sadrže šećere, aminokiseline, organske i masne kiseline, sterole, faktore rasta, enzime i ostala jedinjenja koja pomažu razvoj mikroorganizama (S c h n o o r, et al. 1995c).

Brojnost i aktivnost mikroorganizama u rizosferi se može povećati usled prisustva eksudata, a može imati za posledicu i povećanu biodegradaciju organskih polutanata. Pored toga rizosfera povećava površinu na kojoj se može stimulisati biodegradacija. Degradacija eksudata može dovesti do kometabolizma polutanata, kao na primer pri metabolizmu metana (D a v i s, et al. 1996.). Koren povećava aeraciju, poboljšava sadržaj vlage u zemljištu i stvara bolje uslove za razvoj mikroorganizama.

Jedinjenja koja se mogu degradirati ovom metodom su naftni ugljovodonični derivati, policiklični aromatični ugljovodonici, jedinjenja iz BTEX kompleksa (benzen, toluen, etil-benzen i ksilen), pesticidi hlorovani rastvarači, itd.

Prednost ovoga metoda je mogućnost uništenja polutanata *in situ* i smanjena mogućnost translokacije u biljku ili atmosferu, u odnosu na druge metode fitoremedijacije, a često i poboljšanje zemljišta mineralizacijom. Nedostatak ovog metoda je vreme potrebno za razvoj korenovog sistema, naročito ako fizička svojstva zemljišta usporavaju njegov razvoj. Dubina korena utiče na zonu obuhvaćenu degradacijom, koja se širi njegovim rastom i razgradnjom odumrlih

delova iz kojih se oslobađaju nove količine eksudata. Đubrenje zemljišta i dejstvo eksudata mogu negativno uticati na ovaj proces zbog mogućnosti stimulacije mikroorganizama koji ne vrše degradaciju.

Prema istraživanjima F e d e r l e - a i S c h w a b - a (1989), u rizosferi hibridne topole *P.deltoides x nigra* DN-34 su pronađene veće količine BTX i atrazin degradatora. N e w m a n i G o r d o n (1997.) su pri remedijaciji podzemne vode kontaminirane trihlor etenom uklonili 97% količine polutanta. U zemljištu su otkriveni dihloretan i vinilhlorid, koji su proizvodi anaerobne degradacije.

#### 4. Fitodegradacija

Fitodegradacija (fitotransformacija) je razlaganje polutanata metaboličkim procesima biljaka. Razlaganje polutanata može biti unutar samih biljaka, u okolini biljke pod dejstvom enzima ili lučenjem enzima u zemljište (E P A, 2000.). Osnovni mehanizmi u ovom procesu su usvajanje i metabolizam polutanata.

Usvajanje polutanata zavisi od rastvorljivosti, hidrofobnosti i polarosti jedinjenja. Umereno hidrofobna organska jedinjenja najčešće bivaju usvojena, dok jako hidrofobna jedinjenja samo mogu biti vezana za površinu korena, ponekad razložena u njemu, ali retko dalje translocirana ( S c h n o o r , et al. 1995a). Sorpcija jako rastvorljivih jedinjenja ne može biti ostvarena ( S c h n o o r , et al. 1995a.). Napolarni molekuli molekularne mase ispod 500 će biti vezane za površinu korena, dok će polarne molekule biti usvojene i translocirane ( B e l l , 1992.).

Za ispitivanje metabolizma trihlor etena, atrazina, TNT-a i veštačkih đubriva koja se nalaze u podzemnim vodama uspešno se koriste topole. B u r k e n i S c h n o o r (1997.) su otkrili pojavu metabolita atrazina u tkivu hibrida *P.deltoides x nigra* DN-34 čija se količina vremenski povećava. N e w m a n , et al. (1997.) su u kulturi tumorskog tkiva topola proučavali metabolizam trihlor etena. Istraživanjima su otkrili razgradnju trihlor etena u di- i trihlor sirćetnu kiselinu, ali je i jedan deo redukovan u CO<sub>2</sub>. T h o m p s o n , et al.(1998.) je, u laboratorijskim uslovima sa radioaktivnim TNT- om, u vodenoj i peščanoj kulturi, otkrio da se veći deo TNT-a veže za koren, a manje od 10% se translocira u biljci. U svim biljnim delovima su otkriveni metaboliti TNT-a.

Ovom metodom se tretiraju plitko zagađena zemljišta, podzemne i površinske vode u širokom spektru klimatskih uslova. Prednosti ovog metoda se ogledaju u tome da se fitodegradacija može primeniti na zemljištima koja nemaju korisnu mikrofloru, dok je nedostatak, mogućnost obrazovanja toksičnih metabolita i poluproizvoda metabolizma.

#### 5. Fitovolatilizacija

Fitovolatilizacija je proces usvajanja i transpiracije polutanata pomoću biljaka uz otpuštanje polutanata, u istom ili modifikovanom obliku u atmosferu (E P A, 2000.). Stvaranje manje toksičnih ili netoksičnih jedinjenja se odvija procesima usvajanja, metabolizma i transpiracije koji se odvijaju u biljkama. Paralelno sa ovim procesom se mogu odvijati i rizodegradacija i fitodegradacija.

Metod se koristi za tretiranje podzemnih voda, zemljišta, sedimenata i mulja. Zemljište mora imati dovoljnu provodljivost vode. Klimatski uslovi, temperatura, padavine, insolacija i vetar uveliko utiču na količinu transpirisanog polutanta.

U slučaju transformacije polutanata u manje štetna jedinjenja postoji mogućnost dalje fotodegradacije pod uticajem sunca. Problem predstavlja oslobađanje štetnih jedinjenja koja mogu imati kancerogeno dejstvo, kao što je vinil hlorid, koji se u nekim slučajevima dobija metabolizmom trihlor etena. Drugi nedostatak je mogućnost akumulacije polutanata i štetnih metabolita u biljnom tkivu i plodovima.

Istraživanja obavljena u ogledima sa kulturom tkiva i korenovih reznica topola, koja je obavio N e w m a n, et al. (1997.), u procesu fitoremedijacije vode zagađene hlorovanim rastvaračima, pokazala su da kombinacijom metabolizma i volatilizacije može da se ukloni više od 97% trihlor etena koji je imao koncentraciju od 50ppm.

## **6. Kontrola protoka**

Sistem fitoremedijacije koji koristi biljke da usvajanjem i potrošnjom uklone podzemnu vodu i time kontrolišu migraciju polutanata naziva se kontrola protoka ili fitohidraulika (E P A, 2000.). Ovaj mehanizam se koristi za remedijaciju podzemnih, površinskih i voda koje se nalaze u zemljištu.

Prednost ovoga metoda je smanjenje troškova, jer pri remedijaciji voda nije potrebno ugrađivati sistem crpki zbog velike količine korištene vode, usled velike površine rizofere. Jedini problem ovoga metoda je nedostatak kontinuiteta uslovljen klimatskim prilikama, godišnjim dobom i dubinom prodiranja korenovog sistema.

Najvažniji faktori koji se moraju uzeti u obzir pri instaliranju ovakvog sistema su dubina nivoa podzemne vode i koncentracija polutanata. Pri sadnji se mora uzeti u obzir dubina sadnje i nivo podzemne vode. Biljke treba saditi na dubinama na kojima će korenov sistem biti u mogućnosti da obrazuje kapilarno penjanje podzemne vode. Koncentracija polutanata treba da je ispod granice fitotoksičnosti.

Značaj ovoga metoda je u velikim količinama transpiracije koja kod petogodišnjih topola može biti između 100 i 200 litara po stablu u toku jednog dana ( N e w m a n, et al. 1997.). Koristeći podatke o praćenju nivoa podzemne vode ispod dve crne topole visine 12 m , G a t l i f f (1994.) je izračunao transpiraciju u opsegu od 190 – 1300 l dnevno po stablu. N e l s o n (1996.) je prateći smanjenje nivoa podzemne vode procenio da mlada stabla topola transpirišu oko 30 l vode dnevno. Tako je F e r o, et al. (2001.) istraživanjem kontrole protoka pokazao da transpiracija zasada topola u 3. godini odgovara smanjenju nivoa podzemne vode za 3 metra.

Pored kontrole protoka, često dolazi do razgradnje polutanata kao što su đubriva, i neka rastvorljiva organska jedinjenja.

## **7. Vegetativni pokrivač**

Vegetativni pokrivač je dugotrajni samoodrživi sistem vegetacije koji se može nalaziti iznad ili u materijalu koji predstavlja rizik (E P A, 2000.). Vegetativni

pokrivač može smanjiti taj rizik do prihvatljivih granica, a uglavnom ne zahteva održavanje. Na osnovu položaja, razlikuju se dva tipa:

1) Evapotranspiraciona prostirka, koja predstavlja jedan oblik hidraulične kontrole pomoću biljaka povećavanjem kapaciteta zadržavanja zemljišta, kao i povećanu brzinu evaporacije i transpiracije biljaka u cilju smanjenja infiltracije vode. Ovaj tip prostirke smanjuje mogućnost kontakta ljudi i životinja sa polutantima i sprečava spiranje polutanata, dok monolitni sloj zemljišta zadržava vodu do njenog isparenja evapotranspiracijom.

2) Fitoremedijaciona prostirka, koja smanjuje infiltraciju vode i pomaže degradaciju otpada, a predstavlja kombinaciju usvajanja vode, biodegradacije i fitotransformacije i fitovolatilizacije.

Bilo koji od ova dva pokrivača treba da spreči kontakt čoveka i životinja sa otpadom koji se nalazi u sloju ispod prostirke, minimizuje kruženje vode kroz otpad i spreči migracije i oslobađanje proizvedenog gasa. Jedna od značajnih funkcija je i dugotrajno postojanje na tretiranoj površini, što automatski smanjuje meliorativno održavanje u cilju smanjenja erozije i oticanja vode.

Vegetativna prostirka služi kao zamena za izolacione slojeve i koristi se za tretiranje muljeva, zagađenih površinskih slojeva zemljišta, deponija i površinskih akumulacija padavina. Prema standardima EPA (Environmental Protection Agency), vlade SAD-a, vegetativni pokrivač treba da obezbedi najmanje dva cilja od kojih je jedan da spreči oticanje a drugi da otkrije, sakupi i ukloni nakupljene atmosferske taloge.

Mediji za ovaj tip fitoremedijacije su infiltrirane površinske vode, zemljišta, mulj, sedimenti i deponije koje ne sadrže komunalni otpad jer može doći do nekontrolisanog nastajanja velike količine gasova.

Prednosti ovog metoda ogledaju se u smanjenju održavanja erozivnih područja, smanjenju erozije i samoodržanjem ekosistema (D w y e r, 1997.), poboljšavanju razvoja mikroorganizama koji vrše biodegradaciju i smanjenju količine nastalih gasova. Nedostatak je u tome što može doći do oticanja vode kroz makropore koje stvara koren i dolaska u kontakt sa otpadom. Nedostatak leži i u inkorporaciji polutanata u biljno tkivo, moguće preovladavanje ekološki agresivnijih biljnih vrsta i vetroizvala koje mogu otvoriti otpad.

Biljke moraju odgovarati klimatskim uslovima i treba vršiti kombinaciju kserofitnih i higrofitnih vrsta, takođe i listopadnih i zimzelenih vrsta u cilju obezbeđenja kontinuiteta tretmana.

Dubina korena kod evapotranspiracione prostirke nije bitna jer se dešava iznad otpada i ne treba da bude u kontaktu sa fitotoksičnim jedinjenjima, dok kod fitoremedijacione prostirke dubina utiče na efekat fitoremedijacije jer polutant mora biti u kontaktu sa korenom u cilju razgradnje.

Zemljište treba da ima veliki vodni kapacitet, finog teksturnog sastava (glina-prah), ali može imati i grublju teksturu. Dubina i kapacitet utiču na sposobnost otpornosti prema uticaju velike količine atmosferskih taloga i one variraju zavisno od klimata.

## 8. Buferne pruge

Buferne pruge se primenjuju duž potoka i reka u cilju kontrole površinskog oticanja i čišćenja kontaminiranih podzemnih voda koje se u njih ulivaju (E P A, 2000.).

Ovaj vid je kombinacija usvajanja vode, polutanata, metabolizma biljaka, tj. kontrole toka, rizo- i fitodegradacije, fitovolatilizacije i fitoekstrakcije. One služe kao zamena za fizičke i hemijske barijere koje služe za tretiranje podzemnih voda bez ekstrakcije (kanali sa metalnom ispunom).

Nedostatak ovog metoda je što se može primeniti samo na lako asimilirajuće i metabolizirajuće komponente, kao što su pesticidi i hranjiva koja se primenjuju u poljoprivredi, a lako su rastvorljiva u vodi. Topole su vrlo prihvatljiva biljna vrsta i za ovakav vid remedijacije. Prema israživanjima L i c h t - a i S c h n o o r - a (1993.), koncentracija nitrata u podzemnim vodama zemljišta, na čijoj su površini bile posađene topole kao buferna pruga, je opala sa 150 mg/l na 3 mg/l mereći od poljoprivredne kulture do samog ulaska u reku.

Uslovi zemljišta moraju biti takvi da tekstura i nivo podzemne vode odgovaraju razvoju korenovog sistema, jer se usvajanje polutanta vrši u zoni rizosfere.

## ZAKLJUČAK

U radu je dat kratak opis najvažnijih procesa fitoremedijacije zemljišta i podzemnih voda, u kojima se uspešno može koristiti topola kao biljna vrsta sa velikom sposobnošću transpiracije i razvijenim korenovim sistemom. Naime, pregled istraživanja koja se u poslednjih desetak godina obavljaju (pretežno u SAD), na kontaminiranim zemljištima sa velikim brojem različitih polutanata, ukazuje na to da je topola na samom vrhu liste primenjenih biljnih vrsta. S obzirom da Institut raspolaže velikom zbirkom različitih klonova topola, smatramo da je neophodno usmeriti istraživanja u cilju fitoremedijacije različitih tipova kontaminiranih zemljišta (pogodnih za uzgoj topola) takodje, neophodno je sprovesti istraživanja vezana za kvalitet podzemnih voda, naročito oko rafinerija, naftnih bušotina, sa ciljem da se ispita mogućnost primene raznih procesa fitoremedijacije topolama za eliminaciju prisutnih polutanata.

### Literatura:

- Bañuelos, G. S., H. A. Ajwa, N. Terry, and S. Downey.** 1997a Abstract: Phytoremediation of Selenium-Laden Effluent. Fourth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, April 28 - May 1, 1997, New Orleans, LA. 3:303.
- Bañuelos, G. S., H. A. Ajwa, B. Mackey, L. L. Wu, C. Cook, S. Akohoue, and S. Zambruski.** 1997b. Evaluation of Different Plant Species Used for Phytoremediation of High Soil Selenium. J. Environ. Qual. 26:639-646.
- Bell, R. M.** 1992. Higher Plant Accumulation of Organic Pollutants from Soils. Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH. EPA/600/R-92/138.



- Burken, J. G., and J. L. Schnoor.** 1997. Uptake and Metabolism of Atrazine by Poplar Trees. *Environ. Sci. Technol.* 31:1399-1406.
- Cunningham, S. D., W. R. Berti, and J. W. Huang.** 1995a. Remediation of Contaminated Soils and Sludges by Green Plants. pp. 33-54. In R. E. Hinchee, J. L. Means, and D. R. Burris (eds.), *Bioremediation of Inorganics*. Battelle Press, Columbus, OH.
- Cunningham, S. D., and W. R. Berti, and J. W. Huang.** 1995b. Phytoremediation of Contaminated Soils. *Trends Biotechnol.* 13:393-397.
- Davis, L.C., Banks, M.K., Schwab, A.P., Muralidharan, N., Erickson, L.E., Tracy, J.C.** 1996. Plant based bioremediation. in *Bioremediation*, Sikdar and Irvine, eds. Technomic Publ Co.
- Dwyer, S. F.** 1997b. Large-scale field study of landfill covers at Sandia National Laboratories. Conference Proceedings Landfill Capping in the Semi-Arid West: Problems, Perspectives, and Solutions, May 21-22. Grand Teton National Park, WY. pp. 87-107.
- EPA 542-R-96-005.** Cleaning Up the Nation's Waste Sites: Markets and Technology Trends. Environmental Protection Agency. Washington, D.C., April 1997.
- EPA/600/R-99/107.** Introduction to Phytoremediation. U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development Cincinnati, Ohio 45268. February 2000
- Federle, T. W., and B. S. Schwab.** 1989. Mineralization of Surfactants by Microbiota of Aquatic Plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:2092-2094.
- Ferro A., Chard J., Kjelgren R., Chard B., Turner D., Montague T.** 2001. Groundwater capture using hybrid poplar trees : Evaluation of a system in Ogdah, Utah. *International journal of Phytoremediation*, vol 3, issue 1. CRC Press . ISSN 1522 - 6514
- Gatliff, E. G.** 1994. Vegetative Remediation Process Offers Advantages over Traditional Pump-and-Treat Technologies. *Remed. Summer.* 4(3):343-352
- Licht, L. A., and J. L. Schnoor.** 1993. Tree Buffers Protect Shallow Ground Water at Contaminated Sites. EPA Ground Water Currents, Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA/542/N-93/011.
- Nanda Kumar, P. B. A., V. Dushenkov, H. Motto, and I. Raskin.** 1995. Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soils. *Environ. Sci. Technol.* 29(5):1232-1238.
- Nelson, S.** 1996. Use of Trees for Hydraulic Control of Ground-water Plumes. In W.W.Kovalick and R.Olexey (eds.), *Workshop on Phytoremediation of Organic Wastes*, December 17-19, 1996, Ft. Worth, TX. EPA unpublished meeting summary (<http://www.rtdf.org>).
- Newman, L. A., S. E. Strand, D. Domroes, J. Duffy, G. Ekuan, G. Karscig, I. A. Muiznieks, M. Ruszaj, P. Heilman, and M. P. Gordon.** 1997c. Abstract: Removal of Trichlorethylene from a Simulated Aquifer Using Poplar. Fourth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, April 28 - May 1, 1997, New Orleans, LA. 3:321.
- Pierzynski, G. M., J. L. Schnoor, M. K. Banks, J. C. Tracy, L. A. Licht, and L. E. Erickson.** 1994. Vegetative Remediation at Superfund Sites. *Mining and*

Its Environ. Impact (Royal Soc. Chem. Issues in Environ. Sci. Technol. 1). pp. 49-69.

**Salt, D. E., M. Blaylock, P. B. A. Nanda Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley, I. Chet, and I. Raskin.** 1995. Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environment Using Plants. *Biotechnol.* 13:468-474.

**Schnoor, J. L., L. A. Licht, S. C. McCutcheon, N. L. Wolfe, and L. H. Carreira.** 1995a. Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 29:318A-323A.

**Schnoor, J. L., L. A. Licht, S. C. McCutcheon, N. L. Wolfe, and L. H. Carreira.** 1995c. Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 29:318-323.

**Thompson, P. L., L. A. Ramer, and J. L. Schnoor.** 1998. Uptake and Transformation of TNT by Hybrid Poplar Trees. *Environ. Sci. Technol.* 32:975-980.

## S U M M A R Y

### FITOREMEDIJACIJA I ULOGA TOPOLA U TEHNOLOGIJI REMEDIJACIJE ZEMLJIŠTA I PODZEMNIH VODA

The most often phytoremediation technologies, used by poplars as tree species with specific root development and enormous rate of transpiration are shortly described in this work. Review of researches, mostly in USA, on soils and groundwater contaminated with a large scale of contaminants, showed that poplars are most often used plant for phytoremediation. Considering the number of different clones owned by Poplar Research Institute – Novi Sad, researches in phytoremediation of soils adequate for poplar growing should be developed. Also, the researches of groundwater quality near refineries, oil drills should be developed, with goal to investigate possibility for application of phytoremediation using poplars.