

Ghid pentru Aplicarea Fitoremedierii în România



“fitoremediere”

phyto = plantă

remedium = a corecta / a înlătura un rău

Fitoremedierea este o tehnică inovatoare, rentabilă din punct de vedere economic, ce se bazează pe utilizarea plantelor pentru a înlătura poluanții din mediul înconjurător sau pentru a reduce toxicitatea acestora.

Acest ghid a fost realizat în cadrul proiectului "Consolidarea Potențialului de Aplicare a Tehnicilor Durabile de Remediere a Mediului. Aplicarea Fitoremedierii în România". Proiectul a fost finanțat parțial de Guvernul Flamand și s-a desfășurat în perioada Ianuarie – Noiembrie 2009.

Ghidul se dorește a fi un instrument practic realizat în vederea promovării fitoremedierii printre diverși actori din România care sunt implicați activ în procesul de rehabilitare a zonelor poluate din România.

Ce este fitoremedierea?

Termenul "fitoremediere" este format din prefixul grecesc *phyto* = plantă și din rădăcina latină *remedium* = a corecta / a înlătura un rău. Fitoremedierea este definită ca utilizarea plantelor pentru a înlătura diverși poluanți din mediul înconjurător sau pentru a reduce toxicitatea acestora. Fitoremedierea mai este cunoscută și sub denumirea de bioremediere, bioremediere botanică sau remediere verde.

Aplicații ale fitoremedierii

Fitoremedierea poate fi aplicată oriunde solul sau mediul acvatic a fost poluat sau suferă o poluare cronică continuă.

Câteva exemple de cazuri în care fitoremedierea a fost aplicată cu succes includ restaurarea zonelor miniere abandonate, reducerea impactului sit-urilor unde au fost depozitați compuși organici (PCB) și reducerea toxicității deșeurilor provenite de la minele de cărbune.

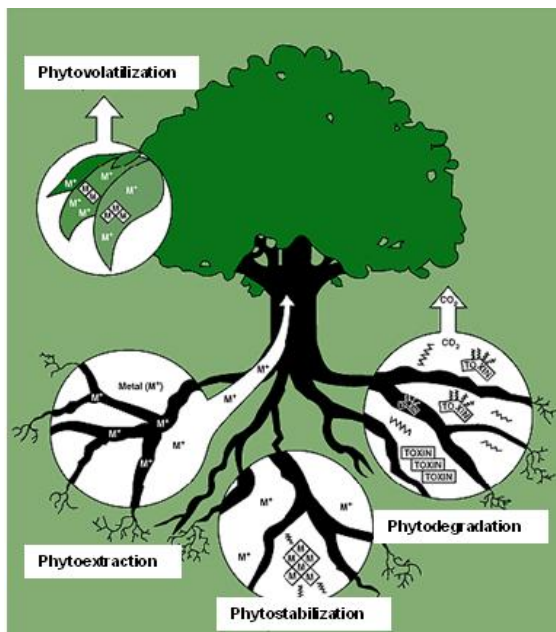
Pentru ce tip de substanțe poluante este adecvată fitoremedierea?

Substanțele poluante care au fost remediate în laborator și/sau studii de teren folosind tehnici de fitoremediere includ:

- metale grele (Cd, Co, Pb, Cu, Ni, Se, Zn);
- radionuclizi (Cs, Sr, U);
- solvenți clorurați (TCE, PCE);
- hidrocarburi - petrol (BTEX);
- nutrienți (nitrat, amoniu, fosfat).

Tipuri de fitoremediere

În domeniul fitoremedierii există o mare varietate de subcategorii. Cele mai cunoscute tipuri de fitoremediere sunt: fitoextracția, fitostabilizarea, rizofiltrarea, fitodegradarea și fitovolatilizarea.

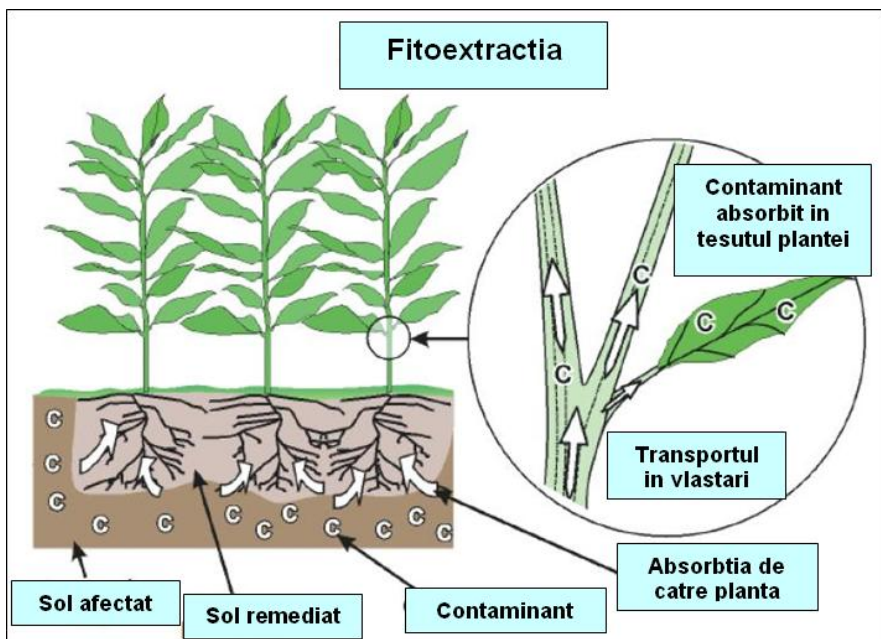


Fitoextracția

Fitoextracția, denumită și fitoacumulare sau fitominerit, poate fi definită ca o tehnologie care utilizează plante pentru a elimina substanțele poluante anorganice, în special metalele, din solurile contaminate. Procesul implică îndepărtarea din mediul înconjurător a substanțelor poluante (metale, radionuclizi și anumiți compuși organici) prin preluarea directă a acestora în țesuturile plantelor. Punerea în aplicare a fitoextracției implică plantarea uneia sau mai multor specii de plante care sunt hiperacumulatori ai substanțelor poluante ce se doresc a fi extrase.

Hiperacumulatorii sunt plante care au capacitatea de a tolera și de a acumula concentrații ridicate de metale în țesuturile lor. În general, toate plantele extrag atât substanțele nutritive necesare cât și metale din sol și apă. Hiperacumulatorii pot prelua o cantitate mai mare de metale decât le este necesar pentru nutriție și, uneori, și metale care nu par a fi necesare pentru funcționarea procesului de nutriție.

Cei mai cunoscuți hiperacumulatori acumulează Ni, în timp ce alții acumulează Cd, Co, Cu, Zn. Pentru Pb se cunosc însă foarte puțini hiperacumulatori. Extracția de plumb din solurile contaminate poate avea loc numai în urma aplicării unor tratamente prelabile ale solului. Încurajator este faptul că aproximativ 400 de specii de plante care fac parte din cel puțin 45 de familii de plante au fost raportate ca hiperacumulatori de metale (de exemplu *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* și *Scrophulariaceae*).



Listă cu hiperacumulatori

Genuri și specii	Familii
<p>Cobalt</p> <p>Aeollanthus biformifolius Crotalaria cobalticola Cyanotis longifolia Haumaniastrum homblei Haumaniastrum robertii</p>	<p><i>Lamiaceae</i> <i>Fabaceae</i> <i>Commenlinaceae</i> <i>Lamiaceae</i> <i>Lamiaceae</i></p>
<p>Cupru</p> <p>Aeollanthus biformifolius Bulbostylis mucronata Haumaniastrum katangense Ipomoea alpina Lidernia perennis</p>	<p><i>Lamiaceae</i> <i>Cyperaceae</i> <i>Laminaceae</i> <i>Convolvulaceae</i> <i>Scrophulariaceae</i></p>
<p>Nichel</p> <p>Alyssum argenteum Bommuller baldacci tymphaea Geissois pruinosa Peltaria emarginata Psychotria douarrei Thlaspi alpinum sylvium</p>	<p><i>Brassicaceae</i> <i>Brassicaceae</i> <i>Cunoniaceae</i> <i>Brassicaceae</i> <i>Rubiaceae</i> <i>Brassicaceae</i></p>
<p>Plumb</p> <p>Armeria maritima halleri Thlaspi alpestre Thlaspi rotundifolium cepaeifolium</p>	<p><i>Plumbaginaceae</i> <i>Brassicaceae</i></p>
<p>Mangan</p> <p>Macadamia neurophylla Maytenus bureauianus Maytenus sebertiana</p>	<p><i>Proteacea</i> <i>Celastraceae</i> <i>Celastraceae</i></p>

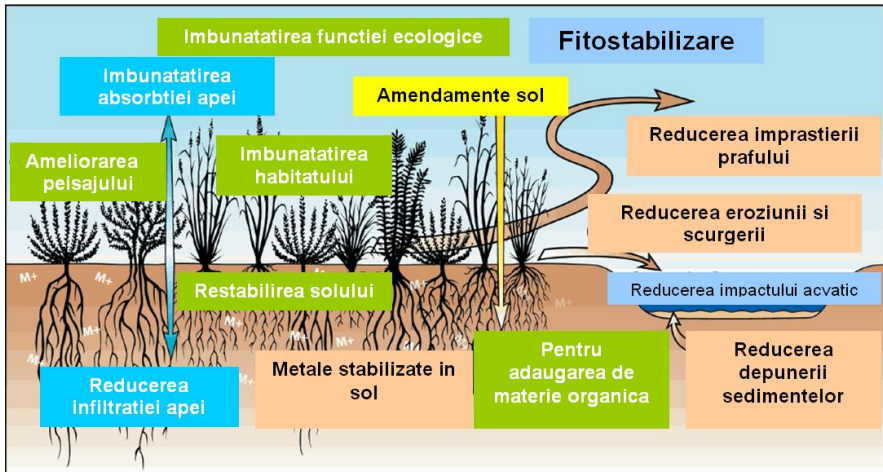
Zinc	<i>Brassicaceae</i>
Thlaspi alpestre	<i>Brassicaceae</i>
Thlaspi calaminare	<i>Brassicaceae</i>
Thlaspi caerulescens	<i>Brassicaceae</i>
Thlaspi tatraense	<i>Brassicaceae</i>

Fitostabilizarea

Fitostabilizarea este definită ca utilizarea anumitor specii de plante pentru a imobiliza substanțele poluante din sol și ape subterane, prin absorbția și acumularea acestora de către rădăcini, adsorbția pe rădăcini sau precipitarea în zona rădăcinilor. Această tehnologie este foarte eficientă atunci când este necesară imobilizarea rapidă a poluanților pentru a preveni migrația lor în apele subterane și de suprafață.

Fitostabilizarea este utilă pentru tratamentul plumbului (Pb), precum și al arsenului (As), cadmiului (Cd), cromului (Cr), cuprului (Cu) și zincului (Zn). Exemple de plante adecvate pentru aceasta tehnologie sunt *Agrostis tenuis* și *CV Parys* pentru deșeuri de cupru, *Agrostis tenuis* și *CV Coginan* pentru plumb acid și deșeuri de zinc, *Festuca rubra* și *CV Merlin* pentru deșeuri calcaroase de plumb și de zinc.

Avantajele fitostabilizării sunt: eficiența costurilor în comparație cu alte tehnici (de exemplu excavare, depozitarea deșeurilor sau stabilizarea cu ciment), eficiență și durabilitate în imobilizarea metalelor, stabilizarea fizică a solului împotriva eroziunii datorate vântului și a infiltrării metalelor în apele subterane, precum și îmbunătățirea esteticii peisajului. În comparație cu metodele de remediere "hard" (cu impact mărit), această tehnică nu distruge și nu elimină materia organică din sol, microorganismele solului și nici textura acestuia și poate fi clasificată drept metodă "soft" (cu impact redus) de rehabilitare a site-ului. Fitostabilizarea poate fi aplicată pentru reducerea imediată impactului contaminanților din sol, până la momentul când va putea fi utilizată o tehnologie care să îndepărteze total din sol substanțele poluante.



Fitostabilizarea prezintă și unele dezavantaje cum ar fi faptul că poluanții rămân în sol sau că această metodă poate să nu fie o soluție adecvată pentru anumite site-uri contaminate - de exemplu site-uri contaminate cu o combinație de metale și substanțe organice. În aceste cazuri stabilizarea contaminanților se poate face doar în urma fertilizării extinse și amendamentelor de sol.

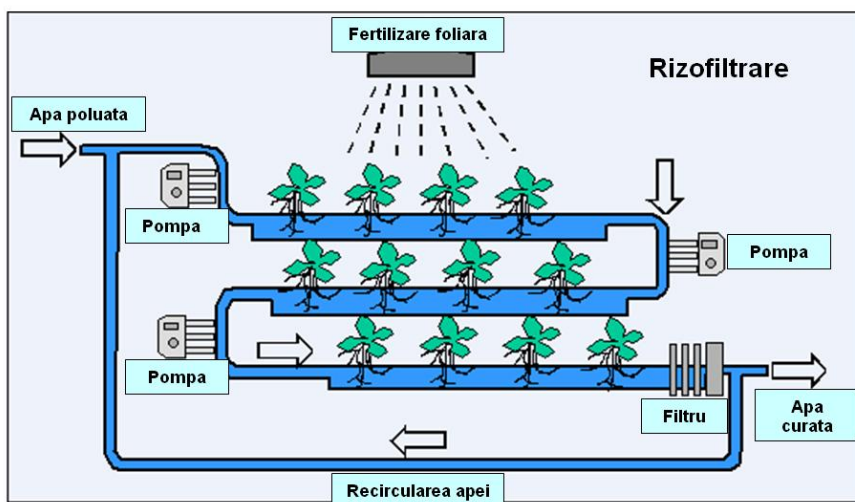
Rizofiltrarea

Rizofiltrarea, denumită și fitofiltrare, este folosită pentru remedierea apelor subterane și de suprafață și este definită ca utilizarea de plante (terestre și acvatice) pentru a absorbi, concentra și precipita în rădăcini substanțele poluante.

Această tehnologie poate fi folosită pentru Pb, Cd, Cu, Ni, Zn și Cr, aceste metale fiind în primul rând înmagazinate în rădăcini.

Cele mai bune rezultate au fost obținute cu soiuri de floarea-soarelui (*Helianthus annuus L.*), cu muștar indian (*Brassica juncea*), tutun (*Nicotiana tabacum L.*), spanac (*Spinacia oleracea L.*) și porumb (*Zea mays L.*). În special, floarea-soarelui și muștarul indian prezintă o mare capacitate de eliminare a

plumbului din apă. De asemenea floarea-soarelui a fost utilizată în depoluarea de radionuclizi (Sr și Cs) a apelor de suprafață din apropiere de Cernobîl. Plante acvatice, cum ar fi zambila de apă (*Eichhornia crassipes*), buricul-apei (*Hydrocotyle umbellata*), lintiță (*Lemna minor*) și catifeaua de apă (*Azolla Pinata*) au fost, de asemenea, folosite pentru purificarea apei, cu toate că randamentul lor este mic datorită rădăcinilor de dimensiune redusă și cu creștere lentă.



Fitodegradarea

Fitodegradarea, denumită și fitotransformare, este definită ca utilizarea de plante și microorganisme asociate (fungi), pentru a degrada poluanții organici în compuși mai puțin toxici sau non-toxici sau pentru a descompune moleculele organice complexe în molecule simple.

În cazul în care moleculele poluante sunt mici, acestea pot fi folosite de către plante ca și metaboliți, devenind astfel încorporabile în țesuturile vegetale.

Această tehnologie poate fi aplicată în remedierea solului, a apelor de suprafață și a apelor subterane in situ sau ex situ, în iazuri sau zone umede. Mulți compuși și diferite clase de compuși

pot fi eliminați din mediul înconjurător prin această metodă, inclusiv solvenții din apele subterane, petrolul și compuși aromatici din soluri, compuși volatili din aer.

Fitovolatilizarea

Fitovolatilizarea implică utilizarea de plante pentru a prelua substanțele poluante din sol, acestea fiind ulterior transformate de către plante în forme volatile și eliminate în atmosferă prin transpirație. Aceasta tehnologie este definită ca fiind absorbția și transpirația poluanților de către plante, cu eliberarea acestora în atmosferă ca atare sau sub o formă modificată. Fitovolatilizarea apare atunci când arborii sau alte plante sunt în creștere și extrag apa poluată cu impurități organice și anorganice din sol. Unii dintre acești poluanți pot trece din tulpini în frunze și se pot volatiliza în atmosferă la concentrații relativ scăzute comparativ cu concentrațiile absorbite. Această fitometodă a fost utilizată în principal pentru îndepărtarea mercurului, ionii de mercur fiind transformați în mercur elementar mai puțin toxic.

Recoltarea, depozitarea sau utilizarea plantelor

Odată ce plantele au acumulat poluanți acestea se pot recolta, în unele cazuri fiind înlaturate și rădăcinile, care vor fi depozitate sau prelucrate ulterior, în funcție de toxicitatea acestora. Procesul cel mai frecvent utilizat este incinerarea controlată în urma căreia rezultă cenușă cu un conținut ridicat de metale. Există în prezent tehnologii care permit extragerea metalelor din cenușă, dar aceste operațiuni sunt cotate ca fiind destul de costisitoare. Alte metode de tratament al țesuturilor de plante contaminate sunt în prezent în curs de investigare: uscarea la soare, la căldură sau la aer, obținerea de compost, presare și compactare.

În cazul în care sunt utilizați copaci (plop, salcie, salcâm) pentru fitoremediere aceștia pot fi tăiați și utilizați pentru obținerea hârtiei sau producerea de energie.

Estimări ale costurilor pentru fitoremediere comparativ cu costurile pentru tehnologii clasice (S.U.A - APM, 2000)

Contaminant	Costuri fitoremediere	Costuri estimative pentru alte tehnologii
Metale	€ 70/m ³	€ 220/m ³
Sit contaminat cu hidrocarburi de petrol	€ 50.000	€ 550.000
10 acrii de teren contaminat cu plumb	€ 350.000	€ 8.000.000
Radionuclizi în apa de suprafață	€ 0,4 to € 1 la 1000 litri	Nespecificat
1 hectar la 15cm adâncime (diverși contaminanți)	€ 1.700 la € 10.000	Nespecificat

Avantaje și limitări ale fitoremedierii

Avantaje

- Aplicabilă unei mari varietăți de compuși organici și anorganici;
- Nu necesită echipamente costisitoare sau personal foarte specializat;
- Nu produce o perturbare a solului sau a mediului înconjurător;
- Îmbunătățește estetica peisajului;
- Costuri reduse în comparație cu metodele tradiționale;
- Crearea de habitat - biodiversitate;
- Tehnologie verde;
- Acceptată de public;
- Volum mic de deșeuri secundare;
- Utilizează soarele ca sursă de energie ;
- Asigură controlul eroziunii;
- Reduce dispersia substanțelor poluante prin intermediul aerului și al apei;
- În cazul aplicării la scară mare, materialul vegetal rezultat poate fi utilizat pentru a genera energie termică.

Limitări

- Timpul necesar pentru remediere poate fi îndelungat;
- Aplicabilă la site-uri cu concentrații mici și medii de substanțe poluante;
- Dependența climatică / variabilă;
- Eficiența variabilă în funcție de sezon;
- Transfer potențial al substanțelor poluante (la animale sau în aer);
- Performanță limitată;
- Biomasa recoltată poate fi clasificată ca "deșeuri periculoase", prin urmare manipularea acestora trebuie să fie adecvată;
- Introducerea de specii noi ar putea afecta biodiversitatea;
- Consumul/utilizarea biomasei plantelor contaminate prezintă uneori motive de îngrijorare.

Compararea fitoremedierii cu metode de remediere clasice

O evaluare a tehnicilor de reabilitare este în general un proces foarte dificil din cauza multitudinii de factori care trebuie să fie luați în considerare. Aplicarea cu succes a anumitor tehnici depinde de caracteristicile site-ului, de tipul și nivelul de contaminare, de timpul necesar, de mediul înconjurător, de utilizarea viitoare a terenului și de alți factori. Aspectele economice au, de asemenea, o mare importanță, iar analiza cost-beneficiu ar trebui să fie efectuată în prealabil în vederea alegerii celei mai bune tehnici de reabilitare pentru un anumit sit.

	Fitoremedierea	Tehnici in situ	Tehnici ex situ
Evaluare tehnică			
Reducerea concentrației	+++	+++	++++
Reducerea riscului	+++	+++	+++++
Necesitatea testelor de laborator/pilot	+	++	+++++
Durata	+	++++(+)	+++++
Evaluare economică			
Costuri	+++++	+++	++
Beneficii	+++	+	+
Utilizarea sitului	+	+++	+++++

Evaluare ecologică			
Impactul asupra florei, faunei, biota solului	++++	++	++++
Peisajul	+++++	++	+++

Notă: +: cel mai puțin pozitiv
+++++: cel mai pozitiv

Evaluarea prezentată în tabelul de mai sus este o variantă generală, având la bază consultarea literaturii de specialitate, și reprezintă doar o abordare succintă a tehnicilor de reabilitare comparate. În cele mai multe cazuri rezultatul depinde de mai mulți factori. De exemplu, în cazul fitoremedierii, este necesară efectuarea unui număr mai mare de teste pilot și de laborator înaintea implementării, pe când, în cazul tehnicilor de remediere clasice deja consacrate, testele sunt efectuate doar când sunt necesare inovări sau îmbunătățiri ale acestor tehnici.

Evaluarea costurilor privind tehnicile descrise demonstrează că fitoremedierea este cea mai ieftină metodă pentru remedierea siturilor contaminate, în timp ce tehnicile clasice in situ și ex situ necesită eforturi financiare destul de ridicate. Pentru evaluarea economică este importantă analizarea beneficiilor redării sit-ului în circuitul natural, în sensul viitoarei utilizări a respectivului sit. În cazul fitoremedierii rezultatele indică o utilizare restrictivă a sit-ului în timpul procesului de remediere, dar beneficiile economice pot fi obținute, de exemplu, prin recoltarea copacilor folosiți pentru fitoremediere și folosirea lor pentru producerea de energie (biocombustibili), producerea de hârtie, mobilă etc.

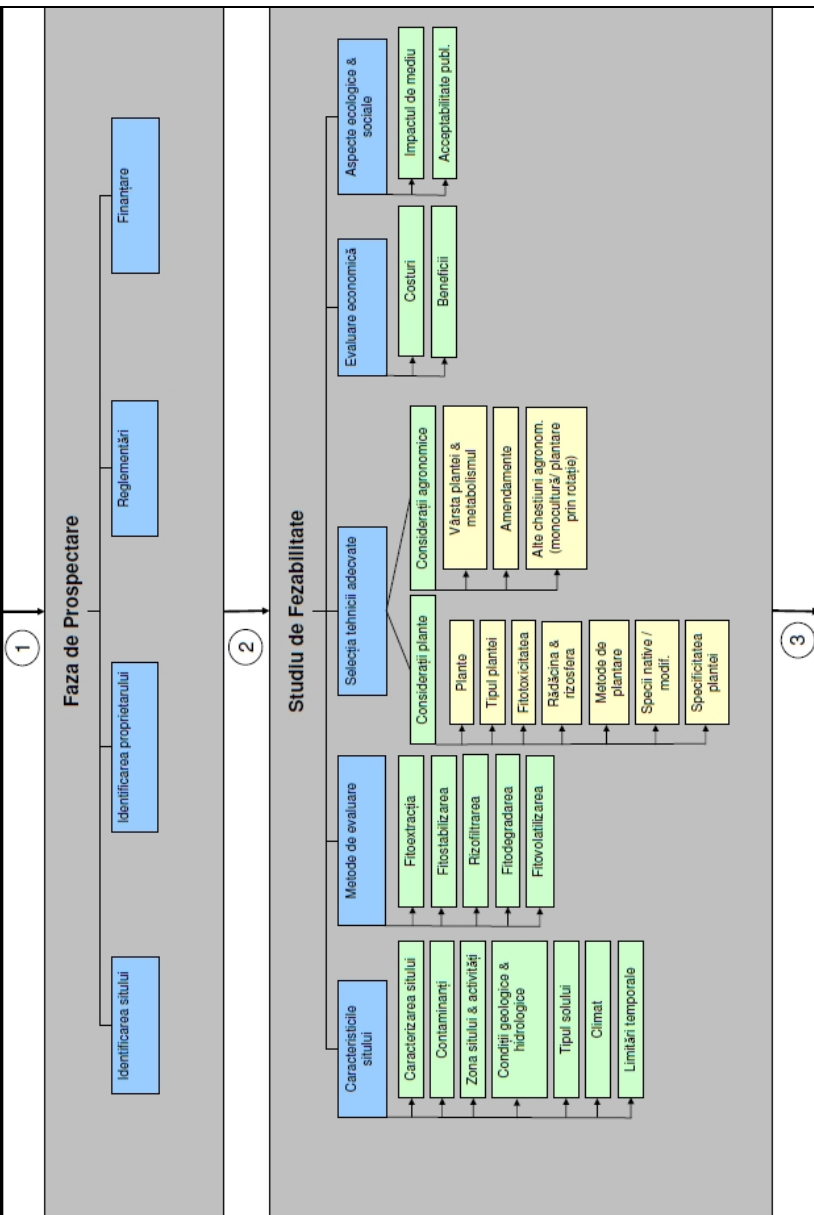
Surse de finanțare

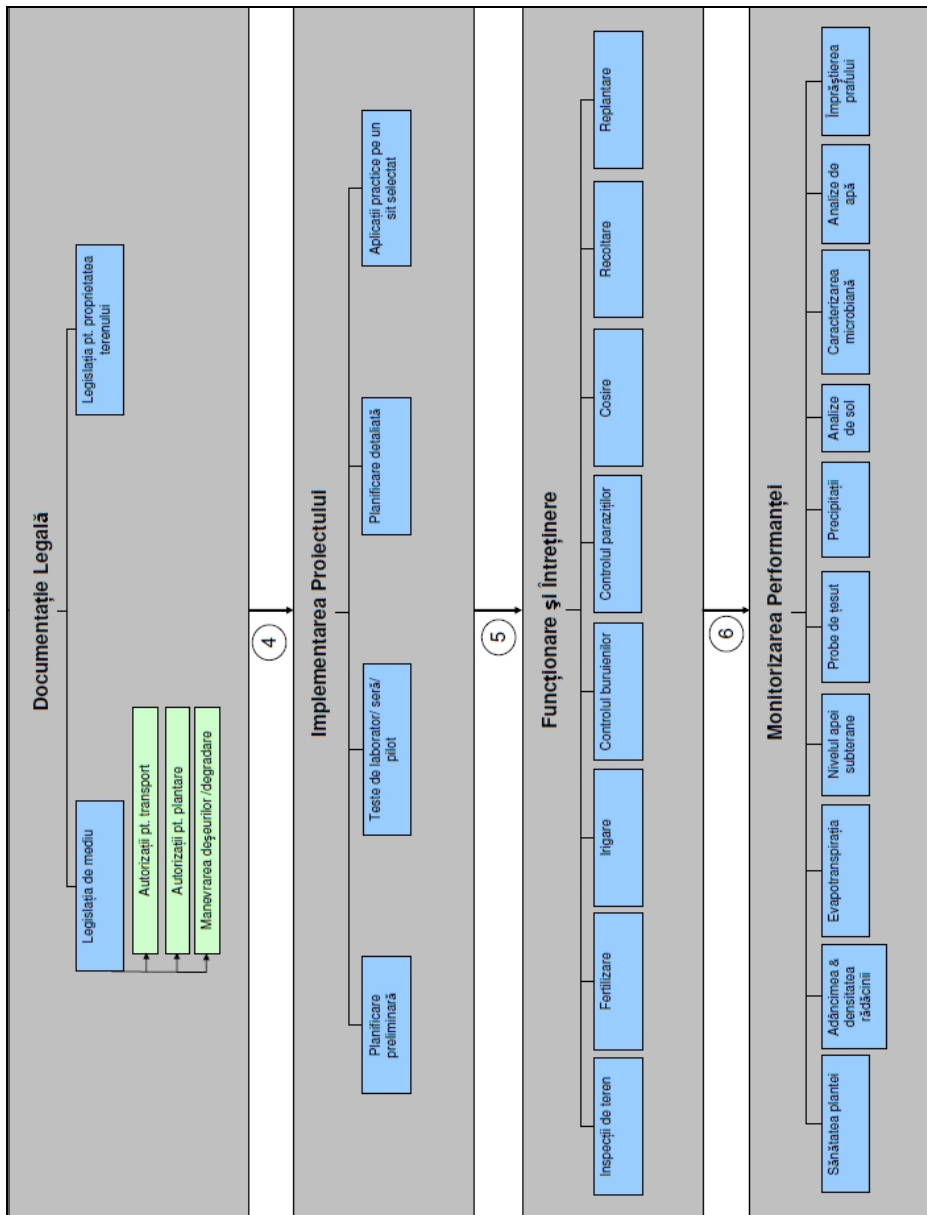
Proiecte de fitoremediere se pot dezvolta în cadrul unor parteneriate naționale sau internaționale. Fonduri necesare pentru aceste tip de proiecte pot fi obținute, de exemplu, din următoarele surse:

- Eureka: <http://www.eureka.be>;
- Fonduri NATO: <http://www.nato.int>;

- Fonduri Structurale: <http://www.fonduri-structurale.ro>;
- Fondul de Mediu: <http://www.afm.ro>;
- Ministerul Educației, Cercetării și Inovării: <http://www.edu.ro>

Implementarea Fitoremedierii





Bibliografie:

- Ghosh, M. and Singh, S.P., A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. - Applied Ecology and Environmental Research 3 (2005): 1-18.
- Miller, R.R., Phytoremediation. - GWRTAC Technology Overview Report (1996): 1-11.
- Henry, J.R., An overview of the phytoremediation of lead and mercury. - NNEMS for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (2000): 1-47.
- Bonaventura, C. and Johnson, F.M., Healthy environment for healthy people: Bioremediation today and tomorrow. - Environmental Health Perspectives 105 (1997): 5-20.
- Green, C. and Hoffangle, A., Phytoremediation field studies database for chlorinated solvents, pesticides, explosives, and metals. - Report prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (2004): 1-24.
- Vassilev, A., Schwitzguébel, J.-P., Thewys, T., Van der Leile, D., and Vangronsveld, J., The use of plants for remediation of metal-contaminated soils. - The Scientific World Journal 4 (2004): 9-34.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., and Raskin, I., Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. - Biotechnology 13 (1995): 468-474.
- Dushenkov, V., Nanda Kumar, P.B.A., Motto, H., and Raskin, I., Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. - Environmental Science & Technology 29, No. 5 (1998): 1239-1245.

Referințe Web

- <http://arabidopsis.info/students/dom/mainpage.html>
- <http://www.biology-online.org/articles/phytoremediation-a-lecture/phytoextraction.html#>
- <http://quasimodo.versailles.inra.fr/inapg/phytoremed/nuls/comment.htm>
- http://www.civil.northwestern.edu/EHE/HTML_KAG/Kimweb/MEOP/Section7.htm

Parteneri de proiect

Parteneri din România

APM Maramures	APM Suceava	APM Botosani
Primaria Baia Mare	Consiliul Judetean Maramures	Consiliul Judetean Gorj
Primaria Baia Sprie	Universitatea de nord din Baia Mare	Universitatea Constantin Brancusi din Targu-Jiu
APM Gorj	Primaria Baiut	Primaria Cavnic

Parteneri din Flandra

Ecorem nv	Universitatea Hasselt
-----------	-----------------------



**WITH THE SUPPORT OF
THE FLEMISH GOVERNMENT**



Ecorem NV,
Kontichsesteenweg 38, B - 2630 Aartselaar
Web: www.ecorem.be
Email: info@ecorem.be
Tel. +32 (0) 38710900
Fax: +32 (0) 38710901