

METHODS OF IN SITU BIOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOILS: A REVIEW

METODE DE BIOREMEDIERE IN SITU A SOLURILOR CONTAMINATE: STUDIU

Ioana Monica SUR

Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Materials and Environmental Engineering, Department Environmental Engineering and Sustainable Development Entrepreneurship, 103-105 Muncii Ave, Cluj-Napoca, Romania

Abstract: *The most important principle of bioremediation is that microorganisms (mainly bacteria) can be used to destroy hazardous contaminants or transform them to less harmful forms. The microorganisms act against the contaminants only when they have access to a variety of materials-compounds to help them generate energy and nutrients to build more cells. In a few cases the natural conditions at the contaminated site provide all the essential materials in large enough quantities that bioremediation can occur without human intervention, a process called intrinsic bioremediation. More often, bioremediation requires the construction of engineered systems to supply microbe-stimulating materials a process called engineered bioremediation.*

Keywords: *bioaugmentation, bioremediation, biostimulation, in situ, microorganisms.*

1. Introduction

Methods of in situ decontamination are applied directly in the polluted environment, without making soils excavation works and without extraction of the contaminated water.

In situ bioremediation is a biological process of soil decontamination which is based on the presence in the soil or sub terrain environment of certain microorganisms (bacteria, fungus) which are capable of decomposing the bulk of the organic carbonates pollutants and the majority of inorganic pollutants [1], [2].

In situ bioremediation is a technique which can decontaminate the highly polluted soils while protecting the organic ratio of it, compared with other techniques, and with reasonable costs [3], [4].

The bioremediation process represents, in general, the transformation of the polluted organic compounds, using the activity of the microorganisms, into harmless inorganic substances like CO₂ and water.

Rezumat: *Cel mai important principiu de bioremediere este că microorganismele pot fi folosite pentru a distruge contaminanții periculoși sau să le transforme în forme mai puțin dăunătoare. Microorganismele acționează împotriva contaminanților numai atunci când acestea au acces la o varietate de materiale-compuși pentru a le ajuta să genereze energie și substanțe nutritive pentru a construi mai multe celule. În câteva cazuri, condițiile naturale de la situl contaminat poate furniza toate materialele esențiale în cantități suficiente de mari, bioremediere poate avea loc fără intervenția umană, proces numit bioremediere intrinsecă. De cele mai multe ori, pentru a îmbunătăți activitatea microbiană sunt construite sisteme de inginerie, proces numit bioremediere tehnică.*

Cuvinte cheie: *bioremediere in situ, microorganisme, biostimulare, biocrestere.*

1. Introducere

Metodele de depoluare „in situ” sunt aplicate direct în mediul poluat, fără a se efectua lucrări de excavare a solului și fără extracția apelor contaminate.

Bioremedierea in situ este un procedeu biologic de depoluare a solurilor care se bazează pe prezența în sol/mediul subteran a unor microorganisme (bacterii, ciuperci) capabile să degradeze cea mai mare parte a poluanților organici carbonați și o bună parte a poluanților anorganici [1], [2].

Bioremedierea in situ este o tehnică care permite depoluarea solului cu un grad ridicat de poluare în condiții în care fracția organică din sol este protejată, față de alte tehnici și în condiții de costuri acceptabile [3], [4].

Procesul de bioremediere reprezintă în general, transformarea compușilor organici poluanți, prin activitatea microorganismelor, în substanțe anorganice inofensive cum ar fi CO₂ și apă.

Basically the bioremediation technology consists in acceleration of the natural decomposition processes by feeding the polluted area with oxygen and with other receiving electrons, nutrients (nitrogen and phosphorus) and in some cases even with microorganisms because the soils polluted with heavy metals are difficult to be decontaminated [1], [5].

Conditions of applying the method:

Compared with other decontamination techniques, in situ bioremediation is heavily dependent on local conditions and soil properties.

The factors leading to a successful designing of a bio-remedy system include [6]:

- good knowledge of the pollutants in the respective area;
- natural macro/micronutrients add-ons;
- availability of the receivers;
- presence of indigenous bacteria capable of decomposing the pollutants;
- soil characteristics.

In situ systems are the ones for which, the contaminated environment, either soil or underground water, is not moved from its origin location. This kind of systems can be of intrinsic remedy or systems of bio remedy technical (fig. 1) [1], [5].

În esență tehnologia remedierii constă în accelerarea proceselor de degradare naturală prin alimentarea zonelor poluate cu oxigen sau alți electroni acceptori, nutrienți (azot și fosfor) și în unele cazuri chiar cu microorganisme deoarece solurile contaminate cu metale grele sunt greu de decontaminat. [1], [5].

Condițiile de aplicare a bioremedierii

Bioremedierea in situ față de celelalte tehnici de remediere este în mai mare măsură dependentă de condițiile locale și de proprietățile solului.

Factorii care joacă un rol important în proiectarea cu succes a unui sistem de bioremediere cuprind [6]:

- cunoașterea poluanților existenți,
- suplimente naturale de macro/ micronutrienți,
- disponibilitatea acceptorilor,
- prezența unor bacterii indigene capabile să degradeze poluanții
- caracteristicile subsolului.

Sistemele in situ sunt acelea pentru care mediul contaminat, fie el sol sau ape subterane, nu este deplasat din locația originală. Aceste sisteme pot fi la rândul lor de remediere intrinsecă sau sisteme de bioremediere tehnică (fig. 1) [1], [5].

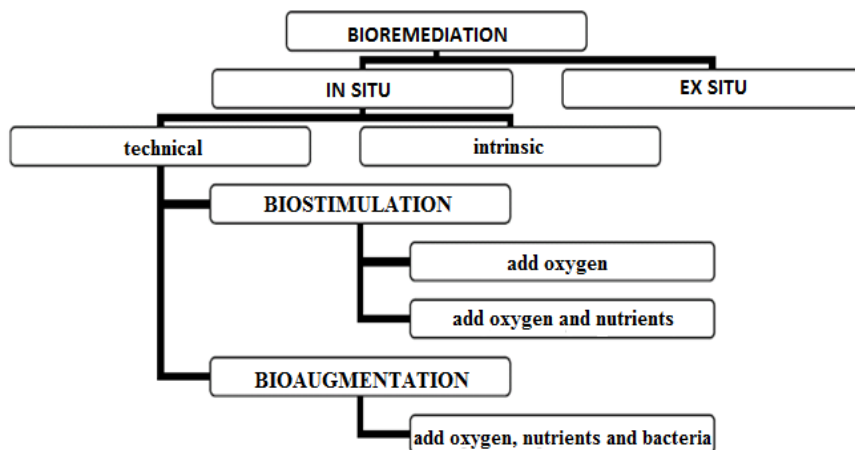


Figure 1. Types of bioremediation. [7]

2. Bioremediation methods

a. Intrinsic bioremediation, also known as natural or passive bioremediation, allows the nature to follow its own way. But, with this type of decontamination is necessary to strictly respect a rigorous protocol/procedure. Thus, it must be checked the presence of bacteria specific for each type of contamination, it must be proven the efficiency of natural diminishing of the pollutant layer and must be established a long term monitoring process [1], [5].

2. Metode de bioremediere

a. Bioremedierea intrinsecă, cunoscută și ca bioremedierea naturală sau pasivă, permite naturii să-și urmeze propriul curs. Acest tip de bioremediere însă, necesită urmărirea cu strictețe a unui protocol riguros. Astfel, trebuie verificată prezența bacteriilor specifice fiecărui tip de contaminare, trebuie demonstrată eficacitatea atenuării naturale a penei de poluant și trebuie stabilit un proces de monitorizare pe termen lung [1], [5].

The key characteristics for inherent bio-remedy of the soil are [5]:

- water flow rate during seasons;
- presence of some minerals which can block pH modifications;
- high concentrations of oxygen, either nitrate, sulfate or ferric iron.

b. Technical (industrial) bioremediation implies the presence of some installations which stimulate the growth of underground bacteria. Technical bioremediation can be done either through biostimulation systems or bioaugmentation systems.

b.1. Biostimulation implies the modification of the environment in order to stimulate the existing bacteria, capable of decontamination. It is done by insertion of nutrients or add-ons, like soil fertilizers to stimulate the growth and the metabolism of the indigenous species which perform biodegradation (fig. 2.). The sub-layer which contains nitrogen and phosphorous are the most commonly used as stimulants, due to their electrons acceptance capacity [1].

Caracteristicile cheie pentru bioremedierea intrinsecă în teren sunt [5]:

- debitului de apă pe parcursul anotimpurilor;
- prezența unor minerale care pot împiedica modificările de pH;
- concentrații mari de oxigen, fie, azotat, sulfat, sau fier feric.

b. Bioremedierea tehnică (industrială) implică existența unor instalații care stimulează dezvoltarea bacteriilor în subteran. Bioremedierea tehnică se poate realiza atât prin sisteme de biostimulare cât și prin sisteme de biocreștere.

b.1. Biostimularea implică modificarea mediului de a stimula bacteriile existente, capabile să bioremedieze. Biostimulare implică introducerea de nutrienți sau substraturi (fig. 2.), cum ar fi îngrășăminte, pentru a stimula creșterea și metabolismul speciilor indigene care efectuează biodegradare. Substratul care conține azot și fosfor sunt cele mai utilizate în mod obișnuit ca și stimulente, datorită capacității lor de acceptare a electronilor [1].

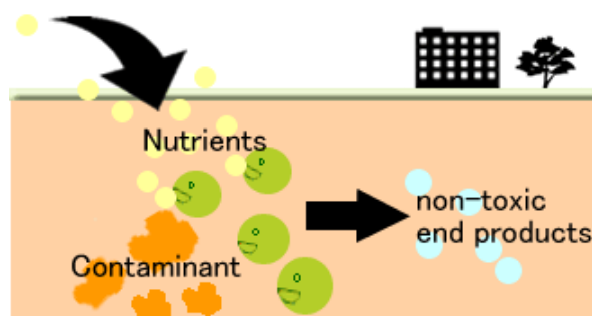


Figure 2. Schematic representation of biostimulation [7]

In order for a biostimulation system to succeed must be determined the underground characteristics (like speed of the underground natural water in ambient conditions, hydraulic conductivity of underground waters) [8].

Biostimulation improves the ratio of decomposing the polluted soil to which were added nutrients and oxygen. The presence of oxygen is favorable to the process. The procedure is applied to soils contaminated with oil hydrocarbons, solvents, pesticides. As a safety measure, the water flow used can affect the groundwater layers. The additives are, usually, added in underground through injection wells, even if the injection technology for biostimulation purpose is still in development. The biostimulation can be improved through bioaugmentation (adding of indigenous microorganisms or exogenous in contaminated soils for acceleration of the decomposition of the organic pollutants present in the soil).

Pentru a avea succes un sistem de biostimulare trebuie stabilite caracteristicile subterane (cum ar fi viteza apelor subterane naturale în condiții ambientale, conductivitatea hidraulică a apelor subterane) [8].

Biostimularea îmbunătățește randamentul biodegradării solului poluat la care s-au adăugat nutrienți și oxigen. Prezența oxigenului este favorabilă procesului. Procedura se aplică solurilor contaminate cu hidrocarburi petroliere, solvenți, pesticide. Ca precauție, fluxul de apă folosit poate pune în pericol stratul de apă freatică.

Aditivii sunt, de obicei adăugați în subteran prin puțuri de injectare, cu toate că tehnologia de injecție în scopuri de biostimulare este încă în curs de dezvoltare. Biostimulare poate fi îmbunătățită prin biocreștere (adăugarea de microorganisme indigene sau exogene în solurile contaminate pentru a stimula degradarea de poluanți organici prezenți în sol).

b.2. Bioaugmentation represents the process of growing quantities of underground bacteria and requires the insertion of nutrients and electrons acceptors at this level [5].

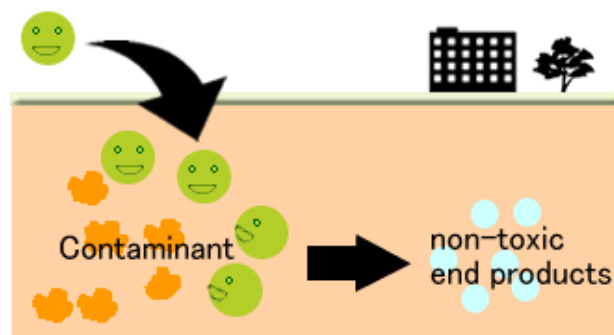
Bioaugmentation is used when it is necessary the urgent treatment of a contaminated area, or when the micro flora present is not enough as number or decomposition capacity. It consists of adding living microorganisms which are capable of decomposing the respective pollutant, in order to speed the bio decomposition, and it is shown in Figure 3. The quantity of microorganisms used depends of the:

- size of the contaminated area;
- dispersion of the pollutants;
- growth speed of the decomposing microorganisms [1], [9].

b.2. Biocreșterea reprezintă procesul de creștere a cantității de bacterii din subsol și necesită introducerea la acest nivel a unor nutrienți și acceptori de electroni [5].

Biocreșterea se utilizează când este necesar tratamentul imediat a unui sit contaminat, sau când microflora autohtonă este insuficientă ca număr sau capacitate de degradare. Constă în adăugarea de microorganisme vii, care au capacitatea de degradarea a poluantului în cauză, pentru accentuarea biodegradării, aceasta este reprezentată în Figura 3. Cantitatea de microorganisme utilizată depinde de:

- mărimea zonei contaminate;
- dispersia poluanților;
- viteza de creștere a microorganismelor degradatoare [1], [9].



Figures 3. Schematic representation of bioaugmentation [7]

Bioaugmentation is known for cleaning the soils contaminated with herbicides, insecticides, oil hydrocarbons and for cleaning wastes with high concentrations of metals.

Before applying on an area, must be made growth cultures of microorganisms capable of metabolizing with, or use the pollutant as carbon source and to grow until obtaining big quantities of biomass.

Industrial bioremediation is based on acceleration of the biodegradation process, altogether with reactions of microorganisms' growth, and on optimizing the soil in which the organisms must establish detoxifying reactions. A critical factor in deciding if random bioremediation is advisable as a cure for an area is if the pollutants are responsive to the decomposition made by microorganisms present in the respective soil (or by microorganisms later successfully added in the area). Although there are microorganisms which can detoxify a vast range of pollutants, some compounds are much easier to be de-composed. Generally, the easiest compounds to be de-composed are oil hydrocarbons, but the technologies for growth stimulation in order to de-

Aplicații ale biocreșterii sunt cunoscute în tratarea solurilor contaminate cu erbicide , insecticide, hidrocarburi de petrol și pentru tratarea deșeurilor cu concentrații relativ mari de metale.

Înainte aplicării pe un sit, trebuie să se realizeze culturi de creștere a microorganismelor capabile să cometabolizeze sau să utilizeze poluantul ca sursă de carbon și să le cultive până la obținerea unor cantități mari de biomasă.

Bioremedierea industrială se bazează pe accelerarea dorită a biodegradării cu reacții de încurajare a creșterii microorganismelor, precum și prin optimizarea mediului în care organismele trebuie să îndeplinească formalitățile de detoxifiere. Un factor critic în a decide dacă este oportună bioremedierea aleatorie, remediu pentru un sit este dacă contaminanții sunt sensibili la biodegradare de către organisme din situl (sau de organisme care ar putea fi adăugat cu succes pe site-ul). Deși există microorganisme care pot detoxifia o vastă gamă de contaminanți, unii compuși sunt mult mai ușor de degradat. În general, compușii cei mai ușor de degradat sunt hidrocarburi de petrol, dar tehnologiile pentru stimularea creșterii de organanisme pentru a

composed are oil hydrocarbons, but the technologies for growth stimulation in order to decompose a wide range of other pollutants are currently being developed and were successfully tested in the field. The opportunity of a bioremediation area depends not only on the pollutants biodegradability, but also on the geological and chemical characteristics of the area [10-14].

The key characteristics of the area for industrial bioremediation are:

- surface permeability of the underground environment;
- concentration of polluted substances, in an area of small size (less than 10000 mg/kg of soil) [5].

3. Conclusion

Bioremediation is an especially attractive alternative because it is potentially less costly than conventional cleanup methods, it shows promise for reaching cleanup goals more quickly than pump-and-treat methods, and it results in less transfer of contaminants to other media. However, bioremediation presents a unique technological challenge. The combination of the intricacies of microbial processes and the physical challenge of monitoring both microorganisms and contaminants in the subsurface makes bioremediation difficult to understand. As the limitations of conventional ground water and soil cleanup technologies become more apparent, research into alternative cleanup technologies will intensify.

As a conclusion, "in situ" bioremediation is a complete technology for which the full potential has not been reached.

degrada o gamă largă de alți contaminanți sunt în curs de apariție și au fost testate cu succes în domeniu. Oportunitatea unui sit pentru bioremediere depinde nu numai de biodegradabilitatea contaminantului, ci și de caracteristicile geologice și chimice ale sitului [10-14].

Caracteristicile cheie ale sitului pentru bioremedierea industrială, sunt:

- permeabilitate de suprafață a mediului subteran;
- concentrația în substanțe poluante, în zona de suprafață relativ scăzută (mai puțin de 10000 mg / kg de substanță uscată) [5].

3. Concluzii

Bioremedierea este o alternativă atrăgătoare în special pentru că este mai puțin costisitoare decât metodele convenționale de curățare, aceasta promite atingerea obiectivelor mult mai rapid decât metoda de tratare și pompare și are ca rezultat, un transfer de contaminanți mai mic de la alte mijloace. Cu toate acestea, bioremedierea prezintă o provocare tehnologică unică. Această asociere intrinsecă de procese microbiene și fizice provoacă monitorizarea atât a microorganismelor cât și a contaminanților în subteran făcând bioremedierea greu de înțeles. Ca și în limitele convenționale ale apelor subterane și a solului curatate, tehnologiile devin mai evidente, iar cercetarea în tehnologii alternative de curățare se vor intensifica.

În concluzie, bioremedierea "in situ" este o tehnologie completă al cărui potențial nu a fost realizat.

References

- [1] Micle V., Neag G., *Procedee și echipamente de depoluarea solului și a apelor subterane*, Editura UT PRESS, Cluj-Napoca, 2009.
- [2] Neag G., *Depoluarea solurilor și apelor subterane*, Editura Casa cărții de știință, Cluj - Napoca, 1997.
- [3] ***ADEME, *Traitement biologique des sols pollués: recherche et innovation*, Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par l'ADIT - Société Nationale d'Intelligence, Stratégique Coordination technique: Frédérique CADIERE - Département Sites et Sols Pollués – Direction Déchets et Sols - ADEME (Angers), Février 2006, <http://www.ademe.fr>.
- [4] Dineen D., Slater P. J., Hicks P., Holland J. and Clendening L. D., 1989, *In situ Biological Remediation of Petroleum Hydrocarbons in Unsaturated Soils, Petroleum Contaminated Soils, vol. 3, Chelsea Mich.*
- [5] ***, Committee on In Situ Bioremediation, National Research Council, *In Situ Bioremediation: When Does it Work?*, National Academy Press, Washington, D.C., 1993.
- [6] Hart Stephen, 1996, *In Situ Bioremediation: Defining the Limits*, Environmental Science, Vol. 30, No.9.
- [7] Marinov Anca Marina; Dumitran Gabriela Elena; Diminescu Mihaela Amalia, *Monitorizarea apelor subterane și remedierea acviferelor*, Editura Politehnica Press, București, 2007.

- [8] ***, Raportul științific și tehnic al proiectului *Tehnologie inovativă de remediere a solurilor contaminate prin activitățile specifice industriei metalurgice* - acronim Resolmet- etapa I 2008.
- [9] ***, Seminar CEEEX – ERPISA 14, *Metode neconvenționale de reducere a unor contaminanți prezenți în medii natural*, Decembrie 2006.
- [10] Dorota Wolicka, Agnieszka Suszek, Andrzej Borkowski, Aleksandra Bielecka, *Application of aerobic microorganisms in bioremediation in situ of soilcontaminated by petroleum products*, *Bioresource Technology* 100 (2009) 3221–3227, Contents lists available at ScienceDirect *Bioresource Technology* journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech.
- [11] Todd A. Martin, Michael V. Ruby, *Review of In Situ Remediation Technologies for Lead, Zinc, and Cadmium in Soil*, *Remediation Summer*, 2004.
- [12] Irina-Ramona Pecingină, Roxana-Gabriela Popa, Maria Călinoiu, *In situ bioremediation technologies of polluted soils, annals of the Oradea University*, Fascicle of Management and Technological Engineering, vol. VII (XVII), 2008
- [13] Groudev S.N., Georgiev P.S., Komnitsas, K., (2001), *In situ bioremediation of a soil contaminated with heavy metals and arsenic*, în Leeson, A., Peyton, B.M., Means, J.L., Magar,
- [14] *** Symposium, 2001, *Bioremediation of Inorganic Compounds: The Sixth International in Situ and On-Site Bioremediation Symposium*, San Diego-California, vol. 6 (9), p. 97-103.