

## LUCRAREA NR. 8

### TEHNICI DE REMEDIERE

#### 8.1. Introducere

La ora actuală, atenția specialiștilor implicați în domeniul depoluării straturilor acvifere este îndreptată tot mai mult spre tehnicile de remediere *in situ*. Aceasta se datorează costurilor relativ scăzute de implementare și operare, dar și a siguranței în exploatare.

În ultimele două decenii, pentru tratarea apei și mediului subteran, s-au dezvoltat mai multe astfel de tehnici, la baza cărora stau procese fizice, chimice și biologice.

Datorită complexității fenomenelor desfășurate în cadrul remedierii acviferelor, nu se poate face o demarcare clară a acestora. Cu toate acestea, însă, unele tehnici de decontaminare mizează pe descompunerea poluantului ca urmare a unui proces principal, care în asociere cu alte procese secundare, de natură diferită, duc la depoluarea amplasamentului (Alboiu, N.I., 2010).

#### 8.2. Tehnici de remediere bazate pe procese biologice

Aceste tehnici mizează ca element principal pe capacitatea populațiilor microbiene aflate în subteran de a degrada o serie de contaminanți. Procesul este denumit bioremediere și reprezintă transformarea prin intermediul microorganismelor a poluanților organici în substanțe anorganice inofensive, în general în dioxid de carbon și apă.

La ora actuală, există dezvoltate o serie de soluții atât pentru remedierea zonei saturate, cât și a celei nesaturate, cele mai utilizate dintre acestea fiind prezentate în continuare. Trebuie menționat, însă, că în literatura de specialitate, prin **bioremediere** sunt desemnate, uzual, tehnicile de decontaminare aplicate zonei saturate, termenul fiind adoptat cu același înțeles în prezenta lucrare (Bica, I., 1998).

##### 8.2.1. Bioremedierea

În esență, tehnica bioremedierii constă în accelerarea proceselor de degradare naturală prin alimentarea zonelor poluate cu oxigen sau alți acceptori de electroni, nutrienți și în unele cazuri chiar cu microorganismele.

Ca urmare a condițiilor locale, în cazul anumitor amplasamente microorganismele existente în subteran sunt capabile să biodegradeze hidrocarburile și alți compuși organici prezenți în mod natural precum: amidonul, zaharidele și aminoacizii.

Atlas (1975) a arătat că microorganismele care pot descompune hidrocarburile sunt omniprezente. Cu toate acestea, în cazul poluanților de tipul hidrocarburilor aromatice și a celor heterociclice sunt necesare microorganismele specializate (Fetter, C.W., 1993).

Aportul de microorganismele specializate pentru degradarea unui anumit tip de poluant se numește **bioaugmentare**.

Există situații în care procesele naturale sunt suficiente pentru a remedia poluarea acviferului respectiv. Cu toate acestea, prin aportul extern de nutrienți și/sau oxigen, în multe cazuri este posibil să se mărească și capacitatea de degradare a microorganismelor existente, astfel încât acestea să descompună cu eficiență sporită poluanții de tip organic.

În unele situații, este necesar ca pentru dezvoltarea culturii bacteriene înainte de începerea procesului de metabolizare să fie necesară adaptarea microorganismelor la poluant.

Timpul necesar derulării procesului este necunoscut. Cantitatea de nutrienți, oxigenul prezent în subteran, pH-ul și temperatura influențează viteza de metabolizare și implicit de transformare a compușilor organici.

În cazul proceselor aerobe ca acceptori de electroni se utilizează aerul, oxigenul pur în fază gazoasă sau lichidă și peroxidul de hidrogen.

Barbotarea apei subterane cu aer sau oxigen pur poate asigura, în funcție de temperatură, o cantitate suplimentară de 8 — 40 mg/litru din acest acceptor de electroni.

Peroxidul de hidrogen poate fi utilizat cu rezultate mult mai bune decât oxigenul, dar este mai scump și poate fi toxic pentru unele microorganisme atunci când se află la valori mai mari de 100 ppm. Din această cauză, nu poate fi aplicat în orice situație (Bedient, P.B. s.a., 1994).

Anterior demarării proceselor de bioremediere, necesarul de nutrienți pentru microorganismele prezente în mod natural este determinat prin analize de laborator.

Pentru o cât mai bună determinare a proceselor biologice ce se pot desfășura în amplasament, studiile de laborator trebuie să redea cât mai exact condițiile reale din teren. Dacă se dorește remedierea apei subterane, testele se vor face pe probe saturate, prelevate din amplasament.

În cazul remedierii fazei solide a acviferului, studiul se va efectua pe probe nesaturate.

În cazul poluării datorate substanțelor din categoria NAPL, înaintea demarării proceselor de bioremediere este necesară îndepărtarea fazei libere cantonate la suprafața apei subterane.

În figura 8.1 este prezentată tehnologia de bioremediere *in situ*. În cazul unei poluări reziduale mari, pentru stimularea proceselor de biodegradare deasupra nivelului apei subterane trebuie introdus un aport de nutrienți care poate fi asigurat prin injecție directă sub zona stratului vegetal. Pentru aceasta, se execută un canal de infiltrație amplasat deasupra zonei poluate. Acesta va fi alimentat periodic cu apă aerată ce conține nutrienții necesari desfășurării proceselor de biodegradare. Între perioadele de alimentare, canalul trebuie să fie uscat, astfel încât oxigenul să poată difuza în subteran.

Nutrienții vor fi transportați în subteran spre zona saturată, contribuind la obținerea condițiilor necesare creșterii populației bacteriene și, implicit, la îndepărtarea contaminantului. Apa pompată din puțurile de extracție poate fi descărcată sau recirculată prin intermediul unor puțuri de injecție sau a canalelor de infiltrație.

Factorii care influențează eficiența proceselor de bioremediere sunt multipli. Un prim factor care reduce aplicabilitatea acestei tehnici îl constituie structura hidrogeologică a acviferului. Straturile geologice eterogene împiedică injectarea uniformă a acceptorilor de

electroni și a nutrienților, astfel că activitatea microbiană va fi mai redusă în zonele mai puțin permeabile.

Neuniformitatea granulometriei mediului permeabil, tipul de sol ca și permeabilitatea acestuia la aer și apă reprezintă caracteristici importante care afectează esențial procesul aerob de degradare. Mediile cu permeabilitate mai mare de  $10^{-4}$  cm/s sunt considerate ca favorabile pentru aplicarea bioremedierii. Prezența în mediul subteran în cantitate mare a materiilor organice de descompunere (de exemplu, turba) conduce la creșterea necesarului de oxigen, reducând astfel oxigenul disponibil. Pentru zona nesaturată, umiditatea joacă un rol important, permițând reducerea sau, uneori, determinând inhibarea proceselor biologice.

Condițiile favorabile aplicării bioremedierii ca metodă de depoluare se situează din punctul de vedere al umidității între valorile de 25 % și 85 %.

Procesele de bioremediere pot fi realizate optim la valori ale indicatorului pH situate în intervalul 6,5 - 8,5. Astfel, acest parametru poate constitui un factor limitativ în aplicarea biodegradării ca metodă de depoluare. Temperatura joacă, de asemenea, un rol important în ritmul de desfășurare a biodegradării, cât și în ceea ce privește eficiența acesteia. Valoarea optimă a acestui parametru se situează între  $15^{\circ}\text{C}$  -  $45^{\circ}\text{C}$ .

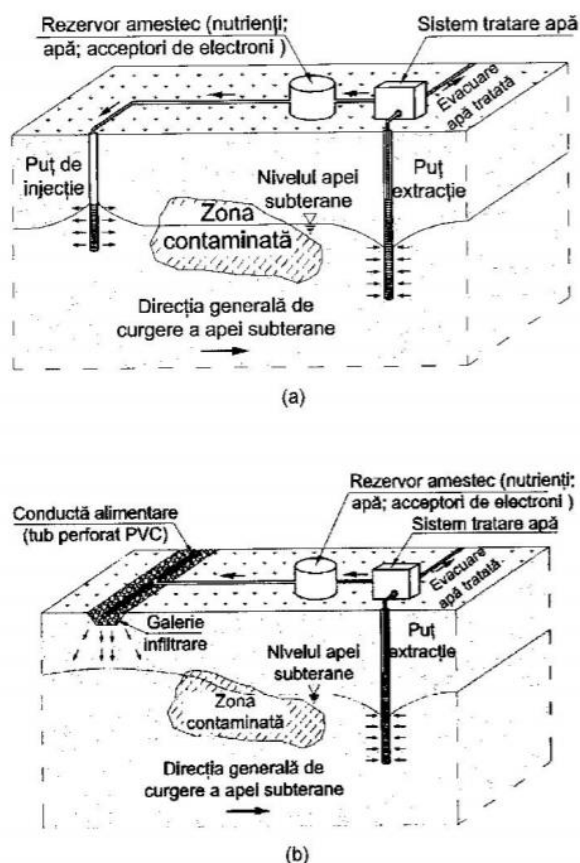


Fig. 8.1. Scheme clasice de aplicare ale tehnologiei de bioremediere: (a) — sistem de bioremediere prevăzut cu puțuri de extracție și injecție; (b) - sistem de bioremediere prevăzut cu galerie de infiltrare și puțuri de extracție (Sursa: Alboiu, N.I., 2010)

Etapile principale ce trebuie urmate în cadrul programelor de bioremediere *in situ* cuprind:

1. investigarea amplasamentului;
2. recuperarea poluantului liber;
3. evaluarea fenomenelor de biodegradare și a posibilităților existente pentru intensificarea acestui tip de procese;
4. proiectarea sistemului;
5. realizarea și funcționarea sistemului;
6. întreținerea și monitorizarea sistemului;

Anterior demarării acțiunilor de remediere, este important să se stabilească extinderea poluării, direcția și debitul curentului subteran, adâncimea la care se găsește apa subterană și zona poluată, volumul specific de apă cedat de acvifer și eterogenitatea pământului. Suplimentar, trebuie să se țină seama de elemente precum legăturile dintre acvifere, potențialele zone de alimentare sau extracție, și variațiile sezoniere ale nivelului apelor subterane.

Un factor important de care trebuie să se țină cont, este valoarea debitului ce poate fi extras din acvifer. Aceasta restricționează cantitatea de apă vehiculată în sistem în timpul procesului de bioremediere.

După definirea condițiilor hidrogeologice, este necesar să se realizeze recuperarea poluantului liber.

Poluantul pur poate fi îndepărtat prin sisteme de pompare cu o singură pompă, rezultând în urma pomparii apă și hidrocarburi sau un sistem cu două puțuri și două pompe, care mărește gradientul hidraulic și recuperează hidrocarburile acumulate.

Acestea au fost deja descrise în lucrările anterioare.

Creșterea eficienței acestei metode poate fi obținută prin aplicarea asociată cu alte tehnici, cum ar fi recuperarea compușilor în fază pură înainte de începerea bioremedierii, pomparea și tratarea, barbotarea cu aer, ventilarea mediului subteran (Alboiu, N.I., 2010).

### **8.2.2. Tehnici bazate pe volatilizarea poluanților de natură organică**

Procesul de volatilizare reprezintă trecerea substanțelor chimice din stare lichidă în stare gazoasă.

Tehnicile de remediere bazate pe acest proces presupun realizarea unor condiții favorabile transformării poluanților din faza lichidă, incluzându-i și pe cei dizolvați, în fază de vapori.

Ca urmare a permeabilității mult mai mari a acviferului la vapori decât la lichide, poluanții prezenți în fază gazoasă sunt mult mai ușor îndepărtați decât cei în fază lichidă, fapt ce ușurează extragerea lor din acvifer.

Prezența în mediul subteran a compușilor organici volatili (COV) a fost confirmată în multe amplasamente contaminate.

Odată ajunși în subteran, acești compuși se separă în două faze, și anume: faza lichidă și cea gazoasă. Astfel, faza lichidă migrează spre zona saturată, iar vaporii spre suprafața terenului, cantonându-se în zona nesaturată.

Dacă poluantul este un compus NAPL volatil, atât din faza adsorbită pe matricea solidă a acviferului, cât și din cea mobilă vor continua să treacă în fază de vapori diverse substanțe a căror prezență va afecta zona nesaturată.

Vaporii astfel rezultați migrează prin pământ, putându-se acumula în subsolurile construcțiilor din amplasamentul afectat de poluare, aducând astfel o serie de prejudicii locuitorilor din zona respectivă. Pentru evitarea unor astfel de situații sunt luate o serie de măsuri, una dintre acestea fiind puțurile destinate extracției vaporilor din subteran.

În ceea ce privește concentrația unui poluant sub formă de vapori, aceasta poate fi estimată cu ajutorul legii lui Fick, exprimată sub forma:

$$C_{est} = \sum_i \frac{x_i P_i^v M_{w,i}}{RT} \quad (8.1)$$

unde:  $C_{est}$  – concentrația estimată a poluantului în stare de vapori (mg/litru);

$x_i$  – fracția molară a componentei “i” în fază lichidă (-);

$P_i^v$  – presiunea vaporilor componentei “i” la temperatură T (atm);

$M_w$  – greutatea moleculară a componentei “i” (mg/mol);

$R = 0,0821 \text{ l x atm/mol (K)}$  – constanta gazului;

$T$  – temperatura absolută (K).

Concentrația poluantului scade în timp, o dată cu adsorbția acestuia pe fază solidă. De asemenea, și concentrația vaporilor înregistrează o variație descrescătoare (Delleur, J.W. s.a., 1999).

Sistemele pentru aspirația vaporilor din mediul subteran, întâlnite în literatura străină de specialitate ca SVE (Soil Vapor Extraction), reprezintă una dintre cele mai eficiente tehnici de recuperare a compușilor organici volatili (COV) și semi-volatili (COSV).

Tehnica SVE mai este cunoscută și sub o serie de alte denumiri, precum aspirație vacuumetrică, aerarea solului, volatilizarea *in situ*, ventilarea solului etc.

Soluția este aplicabilă în zona nesaturată. Această tehnologie este implementată cu o minimă perturbare a zonei, în multe cazuri fiind posibilă continuarea desfășurării activităților specifice din amplasament.

Comparativ cu alte tehnologii, SVE permite tratarea unor volume mari de pământ poluat la costuri relativ scăzute.

Prin reducerea concentrației poluanților organici volatili din zona nesaturată, SVE reduce implicit riscul potențial privind transportul vaporilor în zone aflate în afara ariei contaminate inițial.

De asemenea, se diminuează riscul spălării acestor poluanți de către apele de precipitații și, implicit, transportul lor spre zona saturată (Bica, I., 1998).

Aspirația vaporilor este aplicabilă în cazul poluanților a căror presiune a vaporilor se situează în general la valori mai mari de  $110^\circ$  atm în condiții de temperatură specifică mediului subteran.

Estimări asupra extragerii vaporilor pot fi făcute prin înmulțirea valorii  $C_{est}$  determinată cu relația (8.1) cu debitul de aer (Q) (Delleur, J.W. s.a., 1999).

Verificarea corectitudinii estimărilor făcute privind debitele de vapori poate fi efectuată prin consultarea diagramelor prezentate în figura 8.2:

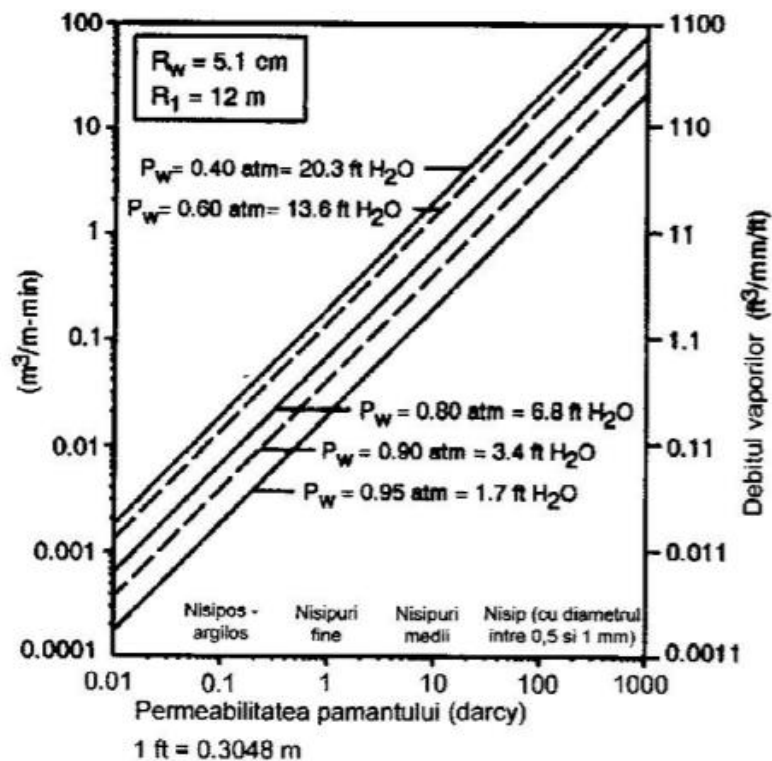


Fig. 8.2. Estimarea debitelor de vapori pe unitatea de coloană de puț, în cazul unor domenii de permeabilitate și presiuni vacuometrice ( $P_w$ ) date (Sursa: Delleur, J.W. s.a., 1999)

În unele cazuri, ca urmare a modificării poziției suprafeței libere a apei, fapt datorat eliminării poluantului în fază lichidă, pot exista cantități semnificative de contaminant rezidual adsorbit pe particule solide situate la mică adâncime sub suprafața liberă a apei.

În această situație, aplicarea extracției asociate fază gazoasă — fază lichidă mărește eficiența procesului de depoluare. Astfel, la depresionarea suprafeței libere a apei subterane, poluarea reziduală poate fi eliminată folosind tehnici pentru aspirația vaporilor.

Tehnicile de aspirație a vaporilor pot fi utilizate și pentru îndepărtarea stratului flotant format din hidrocarburi cu volatilitate foarte mare.

În cazul acestora, este recomandată extracția în fază de vapori în locul celei în fază lichidă.

Prin vaporizarea poluantului se încearcă menținerea echilibrului între faza gazoasă și faza lichidă, raport stabilit înainte de aplicarea măsurilor de remediere a acviferului.

Procesul trebuie asigurat până când întreaga masă de poluant aflată în fază lichidă în zona cu permeabilitate ridicată este îndepărtată.

Pentru realizarea practică a sistemelor de aspirație a vaporilor din mediul subteran sunt folosite următoarele construcții, echipamente și instalații:

- puțuri sau drenuri de aspirație;
- sisteme pentru injectarea aerului în subteran;
- membrane de impermeabilizare;
- echipamente de vacuum;
- conducte de transport;
- aparatură de măsură și control;
- instalații de tratare a vaporilor aspirați.

### ***Puțuri de aspirație și ventilare***

Sistemele pentru extracția vaporilor pot fi realizate utilizând puțuri asemănătoare celor folosite pentru pomparea apei, forate însă în zona nesaturată.

Din punct de vedere constructiv, primii 1,5 m ai puțului sunt realizați dintr-o coloană oarbă pozată în mortar de ciment, urmată de o coloană perforată, în jurul căreia se precede un filtru de pietriș cu rolul de a asigura o circulație bună a aerului spre puț.

În asociere cu puțurile de extracție, sistemul de aspirație a vaporilor utilizează și puțuri de ventilare. Astfel, prin introducerea de aer se va crea un curent orizontal prin zona contaminată.

Modul de circulație a aerului spre puțurile de extracție a fost studiat prin măsurători directe și prin modelare matematică și experimentală.

Majoritatea cercetărilor teoretice desfășurate până în prezent au considerat că diferențele de densitate a vaporilor pot fi neglijate în comparație cu forțele convective create ca urmare a extracției.

Puțurile de ventilare asigură o cale de minimă rezistență favorizând, astfel, circulația aerului în întreg volumul de pământ ce trebuie remediat.

Acestea sunt realizate în același mod ca și puțurile pentru extracția vaporilor, diferența constând în faptul că nu sunt cuplate la un sistem de aspirație, fiind lăsate libere în atmosferă.

Pentru a preveni pătrunderea în subteran a apei din precipitații sau a unor substanțe ce pot prejudicia calitatea mediului sau buna funcționare a sistemului, la partea superioară, puțurile de ventilare au prevăzut un cot sub formă de “U”, cu deschiderea orientată în jos (figura 8.3).

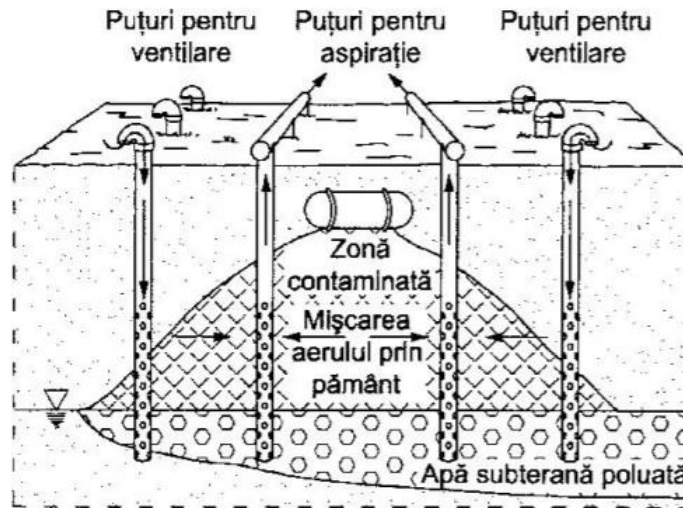


Fig. 8.3. Aplicarea sistemului de extracție a vaporilor (Sursa: Fetter, C.W., 1993)

În cazul în care nu se utilizează puțuri de ventilare, debitul extras trebuie să varieze pentru a se elimina posibilitatea apariției zonelor de stagnare ce se formează între puțuri.

În practică, cel mai frecvent, sistemele SVE sunt realizate în combinație cu puțuri pentru depresionarea nivelului apei subterane, astfel încât puțurile aferente SVE să aspire doar vapori.

Numărul și poziția puțurilor de aspirație sunt elemente specifice amplasamentului și depind de o mulțime de factori, precum: mărimea zonei poluate, proprietățile fizice și chimice ale poluantului, tipul și caracteristicile mediului subteran poluat (în special permeabilitatea la aer), adâncimea la care se situează zona poluată, discontinuitățile mediului subteran, raza de influență a puțurilor etc.

Pentru determinarea acestor factori și pentru optimizarea dimensionării sistemului de aspirație sunt folosite, de regulă, calcule teoretice, dar și măsurători *in situ* pe instalații pilot.

### ***Drenuri / galerii orizontale***

În cazul în care apa subterană se găsește la o cotă apropiată de suprafața terenului, pentru extracția vaporilor se folosesc sisteme orizontale de aspirație (figura 8.4).

Liniile de aspirație trebuie poziționate astfel încât să alterneze cu cele de ventilație. Sistemul este proiectat de așa manieră încât o linie poate fi utilizată fie pentru extracție, fie pentru ventilare, fapt ce mărește utilitatea funcțională a sistemului.



Indiferent de sistemul ales (cu puțuri sau drenuri/galerii), acestea trebuie să aibă în alcătuire o conductă colectoare ce trebuie cuplată la o pompă de vacuum.

Pentru înlăturarea riscului de poluare a atmosferei, aerul și vaporii extrași sunt trecuți printr-un filtru de cărbune activ.

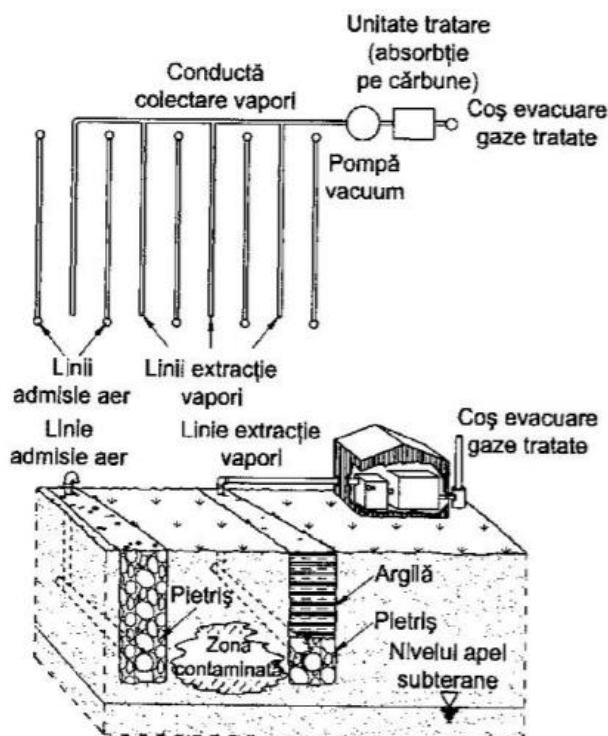


Fig. 8.4. Aplicarea sistemelor orizontale de extracție a vaporilor  
(Sursa: Fetter, C.W., 1993)

### ***Membrane de impermeabilizare***

Izolarea puțurilor de aspirație este un element esențial pentru evitarea antrenării în subteran, pe lângă coloana acestora, a aerului atmosferic. În acest scop, sunt prevăzute membrane ce au rolul de a forța aerul atmosferic să pătrundă în zone mai îndepărtate, realizându-se astfel aerarea unui volum maimare de pământ.

Membranele impermeabile previn și infiltrațiile din precipitații, reducând cantitatea de apă extrasă de sistemul SVE. Alegerea membranelor depinde de caracteristicile zonei. Pentru realizarea lor sunt folosite o serie de materiale flexibile impermeabile.

### ***Separatoare apă — aer***

Vacuumul creat de puțurile de aspirație în zona nesaturată determină ridicarea nivelului apei subterane, aceasta putând fi antrenată în sistem o dată cu vaporii aspirați. Acest lucru

impune necesitatea unui separator apă-aer prevăzut înaintea instalațiilor pentru tratarea vaporilor.

Eliminarea acestui neajuns se face, așa cum s-a menționat anterior, cu ajutorul puțurilor de pompare pentru depresionarea nivelului apei subterane. Acestea sunt amplasate în vecinătatea puțurilor de aspirație și au prevăzut un sistem de separare apă aer.

### **Tratarea vaporilor**

În funcție de tipul și concentrația poluanților, produsele rezultate prin condensare pot constitui substanțe periculoase. În acest caz, ele trebuie tratate ca atare, luându-se toate măsurile necesare protejării atmosferei.

### **8.2.3. Tehnici asociate pentru eliminarea compușilor organici volatili**

Pentru îndepărtarea din subteran a compușilor organici volatili au fost create tehnici de fuziune bazate atât pe procesele biologice de degradare a poluantului, cât și pe volatilizarea acestuia (Bica, I., 1998).

În funcție de zona în care se găsește cantonat poluantul, la ora actuală, sunt aplicate cu precădere două astfel de tehnici: **bioventilarea** și **aerarea zonei saturate (barbotarea cu aer)**.

**Bioventilarea** este aplicată pentru eliminarea prin procese biologice a poluanților organici adsorbiți pe matricea solidă a mediului permeabil în zona nesaturată.

Mecanismul de remediere se bazează pe creșterea activității microorganismelor existente în mediul subteran și stimularea biodegradării poluanților prin injectarea unei cantități de nutrienți și, în unele cazuri, chiar și a unui debit de aer (fig. 8.5).

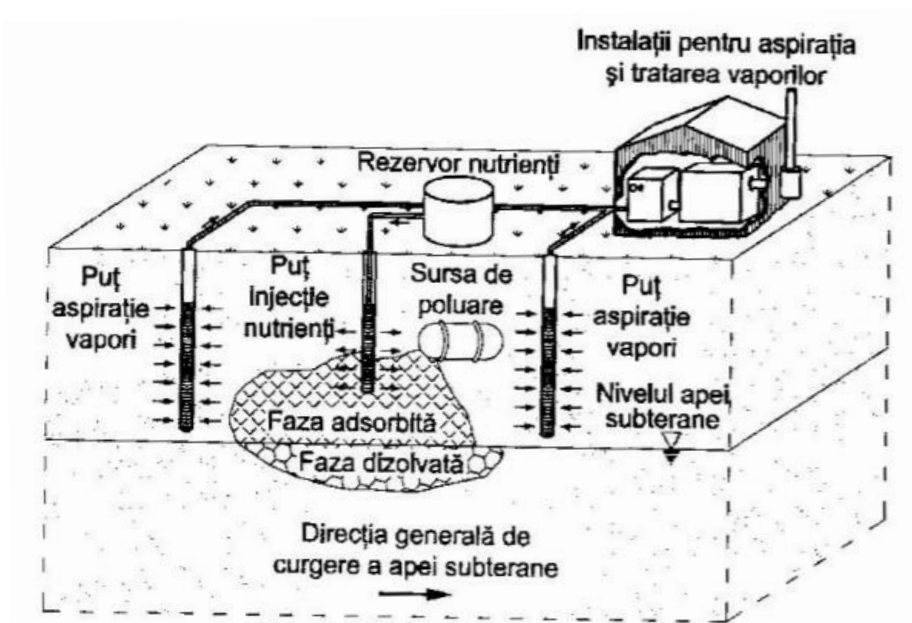


Fig. 8.5. Aplicarea tehnicii de bioventilare (Sursa: Alboiu, N.I., 2010)

Pe lângă degradarea poluanților organici adsorbiți, bioventilarea contribuie și la degradarea COV, pe măsură ce vaporii acestora migrează în zona biologic activă.

Bioventilarea poate fi folosită pentru tratarea oricăror poluanți aerob biodegradabili, dar rezultatele cele mai bune au fost obținute pentru degradarea hidrocarburilor petroliere de greutate medie: solvenți clorurați, carburanți diesel și kerosen.

Substanțele mai ușoare tind să volatilizeze rapid și pot fi eficient recuperate cu ajutorul sistemelor pentru aspira(ia vaporilor (SVE).

Poluanții mai grei necesită o perioadă de timp mai lungă pentru a fi biodegradați, făcând bioventilarea mai puțin eficientă.

Această tehnică este utilă în cazul în care nu se poate realiza excavarea solului, situație întâlnită în cazul zonelor construite sau atunci când volumul de pământ afectat este situat la adâncime mare.

Bioventilarea este ușor de aplicat în cazul pământurilor permeabile. Acestea facilitează formarea curenilor de aer, esențiali în obținerea remedierii.

Umiditatea ridicată a solului inhibă migrația aerului, reducând, astfel, eficiența tehnologiei. De reținut este faptul că, atunci când injectarea nutrienților se face în soluții apoase, aceasta va determina creșterea umidității solului.

Avantajul major al bioventilării constă în faptul că permeabilitatea la aer a solului este cu 2...3 ordine de mărime mai mare decât permeabilitatea la apă (Bica, I., 1998).

***Aerarea zonei saturate (barbotarea cu aer)*** este foarte asemănătoare bioventilării, în acest caz, însă, se acționează asupra zonei saturate. Depoluarea prin barbotare implică introducerea unui curent de aer în acviferul poluat și dirijarea acestuia ascendent prin zona cu apă contaminată spre suprafața solului.

În timpul procesului de aerare, bulele de aer introduse în subteran în zona saturată determină transferarea poluanților din faza dizolvată sau adsorbită, în vaporii. Curentul de aer trebuie captat printr-un sistem de aspirație a vaporilor și introdus într-o instalație de tratare. Aspirația este realizată cu ajutorul sistemelor SVE.

Mecanismele care stau la baza decontaminării în cazul aplicării acestei tehnici sunt de natură fizică și biologică. Compușii volatili dizolvați trec în aer conform legii lui Henry. Compușii volatili LNAPL aflați în fază pură vor volatiliza, de asemenea, în curentul de aer.

Ca urmare a creșterii conținutului în oxigen din zona saturată, barbotarea favorizează și biodegradarea aerobă (fig. 8.6).

Compușii organici volatili reprezintă poluanții care răspund optim mecanismelor acestei tehnici de tratare, barbotarea cu aer fiind astfel recomandată pentru tratarea compușilor organici ușori, cum ar fi benzenul, toluenul, etilbenzenul și xilenul (complexul BTEX).

Această metodă este mai puțin aplicabilă compușilor grei de tipul carburanților diesel sau kerosenului.

La ora actuală, fenomenul fizic de circulație a aerului în zona saturată este puțin cunoscut, fapt ce limitează efectuarea unor prognoze asupra performanțelor sistemului de barbotare.

Din acest motiv, decizia de amplasare a puțurilor și distanța dintre acestea se face mai curând pe baza experienței acumulate decât prin calcul. Totuși, bazându-se pe studiile preliminare și datorită costurilor scăzute, aerarea poate constitui o soluție eficientă de remediere.

Pentru ca această tehnică să fie eficientă, masa poluantului adsorbit trebuie să fie transportată prin difuzie la interfața aer-apă, fenomen ce durează foarte mult.

Așa cum s-a menționat anterior, în vederea intensificării acestui proces, este recomandat ca sistemele de aerare să fie utilizate în asociere cu sistemele de aspirație a vaporilor care captează aerul provenit în urma barbotării.

Asocierea celor două tehnici elimină posibilitatea migrării vaporilor în atmosferă și de aici în afara amplasamentului.

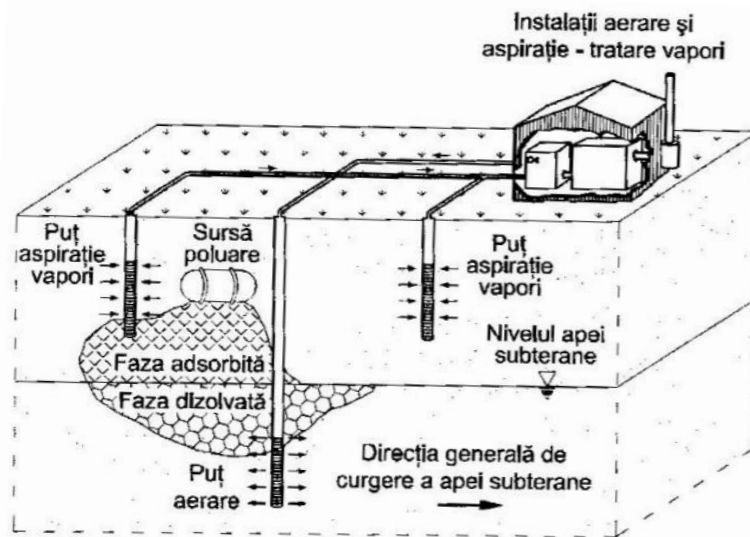


Fig. 8.6. Schema de principiu a aerării zonei saturate (*Sursa*: Alboiu, N.I., 2010)

Există două elemente care determină performanțele sistemului. Acestea pot fi urmărite prin monitorizare. Primul este introducerea aerului în subteran sub suprafața liberă a apei, lucru ce poate duce la modificări ale poziției acestuia, existând chiar posibilitatea modificării direcției de curgere.

Acest prim element poate fi urmărit prin monitorizarea zonei aerate pentru a confirma eventualele modificări produse. Al doilea element este legat de posibilitatea de migrare pe orizontală a gazelor provenite din aerare în zone mai permeabile, rezultând astfel extinderea pe direcție orizontală a poluării.

Prin monitorizare, se pot determina caracteristicile chimice ale vaporilor din zona adiacentă puțului de barbotare pentru a verifica dacă aceștia nu migrează în mod necontrolat în afara amplasamentului.

Utilizarea asociată a tehnicilor de aspirație a vaporilor și a barbotării contribuie la prevenirea migrării necontrolate a poluanților în faza gazoasă.

Avantajul esențial adus de sistemele SVE constă, însă, în controlul migrației frontului de gaz poluat, limitând, astfel, extinderea sa.

Eficiența aerării este dependentă de caracteristicile geologice ale zonei poluate și, totodată, de caracteristicile chimice ale poluantului.

Eficiența recuperării vaporilor este dependentă de parametrii sistemului de aerare, și anume:

- presiunea de injecție a aerului;
- numărul și distanța între puțurile de injecție;
- volumul de aer injectat;
- adâncimea de injecție;
- lungimea coloanei perforate.

În cazul recuperării compușilor organici volatili de tip NAPL, aerarea s-a dovedit mai eficientă decât pomparea. Aceasta se datorează rapidității transferului acestui tip de compuși în aer decât în cazul transferului în apă.

Datorită vâscozității mai mici a aerului, pomparea acestuia este mai eficientă și mai puțin costisitoare decât pomparea apei.