

***ERPISA***

***Analiza evoluției spațiale și temporale  
a calității apelor subterane***

**ing. Cătălin CONSTANTINOIU  
ICIM București**

# Importanta unei evaluari corecte a transportului si soartei contaminantilor in mediul subteran

*Obiective majore conexe legate de protectia calitatii apei subterane, in care evaluarea corecta a transportului si soartei contaminantilor in mediul subteran joaca un rol esential:*

- ❑ *Evaluarea impactului probabil datorat poluarii existente a apei subterane in puncte de captare sau deversare;*
- ❑ *Stabilirea de criterii pentru localizarea, proiectarea si desfasurarea activitatilor de depozitare finala a deseurilor pentru a preveni/stopa contaminarea apei subterane, sau migrarea contaminantilor catre puncte de captare sau deversare;*
- ❑ *Reglementarea producerii, folosirii si depozitarii finale a materiilor/substantelor chimice specifice care poseda un potential major, inacceptabil de contaminare a apei subterane, atunci cand acestea sunt eliberate in mediul inconjurator;*
- ❑ *Dezvoltarea de tehnici de remediere eficiente pentru protectia si reabilitarea calitatii acviferului (fara a incumba operatiuni complexe sau costisitoare nenecesare si fara restrictionarea arbitrara/neobligatorie a altor activitati de utilizare a terenului).*

Evaluarea corectă a transportului și soartei contaminanților în mediul subteran evita astfel un risc dublu pe care altminteri organismele de reglementare (agențiile de protecția mediului, etc) ar trebui să și-l asume:

- ❑ *Riscul unui control insuficient* care determină o prevenire și remediere inadecvată a poluării apei subterane;
- ❑ *Riscul unui supra-control* care ar induce măsuri de prevenire și reacții de combatere a poluării mai costisitoare și complexe decât este necesar.

## Complexitatea evaluării transportului și soartei contaminanților în mediul subteran

- *Dobândirea și utilizarea cunoștințelor despre transportul și soarta contaminanților în mediul subteran, deși esențială în abordarea obiectivelor sus-menționate, totuși, poate fi dificilă datorită complexității mediului subteran. Activitățile de caracterizare și remediere a mediului subteran pot fi utilizate pentru a ilustra această complexitate.*
- *Evaluarea transportului și soartei contaminanților în mediul subteran implică analize și interpretări interdisciplinare datorită faptului că procesele implicate în aceste activități sunt în mod natural conexe. Fiecare proces de transport trebuie văzut din punctul de vedere interdisciplinar cel mai general, și, pe lângă o bază conceptuală solidă, integrarea informațiilor despre aspectele geologice, hidrologice/hidraulice, chimice și biologice într-o evaluare eficientă a transportului poluantului, necesită date **acurate**, **precise** și corespunzătoare cu **scara** problematicei abordate.*



**acurat și precis**



**acurat și imprecis**



**precis și inacurat**



**inacurat și imprecis**

- In genere, s-a dovedit ca scara sitului pentru care trebuie realizata analiza spatio-temporala a evolutiei contaminarii din mediul subteran este esentiala atat in alegerea metodelor si instrumentelor de caracterizare, cat si pentru stabilirea valorilor unor parametri importanti ai modelelor matematice de evaluare, cum ar fi coeficientii de dispersivitate.
- Chiar daca un parametru dat, cum ar fi, de ex., conductivitatea hidraulica, poate fi masurat corect, totusi, este dificil de cunoscut in ce masura rezultatele respectivei masuratori sunt reprezentative pentru *distributia* de conductivitati dintr-o zona subterana. De aceea, in utilizarea unui model conceptual pentru interpretarea proceselor de transport ale poluantilor in mediul subteran, trebuie sa se acorde o importanta cu totul deosebita variatiei spatio-temporale a datelor colectate.
- Pentru a suplini numarul mare de masuratori si probe necesare in reducerea incertitudinilor legate de parametrii mediului subteran, exista in prezent in curs de dezvoltare diferite teorii complexe; totusi, adeseori datele cerute de aplicarea acestora nu sunt cu usurinta disponibile, implicand, de ex., cunoasterea coeficientilor de interactie chimica, a coeficientilor vitezelor de bidegradare, a permeabilitatilor relate ale substantelor nemiscibile cu apa etc. Prin urmare, studiile care analizeaza transportul si soarta poluantului implica in mod necesar un compromis intre teoriile sofisticate, limitarile curente in obtinerea datelor si constrangerile economice.

# Modelarea transportului contaminantilor in mediul subteran

Modelarea transportului contaminantilor in mediul subteran tine cont in general de urmatoarele aspecte care trebuie privite in conexiune:

1. Zona mediului subteran in care se studiaza transportul de poluant:
  - 1.1 Zona saturata (porii matricei solide subterane sunt umpluti 100% cu apa);
  - 1.2. Zona nesaturata (vadoasa) cuprinzand, de jos in sus: subzona franjelor capilare, subzona de retinere (intermediara) si subzona de evaportranspiratie.
2. Starea in care se gaseste poluantul in mediul subteran:
  - 2.1. In faza lichida libera (neamestecat cu apa), de ex., NAPL (**N**on-**A**queous-**P**hase-**L**iquids);
  - 2.2. In faza gazoasa; de ex., vaporii unor substante organice volatile, cum ar fi benzinele; aceasta faza se intalneste preponderent in zona nesaturata
  - 2.3. In faza dizolvata in apa subterana; aceasta stare prezinta o importanta deosebita din punct de vedere al extinderii poluarii, curgerea apei subterane facilitand raspandirea pe arii extinse a poluantului;
  - 2.4. In faza adsorbita pe matricea solida subterana; aceasta stare, alaturi de alte fenomene, prezinta o importanta deosebita din punct de vedere al remanentei poluarii - fenomenul de poluare reziduala, chiar si dupa ce anumite masuri de remediere au fost aplicate;
  - 2.5. In faza solida, sub forma de particule care pot include: bacterii, virusi, precipitati anorganici, materii organice naturale, fibre de azbest sau argile.



### 3. Procesele care controleaza transportul contaminantilor in mediul subteran:

#### 3.1. Procese de natura fizico-chimica, cum ar fi:

3.1.1. Advectia,

3.1.2. Dispersia determinata de dispersia mecanica si difuzia moleculara,

3.1.3. Reactii si procese ale compusilor organici: hidroliza, sorbtia-desorbtia, actiunea cosolventilor si ionizarea, volatilizare si dizolvare,

3.1.4. Reactii si procese ale compusilor anorganici: solubilitate si dizolvare, reactii de complexare, adsorbtie-desorbtie, reactii cu schimb de ioni, procese redox;

3.2. Procese de natura (micro)biologica. O clasificare esentiala se face dupa dependenta/independenta de a oxigen proceselor de metabolism microbial implicate in biodegradarea poluantului, existand astfel procese aerobe si procese anaerobe, dupa cum exista si bacterii facultativ aerobe sau anaerobe.

4. Proprietatile fizico-chimice ale poluantului: densitate, solubilitate in apa, coeficienti de partitie, etc; aceste aspecte vor fi reluate mai detaliat in continuare.

$$S_s \cdot \frac{\partial H}{\partial t} =$$

## Transportul poluantilor solubili in apa subterana

### Modelul matematic de circulatie a apei subterane in medii poroase permeabile

- Modelul matematic de circulatie a apei subterane in medii poroase permeabile consta din:
  - Ecuatia de circulatie a apei subterane;
  - Conditile la limita pentru ecuatia de circulatie a apei subterane.
- Ecuatia de circulatie a apei subterane se poate scrie sub forma:

$$S_s \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = \operatorname{div}(\overline{K} \cdot \operatorname{grad}H) + Q_a^*$$

□ unde:

- $S_s$  este coeficientul de inmagazinare specifica, care depinde de coeficientul de compresibilitate volumica al mediului poros prin diminuarea porozitatii,  $\alpha$ , si de coeficientul de compresibilitate al apei,  $\beta$ , de densitatea apei,  $\rho$ , si de porozitatea efectiva  $nd$ . In cazul mediilor poroase sub presiune:  $S_s = \rho g(\alpha + nd\beta)$ . In cazul mediilor poroase cu suprafata libera  $S_s = nd/a$ , unde "a" este grosimea acviferului.
- $H$  este potentialul/sarcina hidraulica:  $H = z + p/(\rho g)$ ;
- $\overline{K}$  este tensorul permeabilitate;
- $Q_a^*$  este debitul distribuit pe unitatea de domeniu;



Pentru rezolvarea ecuației de circulație a apei subterane, adică pentru determinarea potențialului hidraulic  $H=H(x,y,z,t)$  este necesară cunoașterea condițiilor la limită, adică a condițiilor de margine/frontiera și a condițiilor initiale

Condițiile de margine, pot fi de următoarele tipuri:

a) *potențiale hidraulice impuse (condiții Dirichlet)* pe porțiunea  $\partial D_1$  a frontierei  $\partial D$  a domeniului:

$$H(x,y,z,t) |_{\partial D_1} = H^*(x,y,z,t)$$

b) *debite impuse (condiții Neumann)* pe porțiune  $\partial D_2$  a frontierei  $\partial D$  a domeniului:

$$Q_n(x,y,z,t) |_{\partial D_2} = (\vec{K} \cdot \partial H(x,y,z,t) / \partial \vec{n}) |_{\partial D_2} = q^*_n(x,y,z,t)$$

dacă  $q^*_n(x,y,z,t) = 0$ , pe porțiunea corespunzătoare frontiera este impermeabilă.

c) condiții pe *suprafața liberă*  $\partial D_3$ , a frontierei  $\partial D$  a domeniului:

$$H(x,y,z,t) |_{\partial D_3} = z$$

$$Q(x,y,z,t) |_{\partial D_3} = (\vec{K} \cdot \partial H(x,y,z,t) / \partial \vec{n}) |_{\partial D_3} = q^*_n(x,y,z,t)$$

$q^*_n$  reprezintă *debitele de apă impuse* pe unitatea de frontieră (+ intră, - ies),

$\vec{n} (n_x, n_y, n_z)$  este *normala exterioară* la frontiera  $\partial D$  a domeniului.

Suprafața liberă a apei subterane este a priori necunoscută și se va determina prin aproximații succesive pînă cînd condițiile sînt satisfăcute cu precizia dorită.

Condițiile initiale constau în cunoașterea valorii funcției  $H(x,y,z,t)$  la momentul initial,  $t=0$ , în toate punctele de coordonate  $(x,y,z)$ , ale domeniului  $D$ :

$$H(x,y,z,0) = H_0(x,y,z)$$

# Transportul poluantilor solubili in apa subterana

## Modelul matematic pentru transportul polunat in apa subterana

- Modelul matematic pentru transportul unui poluant in apa subterana consta din:
  - Ecuatia de transport a poluantului;
  - Conditile la limita aferente acestei ecuatii.
- Ecuatia de transport si conditiile la limita determina in mod unic concentratia poluantului in acvifer in orice punct, la orice moment de timp:  $C = C(x,y,z,t)$
- Ecuatia de transport a unui poluant se obtine pornind de la ecuatia conservarii poluantului in forma generala, considerand un domeniu  $D$  tridimensional:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ \iiint_D m_e d\Omega \right] + \iint_{\partial D} \bar{n} \cdot \bar{f}_t \cdot dA - \iiint_D r \cdot d\Omega = \iiint_D Q_p^* d\Omega$$

unde:

■  $m_e$  este masa de poluant in dizolvat in apa aflata in porii de circulatie, din unitatea de volum de mediu poros permeabil. Deci:  $m_e = Cnd$ .

■  $\bar{f}_t$  este fluxul specific total de masa de poluant (advectie, dispersie mecanica, difuzie) care strabate frontiera  $\partial D$  a domeniului  $D$ ;

$$\bar{f}_t = \bar{f}_{adv} + \bar{f}_{dis} + \bar{f}_{dir} = n_d \bar{v}_e C - n_d (\bar{D}_{dis} + \bar{D}_{dir}) \overline{grad}C$$

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} \\ D_{xy} & D_{yy} & D_{yz} \\ D_{xz} & D_{yz} & D_{zz} \end{bmatrix} \text{ reprezinta tensorul difuzie-dispersie hidrodinamica}$$

$$\bar{D} = \bar{D}_{dif} + \bar{D}_{dis}$$

- unde  $\bar{D}_{dif}$  reprezinta tensorul coeficientilor de difuzie a poluantului in apa subterana; acest tensor se considera a fi diagonal cu coeficientul nenul  $D^* = \omega D_d$ , unde  $D_d$  este coeficientul de difuzie al poluantului in apa, iar  $\omega$  este un factor subunitar care tine cont de tortuozitate (exprimand faptul ca substanta care difuzeaza trebuie sa urmeze un drum mai lung, de ocolire a particulelor mediului solid);
- si  $\bar{D}_{dis}$  este tensorul coeficientilor de dispersie mecanica a poluantului in acvifer.
- $r$  este variatia de poluant datorita adsorbției si degradării.
- $Q^*p$  reprezinta sursele de poluant prin injectie/extractie.

Componentele tensorului de dispersie mecanica,  $D'_{ij}$ ,  $i, j = x, y, z$ , se calculeaza cu formula lui Bear-Scheidegger:

$$D'_{ij} = \alpha_T v \delta_{ij} + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_i v_j}{v} \quad \text{in cazul unui mediu izotrop din punct de vedere al permeabilitatii.}$$

■ Unde:

- $v_i$  este componenta vitezei dupa axa "i" ( $v_1 = v_x$ ,  $v_2 = v_y$ ,  $v_3 = v_z$ ),  $v$  este modulul vitezei, iar
- $\alpha_L$  se numeste coeficient de dispersivitate longitudinala a mediului izotrop, iar
- $\alpha_T$  se numeste coeficient de dispersivitate transversala a mediului izotrop si ambii coeficienti au dimensiunea de lungime [L]. Acesti coeficienti variaza ca ordin de marime in functie de scara experimentului.

■ Ecuatia de transport a unui poluant in apa subterana se scrie sub forma diferentiaa astfel:

$$R \left( \frac{\partial C}{\partial t} \right) + \text{div}(\bar{v}_e \cdot C) - \text{div}(\bar{\bar{D}} \cdot \text{grad}C) - \lambda RC = \frac{Q_p^*}{n_d}$$

Unde:  $\bar{\bar{D}} = \bar{\bar{D}}_{dis} + \bar{\bar{D}}_{dy}$  = tensorul dispersiei hidromecanice

R sau  $R_d$  este coeficientul de retardare, care depinde de porozitatea dinamica  $n_d$ , de densitatea scheletului solid si de coeficientul de distributie  $k_d$ ;

$R_d = 1 + \frac{1 - n_d}{n_d} \cdot \alpha_1$  este factorul de retardare ( exprima influenta adsorbției poluantului la suprafața matricei solide subterane, având un efect de franare asupra creșterii concentrației)

$$F = a_1 C,$$

- unde F este concentrația de poluant în solid (masă de poluant adsorbită /unitate de volum solid), iar  $a_1$  este un coeficient de proporționalitate considerat în genere constant.
- $\lambda$  este coeficientul vitezei de (bio)degradare a poluantului.
- Condițiile la limită se împart în:
  - Condiții de margine/frontieră;
  - Condiții initiale.



Condițiile de margine, pot fi de următoarele tipuri:

a) *concentrații impuse (condiții Dirichlet)* pe porțiunea  $\partial D_1$ , a frontierei  $\partial D$  a domeniului:

$$C(x,y,z,t) |_{\partial D_1} = C_1(x,y,z,t)$$

b) *gradienti ai concentrației impuși (condiții Neumann)* pe porțiunea  $\partial D_2$ , a frontierei  $\partial D$  a domeniului:

$$(\partial C / \partial \bar{n}) |_{\partial D_2} = C_2(x,y,z,t)$$

$\bar{n}$  este normala exterioară a frontierei,

iar dacă  $C_2(x,y,z,t)=0$ , pe porțiunea corespunzătoare frontiera este impermeabilă.

c) *fluxuri de concentrație impuse (condiții mixte)*: pe porțiunea  $\partial D_3$ , a frontierei  $\partial D$  a domeniului:

$$[(\bar{v}_x \cdot C - \bar{D}_x \cdot (\partial C / \partial \bar{n})) |_{\partial D_3} = q_3$$

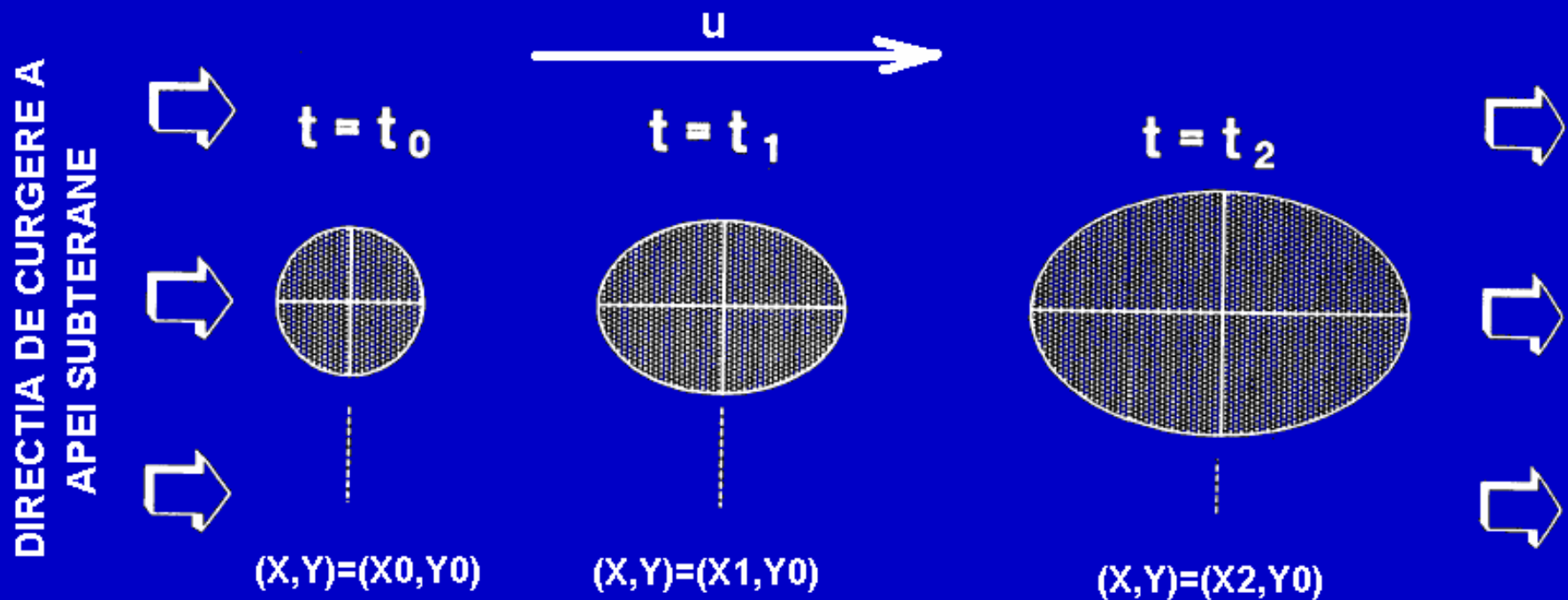
$q_3$  reprezintă fluxul de poluant cunoscut pe frontiera  $\partial D_3$ .

Condițiile inițiale constau în cunoașterea valorii funcției  $C(x,y,z,t)$  la momentul initial,  $t=0$ , în toate punctele de coordonate  $(x,y,z)$ , ale domeniului  $D$ :

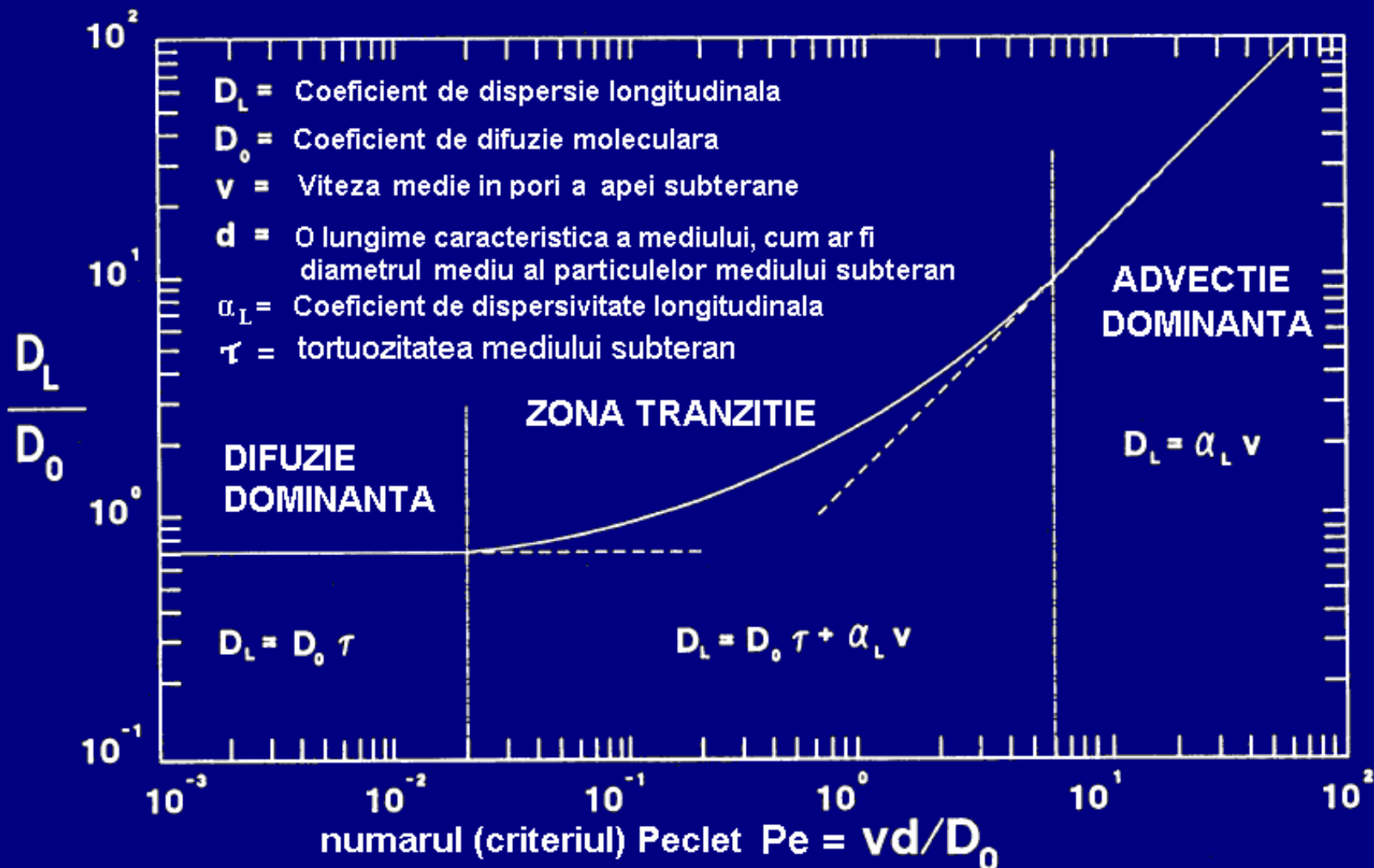
$$C(x,y,z,0) = C_0(x,y,z)$$



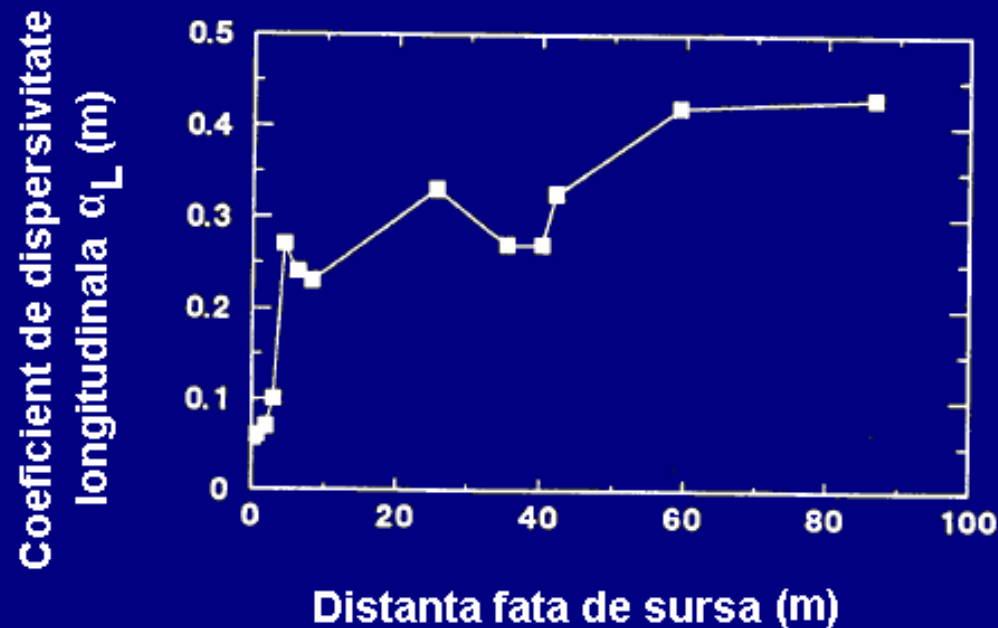
Evolutia in timp si spatiu a unei mese de poluant injectate instantaneu in acvifer la momentul  $t_0$  in punctul  $(X_0, Y_0)$  – vedere 2-D



# Coeficientul de dispersie ca functie de viteza apei subterane si granulometria matricii solide a mediului subteran

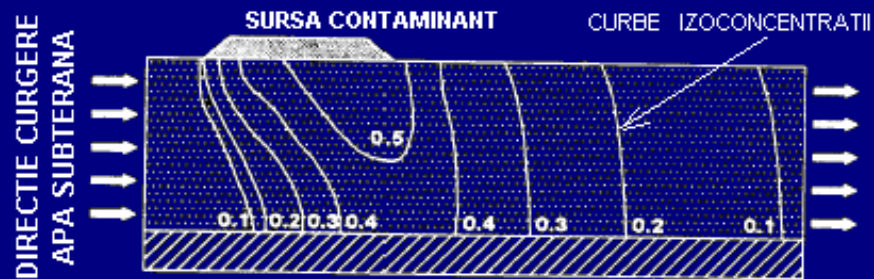


## Cresterea coeficientului de dispersivitate longitudinală $\alpha_L$ functie de distanta de transport



Gelhart et al. (1992) au examinat 59 de situri si au observat ca  $\alpha_L$  avea valori intre 1/100 si 10000 m pentru scari ale cuprinse intre 1/10 si 100000 m, inasa cea mai mare valoare credibila a fost de 250 m

A. PANA IPOTETICA DE CONTAMINANT CU UN COEFICIENT DE DISPERSIVITATE TRANSVERSALA MARE



B. PANA IPOTETICA DE CONTAMINANT CU UN COEFICIENT DE DISPERSIVITATE TRANSVERSALA MIC



Se observa rolul dispersiei transversale in forma curbelor de egala concentratie; acolo unde dispersia transversala este mica (coeficientul de dispersivitate transversala,  $\alpha_T$ , este mic), forma penei de poluant este alungita in sens longitudinal (al directiei de curgere) - fig. B; cand dispersia transversala este mare, poluantul se extinde mult lateral/vertical, iar curbele izoconcentratiilor nu se mai inchid.

# Transportul poluantilor insolubili – poluanti de tip Non-Aqueous-Phase-Liquids (NAPL)

- NAPL reprezinta substantele nemiscibile cu apa si putin solubile.
- Din aceasta clasa de substante fac parte in general titeiul si produsele petroliere.
- Se pot imparti in 2 subclase:
  - Light-Non-Aqueous-Phase-Liquids (LNAPL) = substante lichide, nemiscibile cu apa si mai usoare decat aceasta ( $\rho_{\text{substanta}} < \rho_{\text{apa}}$ ), care plutesc la suprafata apei subterane. In aceasta clasa intra: hidrocarburile petroliere, cherosenul, carburantii folositi in industria transporturilor, etc.
  - Dense- Non-Aqueous-Phase-Liquids (DNAPL) = substante nemiscibile cu apa si cu densitate mai mare decat aceasta ( $\rho_{\text{substanta}} > \rho_{\text{apa}}$ ), care, in cazul deversarii lor in cantitate suficient de mare, vor strabate tot stratul acvifer, depozitandu-se pe roca de baza. In categoria DNAPL intra hidrocarburile clorurate, cum ar fi 1,1,1 – tricloreten, tetraclorura de carbon, clorofenolii, clorobenzenul si produsii policlorurati bifenilici – PCBs.
- NAPL sunt importante pentru calitatea mediului subteran datorita persistentei si capacitatii lor de a contamina volume mari de apa. De ex., 7 L (10 kg) de tricloretilena (TCE) pot contamina 108 L de apa subterana la concentratia de 100 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ).



# Unele aspecte importante in fenomenologia transportului NAPL in mediul subteran

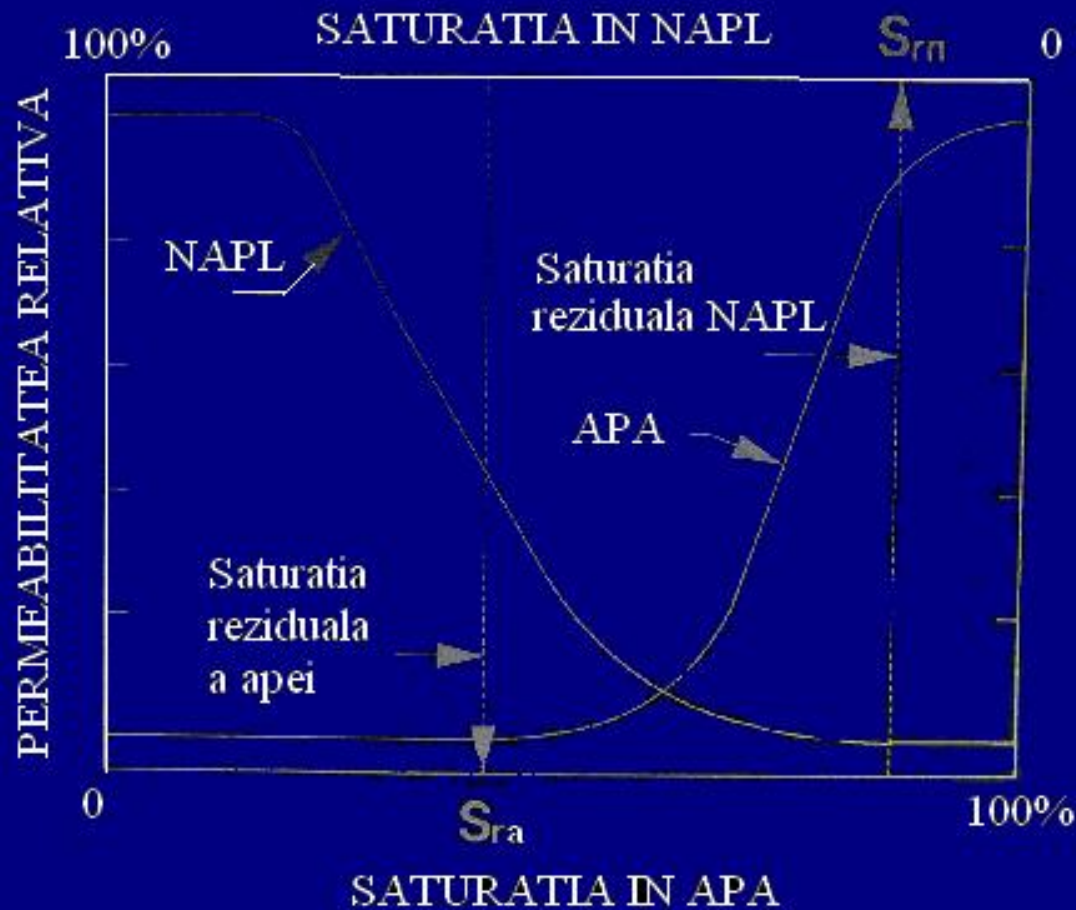
- In miscarea sa descendenta prin mediul poros, NAPL dizloca apa si aerul din pori. Apa este faza umectanta atat pentru NAPL, cat si pentru aer, avand tendinta sa realizeze un strat subtire in jurul granulelor mediului poros. NAPL nu uda peretii matricii solide a mediului subteran si se deplaseaza prin zona centrala a porilor. In astfel de situatii, nici apa si nici NAPL nu ocupa in intregime spatiul porilor, prin urmare permeabilitatea mediului fata de aceste fluide este diferita fata de cea din cazul in care spatiul porilor ar fi ocupat in intregime de un singur fluid. Aceasta reducere a permeabilitatii depinde de mediu si este descrisa cu ajutorul permeabilitatii relative,  $K_{ri}$  pentru faza/fluidul "i", definita astfel:

$$K_{ri} = K_i(S_i) / K_{Si} \quad \text{unde:}$$

- $S_i$  este fractiunea din spatiul porilor ocupata de faza/fluidul "i"
- $K_i(S_i)$  este permeabilitatea mediului fata de faza/fluidul "i" la saturatia  $S_i$
- $K_{Si}$  este permeabilitatea mediului la saturatia completa cu faza "i"
- $S_i$  saturatia fazei/fluidului "i" se defineste ca  $S_i = (\text{volumul fazei "i"}/\text{volumul porilor})$
- Astfel permeabilitatea relativa variaza de la 1 corespunzator unei saturatii de 100% , pana la 0, corespunzator unei saturatii de 0% (a se vedea fig. urmatoare).
- Permeabilitatea relativa devine 0 inainte ca saturatia in fluidul respectiv sa atinga valoarea 0, datorita **saturatiei reziduale  $S_r$**  a fluidului, definita ca saturatia sub care fluidul nu mai poate fi pus in miscare.



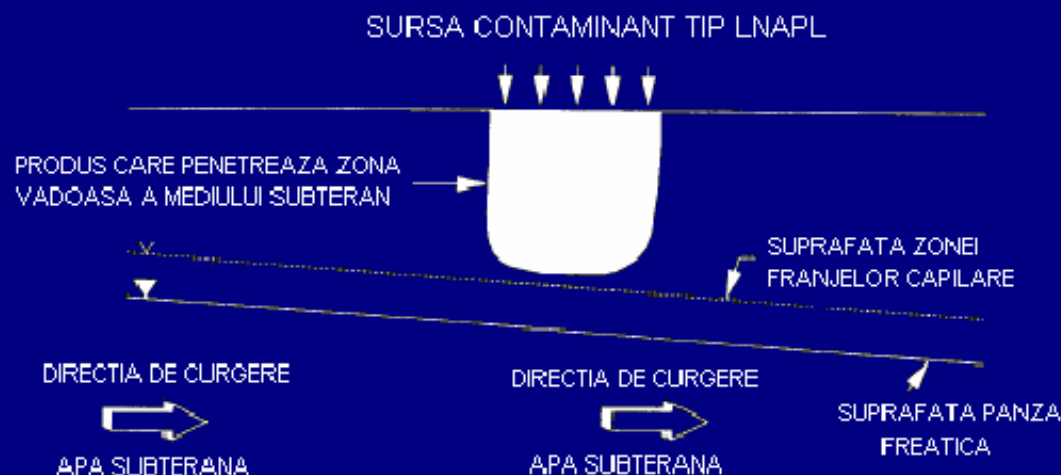
# Relatia dintre saturatie si permeabilitatea relativa



Aceasta saturatie reziduala a NAPL (care face ca permeabilitatea relativa a NAPL sa fie 0) explica caracterul practic imobil al NAPL in mediul subteran si faptul ca intr-un acvifer poluat cu astfel de substante este necesara curgerea unui volum foarte mare de apa (ceea ce implica si perioade lungi de timp) pentru a putea antrena prin solubilizare gradata acesti contaminanti.

Cercetarile de laborator au pus in evidenta dependenta saturatiei reziduale de porozitatea efectiva,  $S_r$  tinzand sa scada o data cu cresterea porozitatii efective (cf. experimentelor realizate in conditii ideale de laborator pe probe de nisip omogen).

# Migratia contaminantilor tip LNAPL in mediul subteran – distributia de LNAPL dupa scurgerea accidentala a unui volum mic de poluant

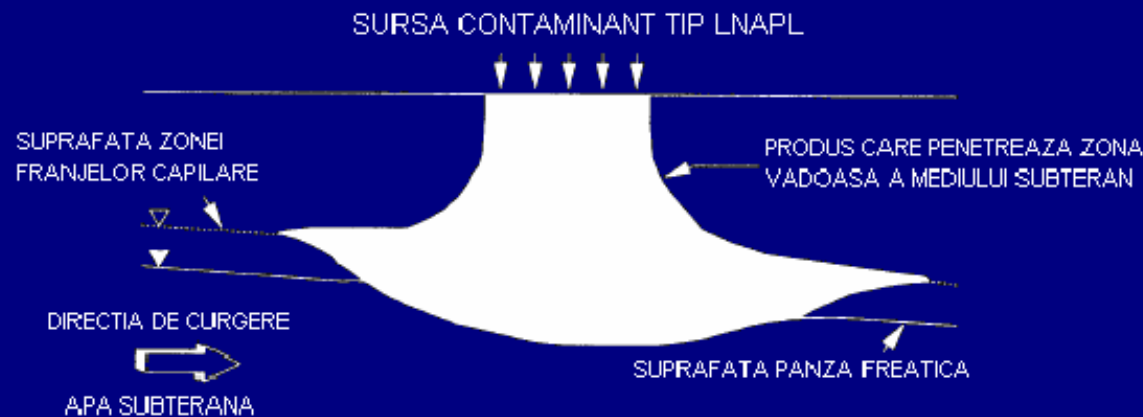


Dupa scurgerea accidentala a unui volum mic de LNAPL pe sol, poluantul penetreaza in subteran prin zona centrala a porilor nesaturati pana cand este atinsa saturatia reziduala (a se vedea fig. de mai sus). Se creeaza astfel un sistem 3-fazic (apa, LNAPL, aer) in zona vadoasa. Apa de infiltratie dizolva componentele mai solubile din LNAPL (de ex., benzen, toluen, xilen) si le transporta spre panza freatica. Acesti constituinti formeaza apoi o pana de poluant emanand din zona produsului rezidual.

Multi dintre componentii uzuali ai unui LNAPL sunt volatili, si, deci, pot forma vapori care sa migreze datorita difuziei moleculare prin aerul/mediul gazos din zona vadoasa catre alte portiuni ale acviferului. Acesti vapori pot din nou sa reintre in faza lichida/apoasa si sa raspandeasca astfel contaminarea pe arii extinse. Daca suprafata solului nu este acoperita cu un material impermeabil atunci acesti vapori difuzeaza in atmosfera. Insa, daca suprafata solului este impermeabilizata, nu are loc transfer de masa spre atmosfera, iar concentratia de vapori-componenti ai LNAPL din atmosfera zonei vadoase poate sa ajunga pana la valori de echilbru (cf. legii Henry).

# Migratia contaminantilor tip LNAPL in mediul subteran

## Depresionarea zonei franjelor capilare si a panzei freatice in urma scurgerii unui volum mare de LNAPL in mediul subteran



Daca are loc o scurgere masiva de produs tip LNAPL, atunci poluantul penetreaza prin porii zonei vadoase pana la suprafata zonei franjelor capilare. Componentele dizolvate ale produsului infiltrat preced avansarea produsului si pot schimba proprietatea de udare a apei capilare, cauzand o reducere a continutului de apa reziduala si colapsarea franjelor capilare. Poluantul tip LNAPL este mai usor decat apa si tinde sa pluteasca pe suprafata zonei franjelor capilare. Pe masura ce presiunea creata de poluantul infiltrat creste, panza freatica este depresionata si produsul incepe sa se acumuleze in zona de depresiune. Daca sursa de LNAPL este apoi stopata, LNAPL din zona vadoasa continua sa se scurga pana la atingerea saturatiei reziduale.

# Migratia contaminantilor tip LNAPL in mediul subteran

## Reducerea deformarii suprafetei panzei freatice pe masura ce poluantul din zona vadoasa se raspandeste lateral, pe suprafata zonei franjelor capilare



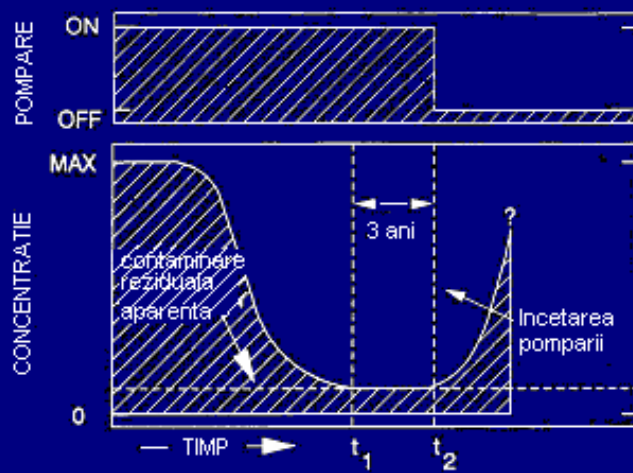
Pe masura ce aceste scurgeri continua sa incarce zona de acumulare, produsul se raspandeste lateral pe suprafata zonei capilare.

Scurgerea produsului din partile superioare ale zonei vadoase, o data cu stoparea sursei, reduce de asemenea presiunea totala la interfata produs-apa subterana, cauzand reducerea treptata a deformarii suprafetei panzei freatice. Suprafata panzei freatice care revine gradat la forma initiala, poate prin impingere in sus, sa dizloce doar o parte din LNAPL, restul ramanand cantonat in stare de saturatie reziduala in porii zonei saturate. Apa subterana care patrunde in aceasta zona poate solubiliza o parte din unii componentii LNAPL rezidual, creand astfel o pana de poluant. Apa care se infiltreaza in zona vadoasa poate de asemenea dizolva unii componentii LNAPL aflatii la saturatie reziduala, precum si vaporii de LNAPL aflatii in atmosfera zonei vadoase, contribuind prin aceasta la incarcarea de ansamblu cu contaminanti a acviferului.

# Migratia contaminantilor tip LNAPL in mediul subteran

## Efectul variatiilor de nivel naturale sau datorita pomparii asupra migrarii polunatilor tip LNAPL in mediul subteran

Daca nivelul apei subterane scade datorita variatiilor sezoniere sau pomparii, zona in care se afla acumulat poluantul coboara vertical, de asemenea. Daca nivelul panzei freatic creste din nou, o parte din produs este impinsa in sus, dar o alta parte ramane la saturatie reziduala sub noul nivel al apei subterane. Aceasta variatie a nivelului apei subterane duce la raspandirea produsului pe o grosime mai mare a acviferului, cauzand contaminarea unor volume marite de sol din mediul subteran. Metodele de remediere pentru LNAPL din mediul subteran trebuie sa tina cont de aceste aspecte si sa evite transportul poluantului catre zone necontaminate unde acesta poate fi retinut in stare de saturatie reziduala.



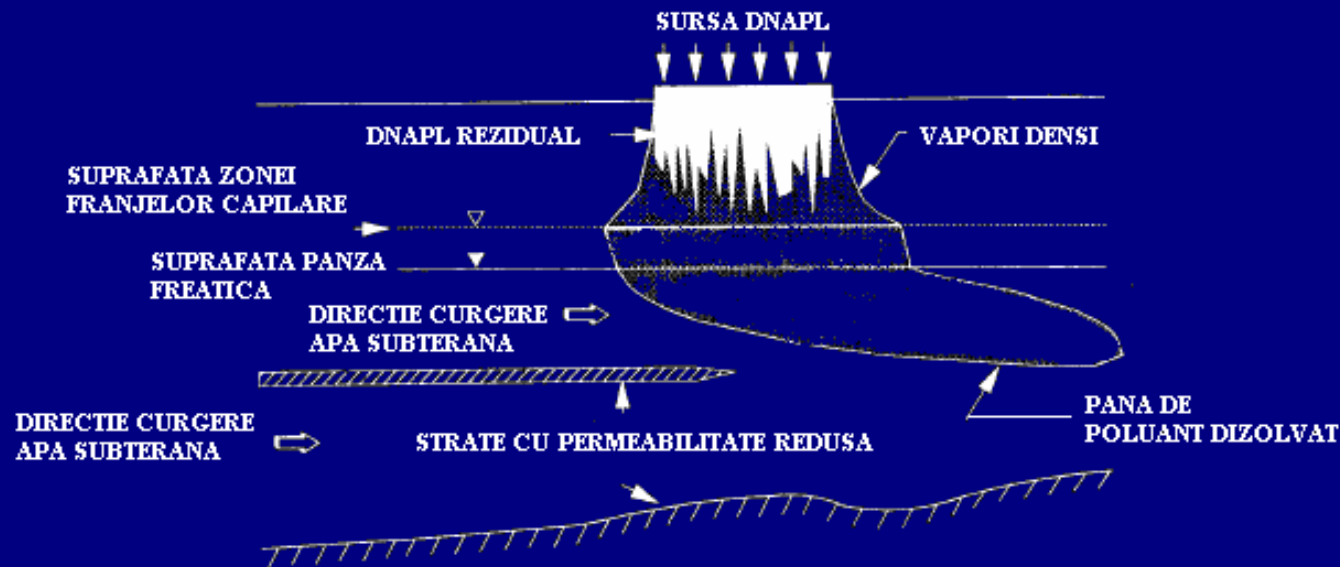
In figura alaturata se prezinta un alt efect al poluarii datorita contaminarii reziduale datorate unor contaminanti remanenti in acvifer:

Dupa ce s-a pompat apa din acvifer o anumita perioada de timp, in scopul aducerii la suprafata si tratarii a apei contaminate, activitatea de pompare a incetat cand s-a ajuns la o anumita limita care presupunea o concentratie constanta a poluantului in acvifer. S-a constatat ca dupa incetarea pomparii, nivelul concentratiei de poluant in apa subterana a inceput sa creasca lent. Acest fenomen se poate datora:

1. difuziei contaminantilor in cadrul unor sedimente care prezinta variatii spatiale;
2. izolarii hidrodinamice;
3. mecanismelor de sorbtie-desorbție;
4. partitionarii lichid-lichid.



# Migratia contaminantilor tip DNAPL in mediul subteran



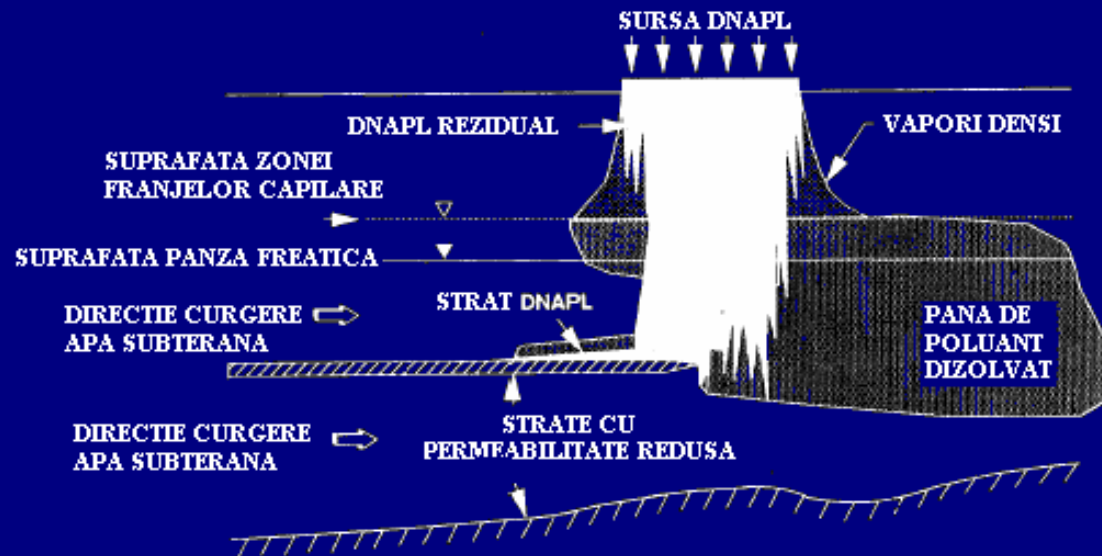
Compusii de tip DNAPL au o mare mobilitate in mediul subteran datorita solubilitatii reduse, pe de o parte, si densitatii mari, pe alta parte. Densitatea ridicata face ca acesti compusi sa migreze la adancimi mari ale mediului subteran. Densitatea mare, plus vascozitatea redusa, faciliteaza o dezlocuire usoara a apei subterane, conducand la formarea unor curenti instabili, neuniformi, sub forma unor degete vascoase.

In cazul unei scurgeri relativ reduse de DNAPL, acesta va migra vertical in zona nesaturata, sub influenta gravitatiei, pana la atingerea saturatiei reziduale. Daca in zona nesaturata se gaseste apa, DNAPL formeaza degete vascoase in timpul infiltratiei, fenomen neobservat in cazul zonelor nesaturate uscate. Ca si in cazul LNAPL, compusii de tip DNAPL ramasi la saturatie reziduala vor volatiliza in spatiul porilor sau vor fi partial dizolvati de apa de infiltratie, determinand in final formarea penei poluante, antrenate de curentul de apa subterana.



# Migratia contaminantilor tip DNAPL in mediul subteran

## Cazul in care este scursa o cantitate mai mare de DNAPL

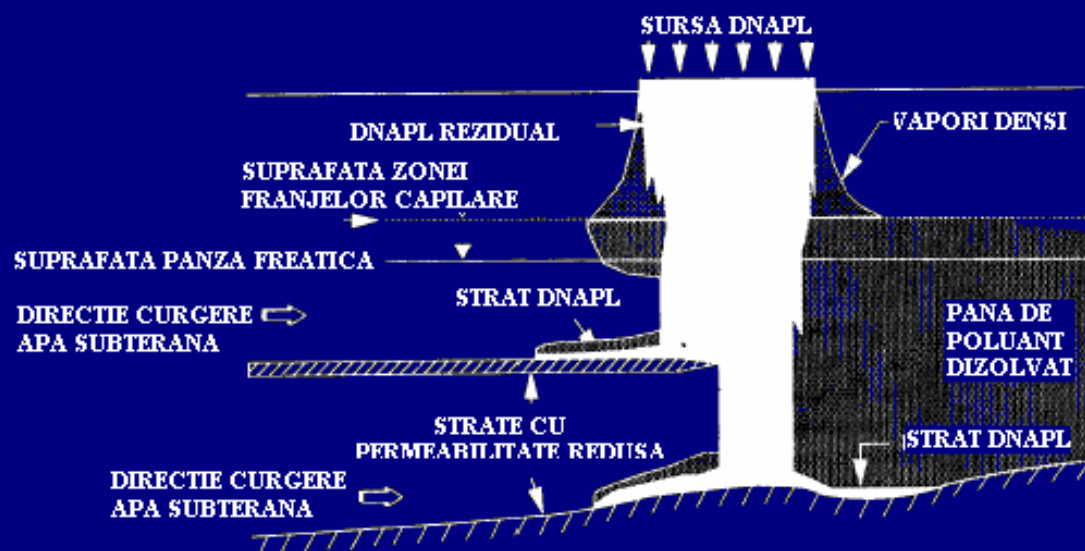


Cantitati mari de DNAPL scurse in mediul subteran asigura mentinerea miscarii pe verticala a poluantului, penetrand franja capilara si coloana de apa subterana, miscarea pe verticala continuand in zona saturata pana la atingerea rocii de baza, impermeabile, unde DNAPL se depune sub forma unor pungi.

Transportul poluantilor de tip DNAPL este mult complicat de existenta acviferelor eterogene in care sunt puse in evidenta lentile impermeabile de argila. Aceste lentile vor constitui adevarate bariere in migrarea pe verticala a DNAPL, deteminand mai intai acumularea acestuia pe stratul impermeabil si, apoi, migrarea laterala.

# Migratia contaminantilor tip DNAPL in mediul subteran

## Cazul in care este scursa o cantitate mai mare de DNAPL



Daca patul impermeabil nu este orizontal, DNAPL migreaza in directia pantei acestuia. Este important de observat ca panta patului impermeabil poate fi in contrasens cu cea a suprafetei libere a apei subterane. In astfel de situatii, migrarea DNAPL in faza libera se va realiza in directie opusa celei a penei poluante. Ca urmare, detectarea zonelor in care DNAPL se acumuleaza este foarte complicata, greu de realizat prin metode hidraulice, desi, prin faptul ca formeaza o noua sursa de poluare, este importanta in procesul remedierii.

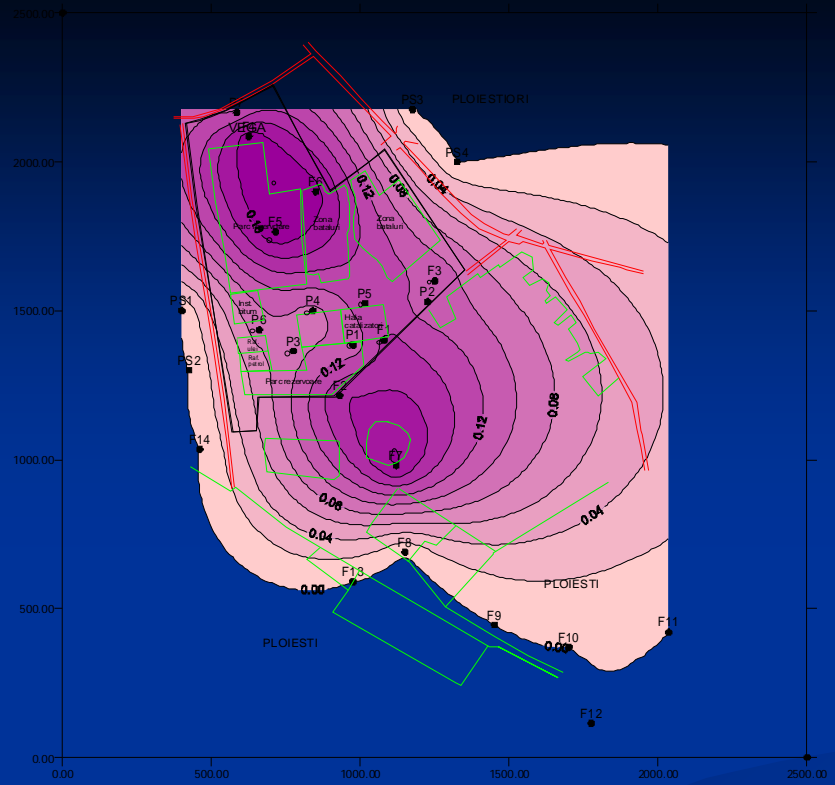
O parte din DNAPL ramane in zona saturata a acviferului prin efectul saturatiei reziduale, pe toata inaltimea coloanei de apa strabatuta in miscarea sa descendenta.

Curentul subteran de apa determina dizolvarea componentilor solubili ai DNAPL si formarea penei poluante, marind astfel zona poluata prin antrenarea sa de curentul subteran al apei (advectie). procese similare se produc si cu pungile de DNAPL formate la suprafata stratului impermeabil. Densitatea pungilor de DNAPL si a degetelor vascoase intr-un acvifer sunt extrem de importante, deoarece ele controleaza concentratia poluantilor dizolvati in apa subterana.

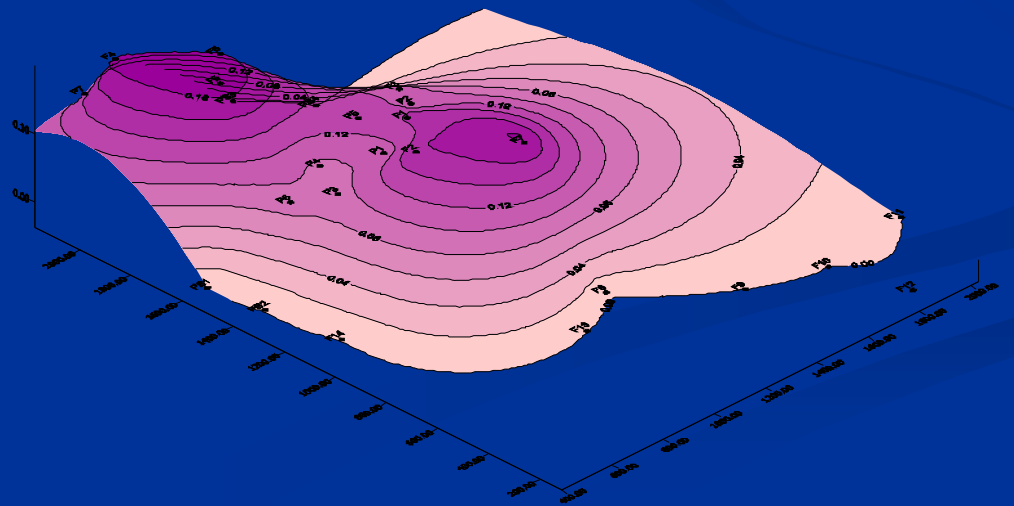
# STUDII DE CAZ

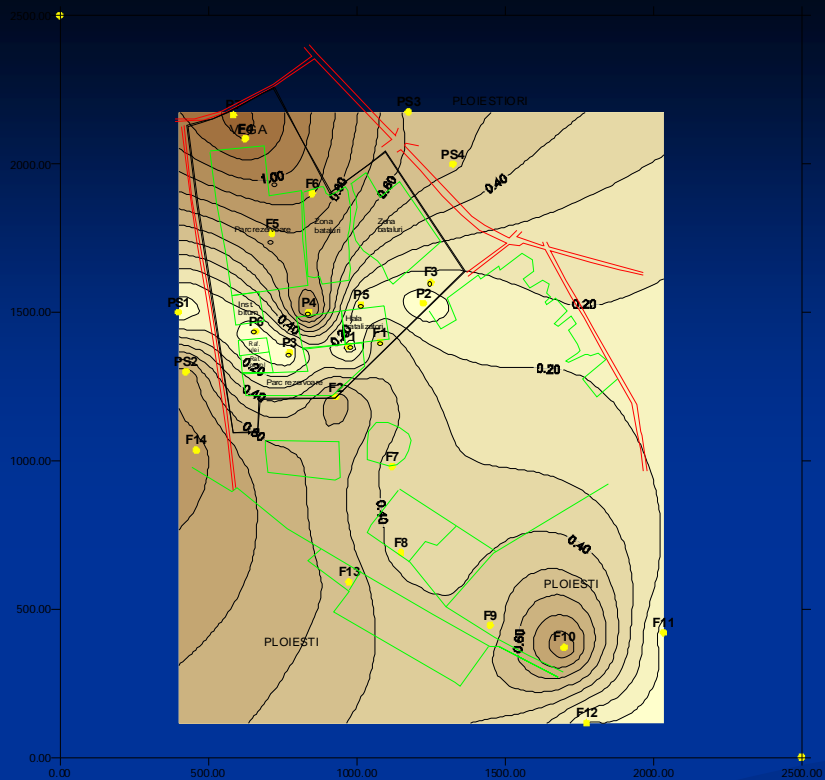
□ Rafinaria PETROBRAZI

□ Rafinaria VEGA

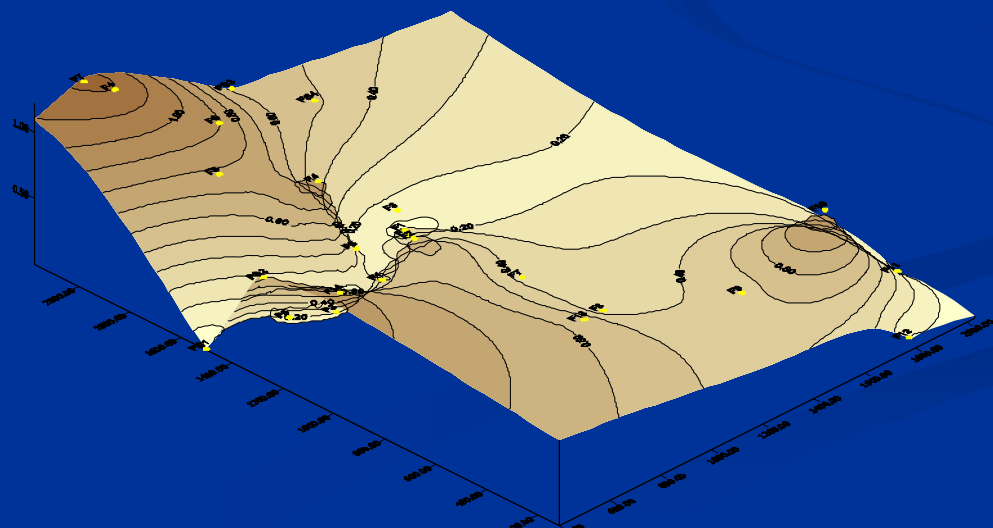


Distributia spatiala a izoconcentrațiilor in fenoli (mg/l).





Distributia spatiala a izoconcentrațiilor in NH4 (mg/l).



# Bibliografie selectiva

- Bear, J., Dynamics of fluids in porous media.
- Bica, I., Poluarea acviferelor. Tehnici de remediere.
- Domenico & Schwartz, Groundwater hydrology.
- Lovanh N. et al., Guidelines to determine site-specific parameters for modeling the fate and transport of monoaromatic hydrocarbons in groundwater.
- Prommer, H., Davis, G.B., Barry, D., Miller, C.T., Modeling the fate of petroleum hydrocarbons in groundwater.
- Stanescu, C.T., Rezumatul tezei de doctorat.
- US-EPA, Workshop on groundwater (1989).



**VA MULTUMESC !**