

VÍZFÖLDTANI ALAPFOGALMAK

A felszín alatti vizeket tároló képződmények egymástól eltérő mértékben vezetik a vizet. Ennek alapján megkülönböztethetünk **vízadó** és **vízrekesztő** képződményeket. Az elnevezés relatív, tekintettel arra, hogy egy iszapos öszlet agyagos képződmények mellett a területen vízadónak tekinthető, míg egy homokos vagy kavicsos öszletben egy hasonló iszapos szint vízrekesztő hatású lehet. Tekintettel arra, hogy minden képződmény képes valamennyire a víz vezetésére ezért a gyakorlatban meghonosodott **vízzáró** kifejezést célszerű elkerülni, illetve használata esetén mindig tudni kell, hogy a „vízzáró” képződmények is vezetnek kis mértékben a vizet.

A felszín alatti vizeket tároló képződmények szerint megkülönböztetjük a **porózus közegben** tárolt vizeket, a **karsztos** (mészkövek és dolomitok) és **hasadozott** vagy repedezett **kőzetek** (bazalt, andezit, dolomitmurva, stb.) vizeit. Az utóbbiak jellemzője, hogy a felszín felől mind a víz, mind a különböző szennyezőanyagok gyorsan és főképpen jelentős késleltetés nélkül juthatnak le a sokszor 10-150 m mélységben található karszt- vagy hasadékvízszintig. Ennek megfelelően szokás a karsztos és hasadozott kőzetek esetében **nyílt** és **fedett** területeket elkülöníteni annak függvényében, hogy a vízadó, karsztosodott képződményeket borítják-e vízrekesztő képződmények. A nyílt karszt közvetlenül a csapadékból táplálkozik, a fedett karsztos területeken a fedőképződmények vízraktározási jellemzőitől függ a karsztba való beszívargás, sokszor a karsztot fedő képződményben önálló felszín alatti vízadó rendszer is kialakul.

A porózus vízadó rendszereket parti szűrésű, talaj és rétegvízadó rendszerekre oszthatjuk.

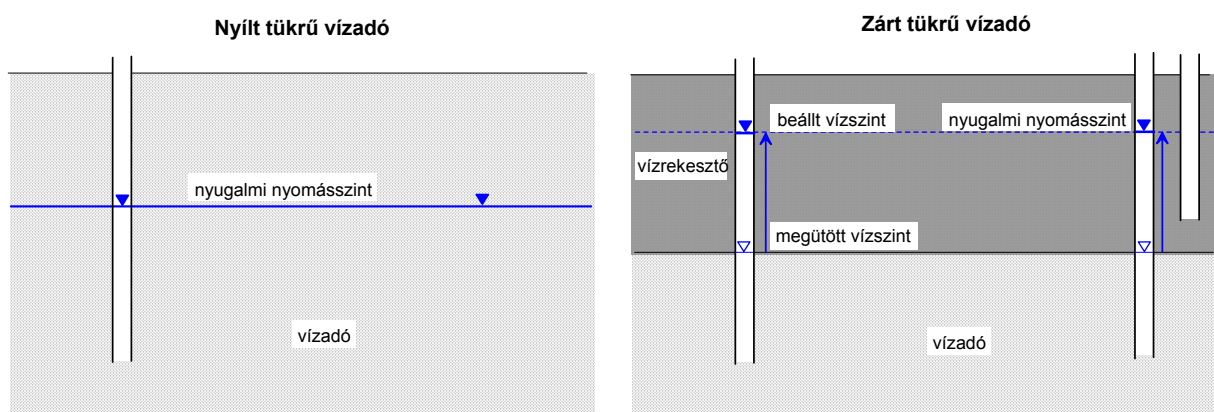
A **parti szűrésű vízadók** egy jelentősebb felszíni vízfolyás közvetlen közelében helyezkednek el. A jó vízvezető képességgel rendelkező, sekély folyómenti rétegek vize közvetlen kapcsolatban áll a folyó felszíni vízkészletével. A parti szűrésű vízadók vize ezért minőségükben és mennyiségükben a kapcsolódó felszíni vízfolyás aktuális víz-

állásától és vízminőségétől függ. Magyarország jelentős partiszűrészű vízkészletei a Duna mosott partjain, illetve a Felső-Tiszavidéken találhatóak.

A porózus képződmények felszín alatti vízkészletének mélység szerinti tagolására a **talajvíz** és **rétegvíz** kifejezéseket használjuk. Az elkülönítés nem egyértelmű, ezért más nyelvek nem is ismerik ezt az elkülönítést (groundwater, Grundwasser, stb.). Általában a kis mélységben (max. 20 m-ig) található első vízadó szintet szokás talajvízadónak tekinteni. Sok területen azonban a felszín közelében homogén nagyobb vastagságú vízadó található, ami nem bontható talaj és rétegvízre. Az Alföld nagyobb területein a földtani rétegsor vízvezető és vízrekesztő szintek sorozatából áll, amit szemléletesen dobostorta-szerkezetnek is szoktak hívni. Ilyen rétegsorban a második vízvezető szinttől rétegvízadókról beszélünk

A földtanban az egyes rétegek vagy képződmények felső határoló-felületét **fedőnek** az alsót **fekünek** (régiesen **fekvőnek**) hívják. Ennek alapján a egy képződmény térbeliségét fedő- és feküszintvonalas térképekkel szokás megadni.

A **vízadó rétegek nyomásállapota** alapján megkülönböztetünk nyílt tükrű, zárt tükrű és vegyes tükrű rétegeket. A **nyílt tükrű** rétegben a víz nyomásszintje (azaz a vízszint) a képződmény fedőszintje alatt van, ennek megfelelően a víz szintje közvetlenül a légnyomással tart egyensúlyt. **Zárt tükrű** vagy szemléletesebben nyomás alatti rendszernek nevezzük, ha a vízadóban a nyugalmi nyomásszint a fedőszint felett van. (1. ábra) A vegyes tükrű rendszerek térben vagy időben változóan részben zárt, részben nyílt tükrű rendszerek.



1.ábra: Nyílt és zárt tükrű vízadók nyomásviszonyai

Egyes szerzők a talajvízadót nyílt tükrűnek tekintik, ami azért nem igaz, mert bizonyos magyarországi területeken (pl. Körös-Maros-süllyedék területe) a talajvízadót

agyagos fedő borítja, ami alatt nyomás alatti talajvíz található. Az ilyen vízáradókra létesített fúrás esetén, amíg el nem érjük a vízáradót a fúróluk száraz, majd a vízáradó fedőszintjénél a vízszint megjelenik és a fúrólukban fokozatosan addig emelkedik, amíg el nem éri a vízáradó nyugalmi nyomásszintjét. Ennek megfelelően szokás **megütött és beállt vízszintről** beszélni zárt tükrű rendszerek esetén. Az előbbi a vízáradó fedőszintjét jelzi, az utóbbi pedig a nyugalmi nyomását.

A képződményekben a víz a potenciálkülönbségek hatására mozog. A **potenciál** „egy olyan fizikai mennyiség, amely egy áramlási közeg bármely pontjában meghatározható és amely nagyságával meghatározza térbeli irányultságtól függetlenül a szivárgás irányát oly módon, hogy a szivárgás mindig a nagyobb potenciálú hely felől a kisebb potenciálú hely felé történik.” A potenciál abszolút értéke nem mérhető, csak egy viszonyítási ponthoz képesti értéke adható meg. Potenciálkülönbségek ugyanakkor egyszerűen meghatározhatók. A *folyadék szivárgási potenciálját a porózus közegben a folyadék tömegegységre vonatkoztatott mechanikai energiájaként értelmezzük.* A potenciál megváltozása az a munka, amit be kell fektetni vagy nyerünk, miközben a vizsgált folyadék az áramlási térben az egyik pontból egy másik pontba jut. A potenciál-változás a két pont között jelentkezik a helyzeti energia, a mozgási energia, illetve a nyomás vagy a folyadék-sűrűség megváltozásában. A szivárgás ennek megfelelően történhet a magasabb helyről az alacsonyabb felé, a magasabb nyomású hely felől az alacsonyabb felé, stb. A fizikai definícióból levezethető, hogy a potenciál arányos a hidraulikus emelkedési magassággal, ami nem más, mint a beállt vízszint egy ismert viszonyítási szinthez képest. Viszonyításként általában valamelyik tenger (korábban az Adria, jelenleg a Balti-tenger (mBf.=mAf. - 67 cm)) szintjét szokták használni, azért a szivárgási potenciál a gyakorlatban a beállt (nyugalmi) vízszintek tengerszintfeletti magasságával azonos, jele a hidraulikában h ., dimenziója [L] (hosszúság).

A szivárgás sebessége a potenciál térbeli változásának „gyorsaságától” függ, azaz, hogy egy ismert x távolságon mekkora a potenciálkülönbség. Az $i = \Delta h / dx$ hányados **hidraulikus gradiens**nek más szóval **hidraulikus esés**nek nevezzük. A hidraulikus gradiens dimenzió nélküli mennyiség [L/L]. Ez az a mennyiség, ami megmutatja a térbeli potenciálfelület aktuális meredekségét. A hidraulikus gradiens horizontális és vertikális, azaz vízszintes és függőleges irányú komponensét szokás értelmezni. A két komponens mutatja meg a szivárgás irányát. Amennyiben a potenciál a mélység-

gel csökken, akkor a területen a mélység felé történik a szivárgás, amit **beszivárgási területnek** nevezünk. Amennyiben a potenciálok a mélység felé nőnek, akkor uralkodó a felszín felé történő szivárgás, amely területeket **megcsapolási** területeknek hívunk.

A képződmények vízvezető képességét a **szivárgási tényező** jellemzi. A szivárgási tényező megadja azt az átlagos lineáris szivárgási sebességet, mely kialakul a képződményben egységnyi hidraulikus gradiens esetén. A szivárgási tényező sebesség dimenziójú $[L/T]$, szokásos mértékegysége a m/s vagy m/d; jele a hazai gyakorlatban a k vagy a külföldi szakirodalomban K . A szivárgási tényező a kapcsolatot a szivárgás sebessége és a hidraulikus gradiens között tételzi fel, ezért értéke szükségszerűen függ a folyadék viszkozitásától. A víznél kétszer nagyobb dinamikai viszkozitású folyadék fele akkora sebességgel képes ugyanazon képződményen keresztülszivárogni, tehát a szivárgási tényezője is fele akkora, mint a vízé ugyanazon képződmény esetén. A szivárgási tényező ennek megfelelően szűken értelmezve nem talajjellemző. A talajt az **áteresztőképesség**, más néven **permeabilitás** (jele itthon K , külföldön k) jellemzi: $k=K*\mu/\rho g$, ahol k a permeabilitás, K a szivárgási tényező, μ a folyadék dinamikai viszkozitása, ρ a folyadék sűrűsége és g a nehézségi gyorsulás. Az áteresztőképesség felület dimenziójú szám $[L^2]$, használatos nem SI mértékegysége a darcy ($1 \text{ darcy} = 9,87 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$). Egy képződmény vízáradó-épességét legjobban a szivárgási tényező és a vastagság szorzata jellemzi, melyet **transzmisszivitásnak** neveznek (jele: T , dimenziója: $[L^2/T]$). Könnyen belátható, hogy ugyanakkora vízhozamot képes szolgáltatni azonos feltételek esetén egy adott vastagságú és szivárgási tényezőjű réteg, illetve kétszer akkora szivárgási tényezővel jellemezhető, fele akkora vastagságú réteg.

A rétegekben mozgó vagy kutakkal kitermelt víz „mennyiségét” az időegység alatt átáramló vagy kitermelt vízmennyiséggel jellemezzük, amit **vízhozamnak** nevezünk (jele: Q , dimenziója $[L^3/T]$).

A porózus közegben a pórusok térfogatának és a teljes térfogatnak az arányát **hézagtérfogatnak** vagy idegen szóval **porozitásnak** nevezik (jele: n). A teljes pórusternek azonban csak egy részében történik szivárgás, a szemcsék körül kötött hidrátburok, a szemcsék mellett szegletvíz, zárt pórusterben található vizek, illetve kapilláris erők által kötött vízmolekulák is vannak. A víz mozgásában részt vevő póruster térfogatának és a teljes térfogatnak az arányát **szabad hézagtérfogatnak**

vagy **effektív porozitás**nak nevezik (jele: n_0). A definíció alapján triviális, hogy a szabad hézagterfogat a hézagterfogathoz mindig kisebb szám. Szokásos még a **hézag-tényező (e)** használata is, mely a pórusterfogathoz a szemcsék terfogathoz viszonyított aránya. A definíció alapján a hézagterfogat 1-nél kisebb, valójában 0,35-nél kisebb érték, míg a hézag-tényező értéke speciális esetekben, pl. szerves agyagok vagy tözeges képződmények 1-nél nagyobb is lehet. A teljes és a szabad hézagterfogat, valamint a hézag-tényező dimenzió nélküli szám [L^3/L^3].

A felszín alatti vizekben a szivárgás sebességét a **Darcy-törvény** segítségével lehet meghatározni: $v=K \cdot i=K \Delta h/dx$. A Darcy-törvény szerint a szivárgás sebessége arányos a szivárgási tényezővel (K) és a hidraulikus gradienssel (i). Mivel Darcy-féle sebesség a teljes vizsgált terfogatra vonatkozik, ezzel szemben a szivárgás csak a teljes terfogathoz a szabad hézagterfogattal arányos kisebb részében következik be, ezért a pórusbeli átlagos v_p szivárgási sebességet a Darcy-sebesség és a szabad hézagterfogat hányadosaként kapjuk: $v_p= K \cdot i/n_0=K/n_0 \cdot \Delta h/dx$.

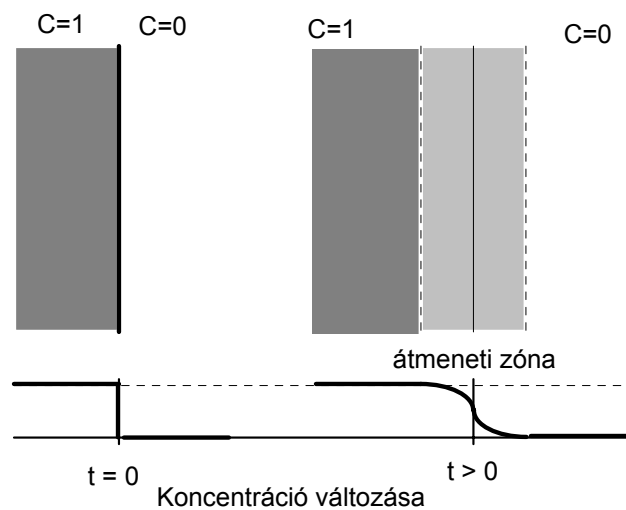
A SZENNYEZŐDÉS-TERJEDÉSEL KAPCSOLATOS ALAPFOGALMAK

A vízben oldható szennyezőanyagok terjedését két alapvető folyamat határozza az advekciónak (konvekció) és a diszperzió.

Az oldott anyagok vízzel való együttes tömeges áramlását **advekciónak**, illetve a hőtanból kissé helytelenül átvéve konvekciónak nevezzük. (konvekció: hőmérsékleti különbségek hatására létrejövő mozgási folyamat; advekciónak: a potenciális - és a hő kizáró - erőtér által létrejött mozgási folyamat) (Márkos, 1987).

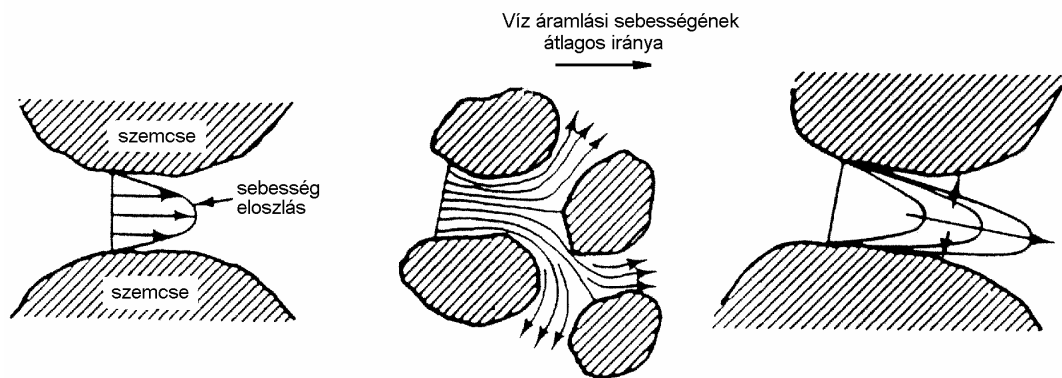
A szennyezőanyagok térbeli szóródását **diszperzió**nak nevezzük. A szóródást kémiai (diffúzió) illetve fizikai folyamatok (hidrodinamikai diszperzió, makrodiszperzió) együttesen okozhatják. A két alapvető folyamaton kívül további fizikai és kémiai folyamatok az oldat áramlásának késleltetéséhez, valamint a szennyezőanyag lebomlásához, degradációjához vezethetnek.

A térbeli kémiai potenciál-különbségek hatására létrejövő tömegáramot **diffúzió**nak nevezzük (2. ábra). A koncentráció-különbségek hatására létrejövő diffúziót közönséges diffúzióknak, míg az elektromos potenciál- vagy hőmérséklet-különbségek okozta anyagáramokat kényszerdiffúzióknak hívjuk (FILEP, 1988). A diffúzió miatt kialakuló szennyezőanyagáram arányos a koncentráció-gradienssel ($\Delta C/dx$), a D_{eff} effektív diffúzióállandóval és független a szivárgás sebességétől. Az effektív diffúzióállandó egyenesen arányos a vizes oldatban mért diffúzióállandóval és fordítottan a közeg tortuozitásával és adszorpciós tényezőjével. Meghatározása laboratóriumi kísérlettel lehetséges. A diffúzióállandó szigorú értelemben véve nem tekinthető állandónak, mivel értéke kis mértékben függ a koncentrációtól (SHAW, 1986) és erősen függ a hőmérséklettől is (ISTOK, 1989).

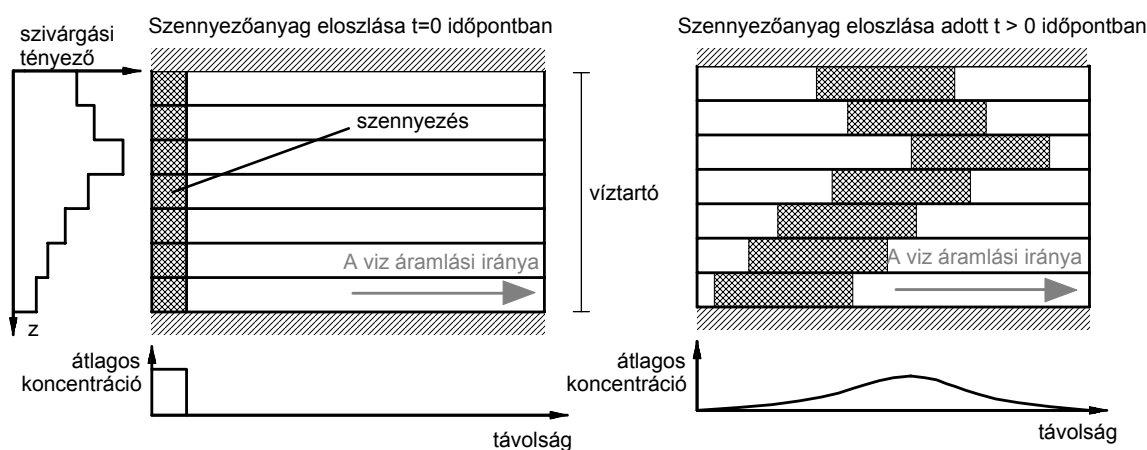


2. ábra: A közönséges diffúzió folyamata (BEAR-VERRUIJT, 1987)

A **hidrodinamikai diszperzió** jelenségét az áramlási sebesség nagyságának és irányának lokális mikro-változásai okozzák a porózus közegen belül, mely a szennyezőanyag szóródásához vezet. A hidrodinamikai diszperziót okozó legfontosabb hatások a szivárgási sebesség nagyságának változása a pórusokon belül, a szivárgási sebesség irányainak változása és az eltérő átmérőjű pórusokban kialakuló eltérő szivárgási sebességek kialakulása (3. ábra).



3. ábra: A hidrodinamikai (mechanikai) diszperziót előidéző jelenségek (BEAR-VERRUIJT, 1987)



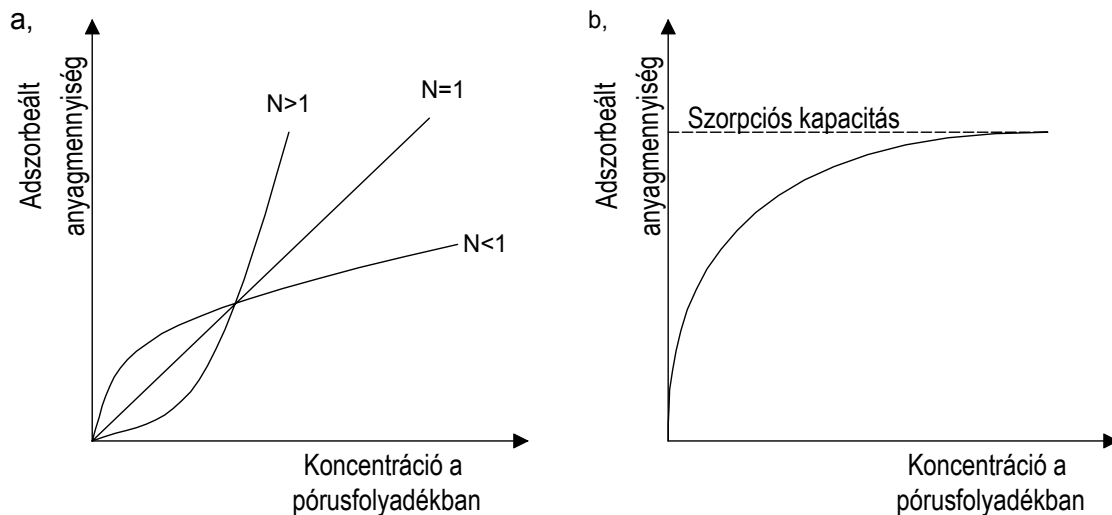
4. ábra: Szennyezőanyag makrodiszperziójának kialakulása (KINZELBACH, 1986)

A hidrodinamikai diszperzió egy speciális esete a **makrodiszperzió** (4. ábra), ami az egymástól különböző vízföldtani tulajdonságokkal (szivárgási tényező, transzmisszivitás, szabad hézagterefogat stb.) jellemezhető földtani képződményekben kialakuló egymástól eltérő áramlási sebesség okozta szennyezőanyag szóródás, diszperzió.

Mind a hidrodinamikai, mind a makrodiszperzió következtében kialakuló szennyezőanyag-hozam arányos a pórusokban kialakuló átlagos szivárgási sebességgel, továbbá a szennyezőanyag talajbeli szóródásának mértékét leíró paraméterrel, amit **diszperzivitás**nak nevezünk. A szennyezőanyag szóródása eltérő mértékű a szivárgás irányába, illetve arra merőleges irányban vízszintesen és függőlegesen, ezért a hullámtanból átvett analógiával beszélünk **longitudinális, horizontális transzverzál-**

lis és vertikális transzverzális diszperzivitásról. A diszperzivitás komponenseinek jelei: α_L , α_{TH} , α_{TV} , dimenziója hosszúság [L].

Az **adszorpció** a szennyezőanyag porózus közeg felületén történő reverzibilis megkötődését jelenti. Ez a folyamat a modellezett tér anyagmérlegében hasonlóan viselkedik, mint egy időben állandóan változó forrás vagy nyelő, függően attól, hogy az adott koncentrációviszonyok között a megkötődés (**adszorpció**), vagy a szennyezőanyag oldatba jutása (**deszorpció**) az uralkodó felületi kémiai folyamat. A szorpciós folyamatok hőmérséklet függőek, ezért a talajok szorpciós jellemzőit állandó hőmérsékleten (izoterm körülmények között) szokás meghatározni. A talajtanban a szorpciós folyamatokat **szorpciós izotermákkal** írják le (5. ábra), mely görbék megmutatják, hogy állandó hőmérsékleten adott póruskoncentráció esetén mekkora a megkötött anyagmennyiség a kémiai egyensúly beállta esetén. A számítások megkönnyítése érdekében a mérési pontokra lineáris vagy nem-lineáris, esetleg összetett függvényeket illesztnek, melyek zárt matematikai alakban leírhatók. A legismertebb szorpciós izotermák a lineáris **Henry-izoterma**, az exponenciális **Freundlich-izoterma**, illetve a logaritmikus **Langmuir-izoterma**. A Henry- és Freundlich izotermákkal elsősorban a híg oldatok megkötődése írható le, a Langmuir izotermával, amely egy telítődési görbe, a tömény oldatok jellemezhetőek. Az izoterma meredeksége mutatja meg a szennyezőanyag pórusvíz és felület közötti megoszlását, ezért ezt a tényezőt **megoszlási együtthatónak** (K_d , [L^3/M]) nevezzük. A lineáris Henry-izotermát a meredeksége meghatározza, ezért ezt egy paraméterrel, a megoszlási együtthatóval jellemezzük. A Freundlich- és Langmuir- izotermák meredeksége pontról pontra változik, ezen függvényeket két-két ú.n. izotermaparaméterekkel lehet leírni. A **bojlási folyamatok** a szennyezőanyag mennyiségének időbeli csökkenéséhez, degradációjához vezetnek. Bár a bojlás két alapvető típusa a kémiai bojlás és a radioaktív bojlás jellegében alapvetően különbözik egymástól, a szennyezőanyagok terjedésének modellezésekor mégis azonos matematikai formában vehetők figyelembe. A bojlás gyorsaságát a **bojlási együttható** (λ , [T^{-1}]) határozza meg, ami a **felezési idővel** (T , [T]) fordítottan arányos mennyiség: $\lambda = \ln 2 / T$.



5. ábra: A Langmuir és a Henry (a), továbbá a Freundlich (b) izoterma alakja

A szennyezőanyagok általában a felszínen vagy a felszín közelében található szennyezőforrásokból jutnak a talajba. A talajba szivárgó szennyeződések előbb egy fizikai értelemben háromfázisú rendszerbe kerülnek, ahol a talaj szilárd közege, a talajvíz (folyadék) és a talajlevegő (gáz) is jelen van (ezt **telítetlen közeg**nek nevezük), majd a gravitáció következtében a szennyezés eljuthat a legfelső vízáradó rétegig, ahonnan kétfázisú (szilárd váz és folyadék, **telített közeg**) rendszerben mozog tovább. A szennyező anyagok egy része a felszín alatti vizek mozgását követi, melyeket **konzervatív szennyezőanyagok**nak nevezünk, és melyeket a hidrodinamika (= a víz mozgásával foglalkozó tudományág) törvényszerűségeinek felhasználásával vizsgálhatunk, más részük az úgy nevezett nem konzervatív szennyezőanyagok más fizikai törvényszerűségeinek engedelmeskednek. A **nem konzervatív szennyezőanyagok**at szokás **nem vízfázisú folyadékok**nak vagy angol rövidítéssel **NAPL** (Non-Aqueous Phase Liquid) vegyületeknek nevezni. Ilyenek lehetnek pl. egyes magas koncentrációban jelenlévő szénhidrogének a talajban. Az NAPL vegyületek mozgását uralkodóan a sűrűségük határozza meg, ennek megfelelően könnyű és nehéz nem vízfázisú vegyületekről vagy az angol nevezéktant átvéve **LNAPL** és **DNAPL** vegyületekről (L = light, D = dense) beszélhetünk attól függően, hogy a külön fázis sűrűsége kisebb vagy nagyobb-e a vízénél. A DNAPL vegyületek mozgását uralkodóan a sűrűségkülönbség miatt felhajtóerő (DNAPL esetében „lehajtóerő”), a szivárgó felszín alatti vizek áramlási nyomása, továbbá az áramló közeg (szennyezőanyag) és az áramlási közeg (talaj) tulajdonságai határozzák meg.