

HIDROLEOLÓGIA XI.

Emberi tevékenység hatása a felszín alatti vizekre,
vízszintsüllyedések, vízminőség változások, vízminőség
és vízkészlet védelem. Transzportfolyamatok a felszín
alatti vizekben

Kovács Balázs – Bálint András – Szanyi János

Bevezető

- A Föld édesvíz készletét két világméretű káros hatás fenyegeti:
 - A vízbázisok túlhasználata (vízkészlet mennyiségi védelme)
 - A vizek elszennyeződése (vízkészlet minőségi védelme)

Mindkettő az emberi tevékenységből ered, és nem ritkán egyszerre, együtt jelenik meg.

Felszín alatti vízkészletek osztályozása I.

- **Természetes vízkészlet:** a természetes vízkörforgalomban résztvevő vízmennyiség.
 - A természetes vízkészlet hasznosítás szempontjából két csoportra osztható:
 - A, hasznosítható készlet
 - B, nem hasznosítható készlet
 - A természetes vízkészlet időbeliség szempontjából is két csoportra osztható:
 - A természetes **statikus vízkészlet:**
 - A felszíni és felszín alatti víz térfogatát jelenti
 - Felfogható, mint egy a vízkörforgás „mozgófilmjének” egy kimerevített kockája
 - A természetes **dinamikus vízkészlet:**
 - Fluxus vagy hozam jellegű mennyiség egységnyi idő alatt egy térrészbe/ből áramló vízmennyiség vagy egy felületen keresztül-áramló mennyiség
 - az a volumetrikus és áramló vízmennyiség amely természetes körülmények között utánpótlódással rendelkezik. Az utánpótlódási hozam a természetes vízforgalom hozama. A dinamikus készlet abban különbözik a statikus készlettel, hogy a termelés megszűnése után újratöltődik.
 - **Gazdaságosan kitermelhető dinamikus vízkészlet:** a természetes dinamikus vízkészletnek az a hányada, amelyet kitermelhetünk anélkül, hogy valamely terület természetes vízforgalmát vagy más hidrológiai vízbányászati jellemzőit károsan megváltoztatnánk.

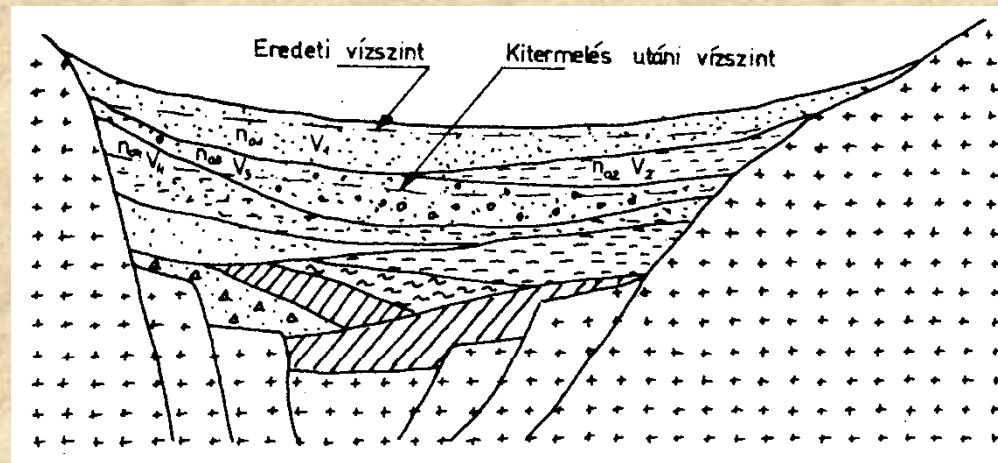
A kitermelhető felszín alatti vízkészlet elemei

Statikus készlet-fajták:

- A vízszint csökkenése révén felszabaduló vízmennyiség
- A víz rugalmas tágulása révén felszabaduló vízmennyiség
- A gáz rugalmas tágulása révén felszabaduló vízmennyiség
- A konszolidáció miatt felszabaduló vízmennyiség

Dinamikus rétegvíz-készlet

A vízszint csökkenése révén felszabaduló vízmennyiség



A vízszint csökkenése miatt - nyílttükrű rendszer esetén - a pórusok egy része gravitációsan leürül, ezek térfogata

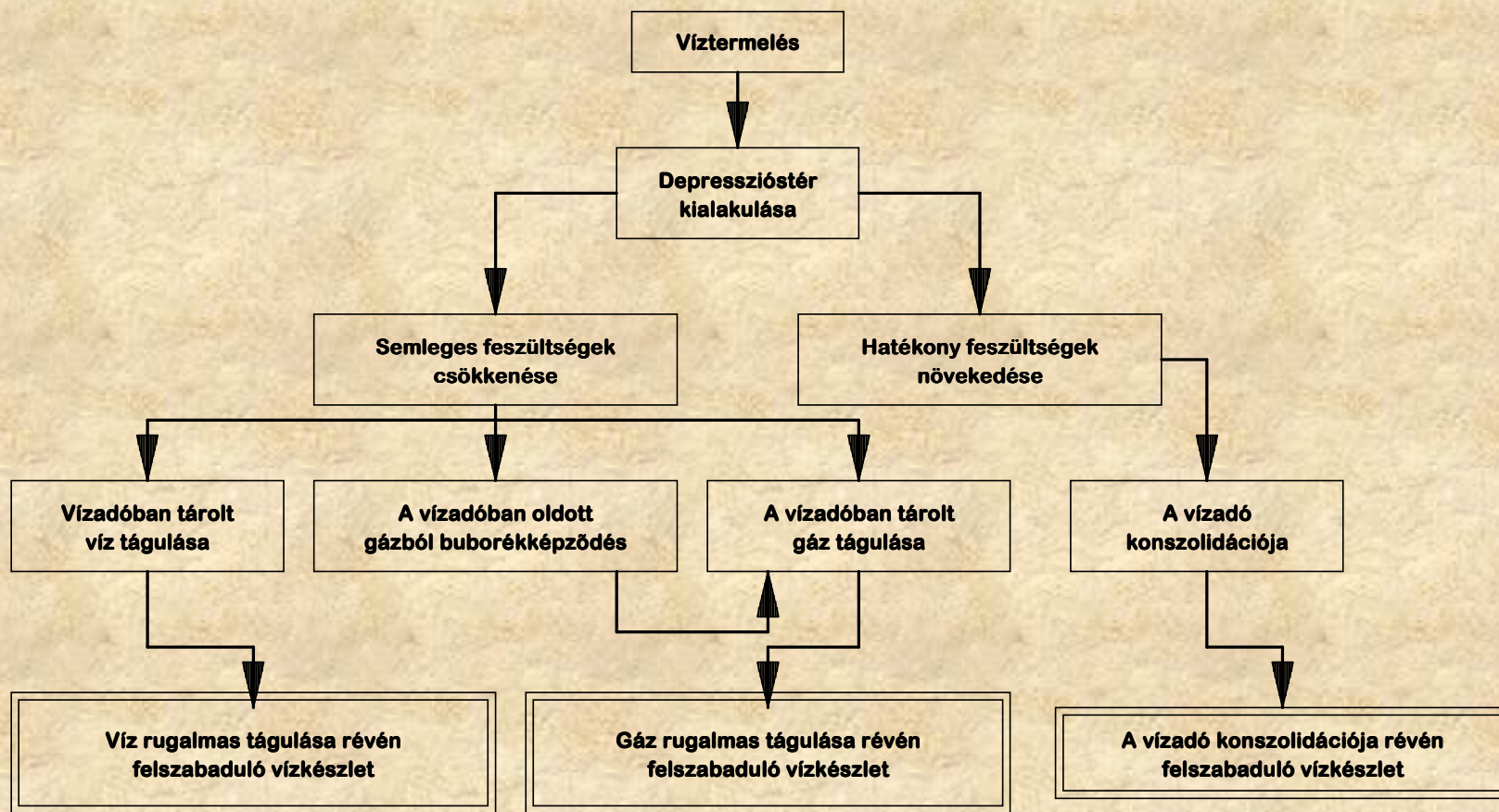
Kutas megcsapolásnál a depresszióstőlcsér térfogatának és a szabad hézagtérfogatnak a szorzata, sík megcsapolásnál, rétegzett rendszer esetén:

$$V_{\max} = \sum_{i=1}^n m_i n_{0i}$$

Feszültségek a talaj-víz rendszerekben

- A feszültségek típusai: hatékony és semleges
 - Hatékony feszültségek: közetek szemcséin keresztül átadódó feszültségek
 - Semleges feszültségek: a pórusfolyadékön keresztül átadódó feszültségek
- A nyomásváltozás hatására a képződményen belüli feszültségviszonyok rendeződnek át
 - Nyomásemelkedéskor a semleges feszültségek nőnek, a hatékony feszültségek csökkennek
 - Nyomáscsökkenéskor a semleges feszültségek csökkennek és a hatékony feszültségek nőnek

A víztermelés-okozta feszültségátrendeződés és a készlet-nemek kapcsolata



A víz rugalmas tágulása révén felszabaduló vízmennyiség

A folyadék rugalmasságát a rugalmas térfogat-kiterjedés tényezője (a térbeli rugalmassági modulus reciproka) határozza meg:

$$E_v = \frac{1}{B_v} = \rho \frac{dp}{d\rho}$$

A folyadék rugalmas térfogat-kiterjedés tényezője azt fejezi ki, hogy a víz térfogata egységnyi nyomásváltozás hatására térfogata hányadrészával változik:

A folyadék rugalmas térfogat-kiterjedés tényezője függ:

- a víz nyomásától
- a víz hőmérsékletétől
- a víz sótartalmától
- a víz gáztartalmától

Felszín alatti vízkészletek osztályozása II.

- **Biztonságos hozam:** (safe yield) eredetileg a felszín alatti víztermelés és az éves utánpótlódás hosszú időtartamú egyensúlya.
- Később: egy vízadó formáció biztonságos hozama az, amelyet a víz mennyiségi és minőségi károsodása nélkül igénybe lehet venni.
- A „biztonságos hozam” koncepció alkalmazásának idején nem vették figyelembe a más vízadókkal való kapcsolatot és kölcsönhatást, valamint a környezeti hatásokat. Ez több váratlan következménnyel járt, úgymint folyók, források, vizes élőhelyek kiszáradása, ökoszisztémák károsodása és a felszín alatti vizek szennyeződése.
- **Gyakorlatilag tartós hozam:** (practical sustained yield) az a hozam, amely évenként kivehető anélkül, hogy nemkívánatos hatások lépnének fel, ezért nem haladhatja meg a sokévi utánpótlódás átlagát. Előfordulhat, hogy egyik évben többet termelnek ki, mint az utánpótlódás, de átlagosan ki kell egyenlítődnie a táplálásnak és a megcsapolásnak.
- **Fenntartható hozam:** (sustainable yield) A vízkészletek fenntartható használata nem csak a készletek túlhasználatának elkerülését, hanem a természeti környezet védelmének feladatát is jelenti.

A vízbázisok túltermelése

- **A túltermelés:** az a helyzet, amelyben az átlagos vízkivétel mértéke tartósan meghaladja az átlagos utánpótlódás mértékét → a rendszer már nincs fenntartható állapotban.
- **A túltermelés negatív hatásai:**
 - a potenciometrikus szintek fokozatos süllyedése
 - a források hozamának fokozódó csökkenése
 - az áramlási rendszer áramképének megváltozása
 - a nyomásváltozás módosító hatása az utánpótlódás mechanizmusára.
 - a pórusvíznyomás csökkenése miatt térszíni süllyedések bekövetkezése.
 - fokozódó vízminőségromlás
 - ökológiai károsodások jelentkezése
 - a kitermelési költségek növekedése

A vízbázisok fenntartható használata I.

- - a készletek túlhasználatának elkerülése
- - a természetes környezet védelme (a vízfolyások alaphozamának biztosítása; a parti növényzet, vízi ökoszisztémák védelme, vizes élőhelyek védelme)
- - a társadalom vízigényének kielégítése
- - a készletek hosszú időtartamú megőrzése a következő generációk számára.
- A feladat: a felszíni és felszín alatti vizek koordinált használata oly módon, hogy az utóbbiak tartalékoljanak többlet vízkészletet a bővizű periódusokban és tárolóként működjenek a száraz periódusokban.
- Probléma: egyes vízbázisok esetén a készlet nem megújuló, ezért használata nem lehet fenntartható.

A vízbázisok fenntartható használata II.

- A rendszer új egyensúlyi állapotának, a fenntartható termelés állapotának eléréséhez a szivattyúzásnak vagy az utánpótlódás (recharge) növelését és/vagy más vízelvonások(discharge) csökkentését kell biztosítani.
- - a felszín alatti víz szivattyúzása rendszerint kis hatással van az utánpótlódásra, ahol a folyó vagy vízvásztó távol van vagy a talajvíz mélyen áll és ahol az utánpótlódás a klimatikus viszonyok függvénye.
- - a természetes vízelvonást csökkentheti a szivattyúzás azáltal, hogy süllyeszti a magasan álló talajvízszintet s ezzel csökkenti az evaporációt.

Az emberi tevékenység hatása a vízmérlegre

Egy nem termelt vízadó természetes utánpótlódása:

Utánpótlódás=csapadék+felszíni víz hozzáfolyás+importált víz (pl. kompakció során felszabaduló víz)+felszín alatti víz hozzáfolyás-
-evapotranspiráció+evaporáció+felszíni vízfolyás+exportált víz
(pl. víz csapdázódás)+felszín alatti vízeláramlás±a felszínen tárolt víz változása

Antropogén tevékenység esetén az utánpótlódás kiegészítő számítása:

Utánpótlódás_{antropogén}: ipari használat+közművekből származó+háztartási használat+öntözés-
-evaporáció+az öntözővíz evapotranspirációja+termékekbe exportált víz+csöveken történő elszivárgás felszíni vizekbe

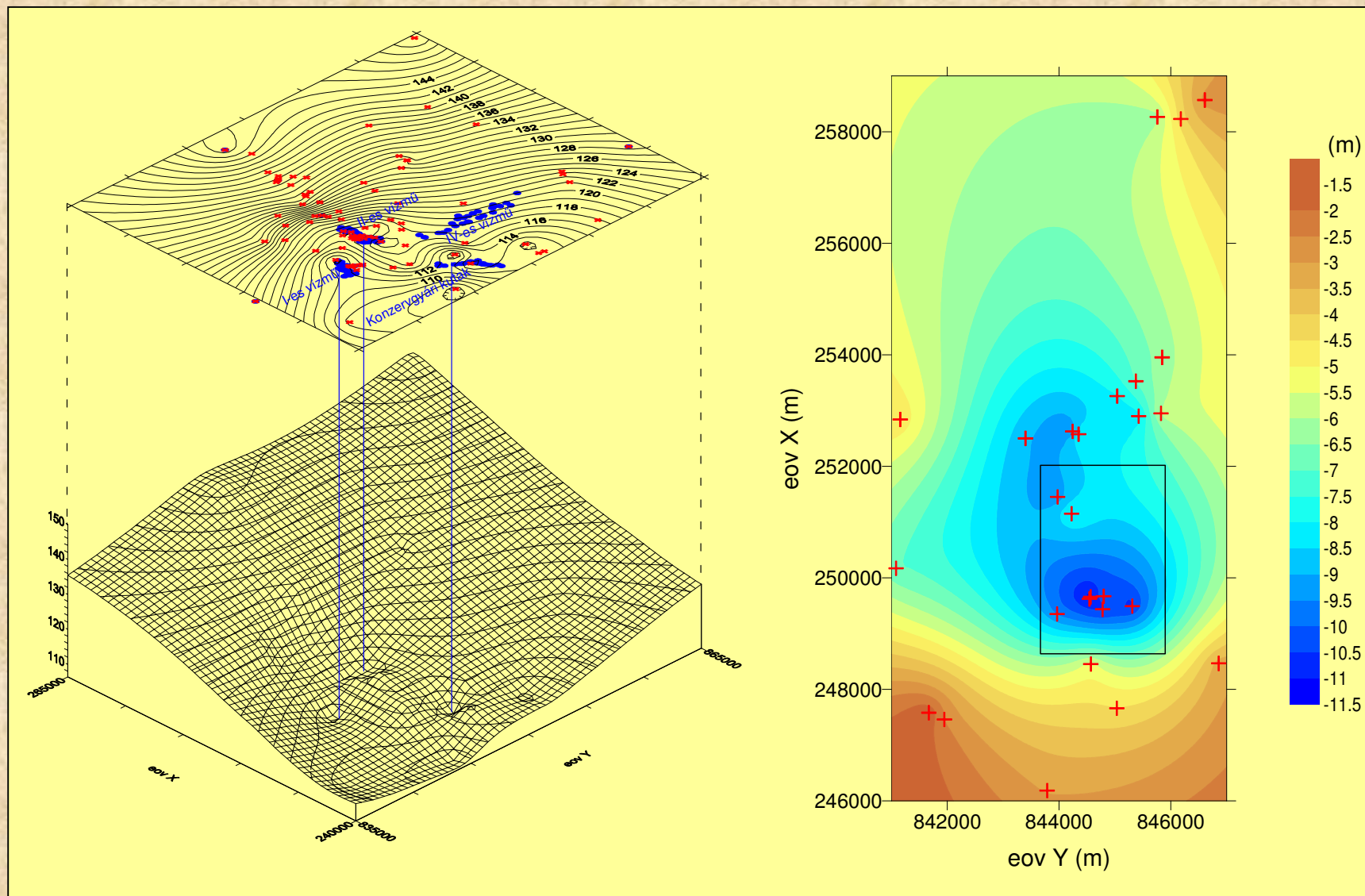
A potenciometrikus szintek csökkenése

- Az elmúlt fél évszázadban robbanásszerűen megnőtt a felszín alatti vizek igénybevétele közösségi, ipari és mezőgazdasági célokra.
- Ennek következtében világszerte:
 - süllyednek a vízszintek
 - romlik a víz minősége
 - károsodnak a vízi ökoszisztémák
 - irreverzibilis térszíni süllyedések következnek be.
 - a világ felhasználható édesvízkészletei csökkennek.

A potenciometrikus szintek csökkenése Magyarországon I.

- A **nagyobb alföldi városokban** a kútcsoportos vízművek már az 1970-es évek közepére jelentős mélységű és kiterjedésű depressziós tölcsérek kialakulását eredményezték. (pl. Debrecen (24m/20km); Szeged (8m/10km), Gyöngyösvisonta (80m/??km))
- A tartós, koncentrált nagy rétegvíz-kitermelés következtében regionális mértékű nyomásszint-csökkenés állhat elő, amely a peremterületeken az áramlási rendszerek megváltozásához vezet. (pl. D-Nyírség)
- A nagymértékű rétegvíz-kitermelés következtében nőnek a vertikális hidraulikai gradiensek, ami hidraulikai értelemben a szivárgási sebességek arányos növekedését jelenti.

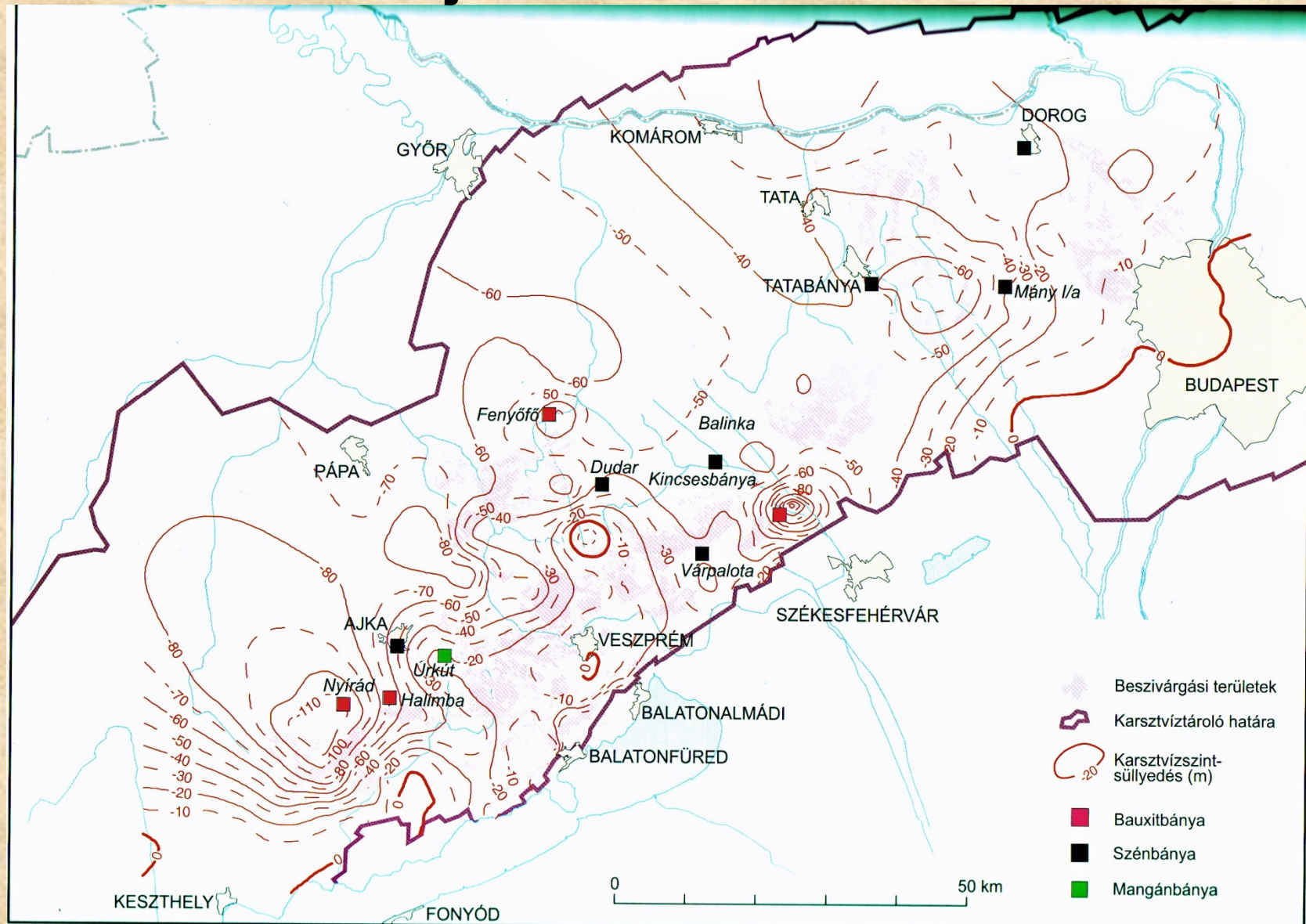
Vízszintcsökkenés a Nyírségben



A potenciometrikus szintek csökkenése Magyarországon II.

- **A Dunántúli-középhegység karsztvízszintjeinek csökkenése:**
- A karsztvízszintek regionális kiterjedésű csökkenése a bányászati tevékenység hatására
- A csökkenés mértéke a 80-as évek második felében átlagosan 50m, de helyenként elérte a 110m-t is
- A vízszintcsökkenés hatására veszélybe kerül a Hévízi-tó, illetve a Budai hévforrások
- Az azóta történt bányabezárások és bányavíz-kivételek jelentős csökkenésének eredményeként a karsztvíz-kivétel az 1980as szint közel egyharmadára esett vissza.
- Jelenleg a karsztvízszintek regionális emelkedése figyelhető meg (Tata Fényes-fürdő forrásai, Tapolcai tavasbarlang, stb.)

A Dunántúli-középhegység karsztvízszintjeinek csökkenése



A talajvízszint változása az emberi tevékenység hatására I.

- A talajvíz nagymértékben ki van téve az emberi tevékenység hatásának.
- Felszínhez közeli vízkivételek növekedése → sok helyen a talajvízszint süllyed
- Ha a csatornázottság nem követi a vezetékes ivóvízellátás kiépülését a települések területén emelkedő talajvízszintek is előfordulhatnak.

Az 1960-as évek közepe óta a Nagykunságban és a Tisza mentén Szegedig a talajvíz folyamatosan emelkedett, helyenként meghaladta a +4m-t.

Az 1970-es évektől a Duna-Tisza közén jelentős talajvízszint csökkenések figyelhetők meg, amelynek okát a szárazság mellett a nyomás alatti rétegvizek fokozott mértékű kitermelésében látják.

A talajvízszint változása az emberi tevékenység hatására II.

- A felszín alatti víz egységes hidraulikai rendszer, amelyben mind a nyomásváltozások terjedése, mind a folyadékok mozgása különböző mértékben folyamatosan végbemegy.
- A vízbázisok fokozott igénybevétele következtében a hidraulikai tulajdonságok és ezzel együtt az áramlási rendszerek paramétereinek változása következik be.
- Tartós, több évtizedes víztermelés során kapcsolat létesül a talajvíz és a mélyebb rétegvizek között. A fenti kapcsolat akkor is létrejön, ha a vízbázist jelentő vízáadó összletet 20-50m vastag iszapos, agyagos vízzáró (vízlassító) rétegek választják el a talajvíztől.

Térszínsüllyedés folyadék-kitermelés hatására I.

- **Az emberi tevékenység hatására előálló süllyedések okai:**
 - a felszín alatti vizek tartós szivattyúzásának hatására bekövetkező potenciometrikus magasságcsökkenés
 - nyersolaj, földgáz termelését követő mélységi nyomáscsökkenés
 - bányászati tevékenység.
- **Természetes okokra visszavezethető süllyedések:**
 - mély fészke tektonikai mozgások és földrengések
 - recens, finomszemcsés üledékek kompakciója, a felettük fekvő üledékek túlsúlyának, vagy földrengés által kiváltott vibráció hatására.

Térszínsüllyedés folyadék-kitermelés hatására II.

- Ha a vízadóban az eredeti „h” hidraulikus emelkedési magasság (potenciometrikus szint) Δh értékkel csökken a rendszerből víz szabadul fel. Ez a víz három forrásból származik:
 - a nyomás alatti víz expansziójából
 - az aquifer kompressziójából
 - a fedő agyagréteg kompressziójából



Térszínsüllyedés folyadék-kitermelés hatására III.

- A potenciometrikus szintek csökkenése következtében a vízáadó környezetének alacsony permeabilitású rétegeiben irreverzibilis kompakció(vagy konszolidáció) megy végbe, amely térszíni süllyedéseket eredményez.
- Az erősen szivattyúzott nyomás alatti vízáadó rendszerekben a vízzáró kompakcióból származó vízmennyiség lényegében egyenlő a térszíni süllyedés térfogatával és tipikusan elérheti a szivattyúzott vízmennyiség 10-30%-át.

Térszínsüllyedés folyadék-kitermelés hatására IV.

- A vízszinteket tartósan csökkentő vízkivétel térszínsüllyedést eredményez.

$$-dp = d\sigma_e = -\rho \cdot g \cdot d\Psi = -\rho \cdot g \cdot dh$$

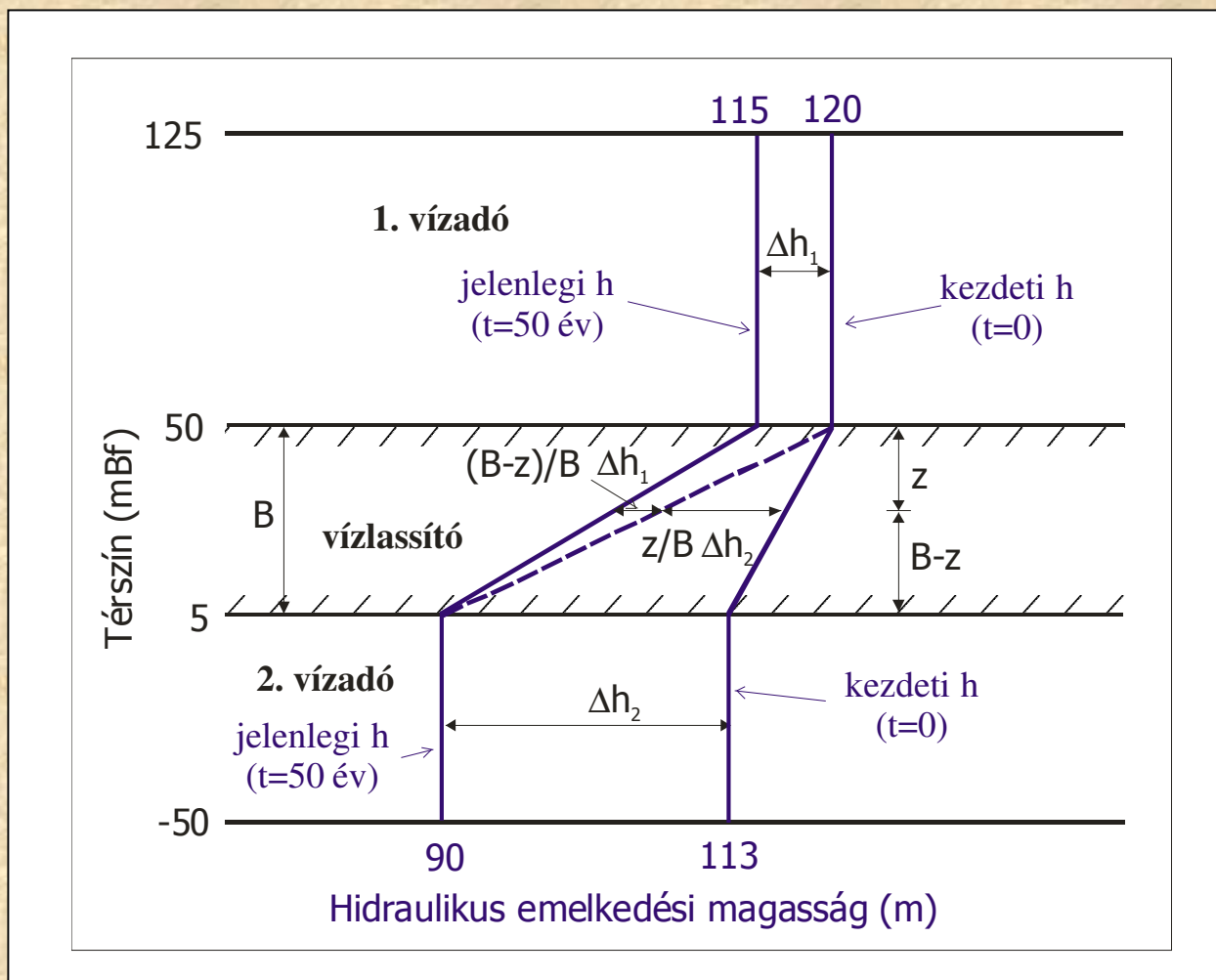
- A pórusnyomás csökkenésével nő a hatékony feszültség az üledékek kompaktciója, konszolidációja révén. Tehát a növekvő hatékony feszültség következtében csökken a porózus közeg térfogata.

Épületkárok a vízszintcsökkenés hatására

- A magasan álló talajvíz hirtelen leszívása következtében épületkárok jelenhetnek meg. (pl. Medgyesbodzás)



Kompakció számítása a vízadóban és vízzáróban



Térszínsüllyedés folyadék-kitermelés hatására V.

- **A konszolidáció hidraulikai hatásai:**

- a süllyedés hatására megváltoznak a közetfizikai paraméterek
→ szivárgási paraméterek megváltozása
- mind a „K” szivárgási tényező, mind az „S_s” fajlagos tárolási tényező változik a porozitással.
- A „K” tényező és a porozitás kapcsolatát a Kozeny-Carman egyenlettel írják le, amely a következő alakú:

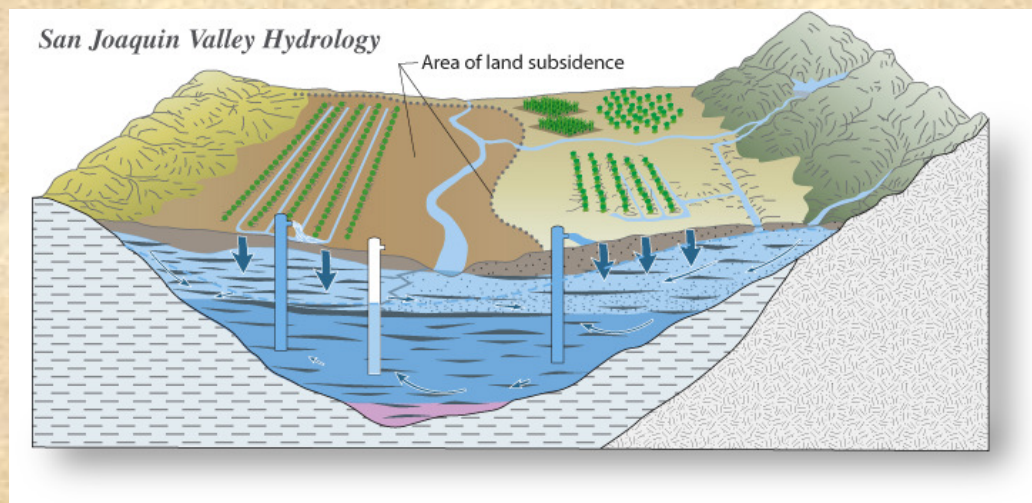
- $$K = K_0 \cdot (n/n_0)^3 \cdot (1 - n_0)/(1 - n)^2$$

- Ahol:

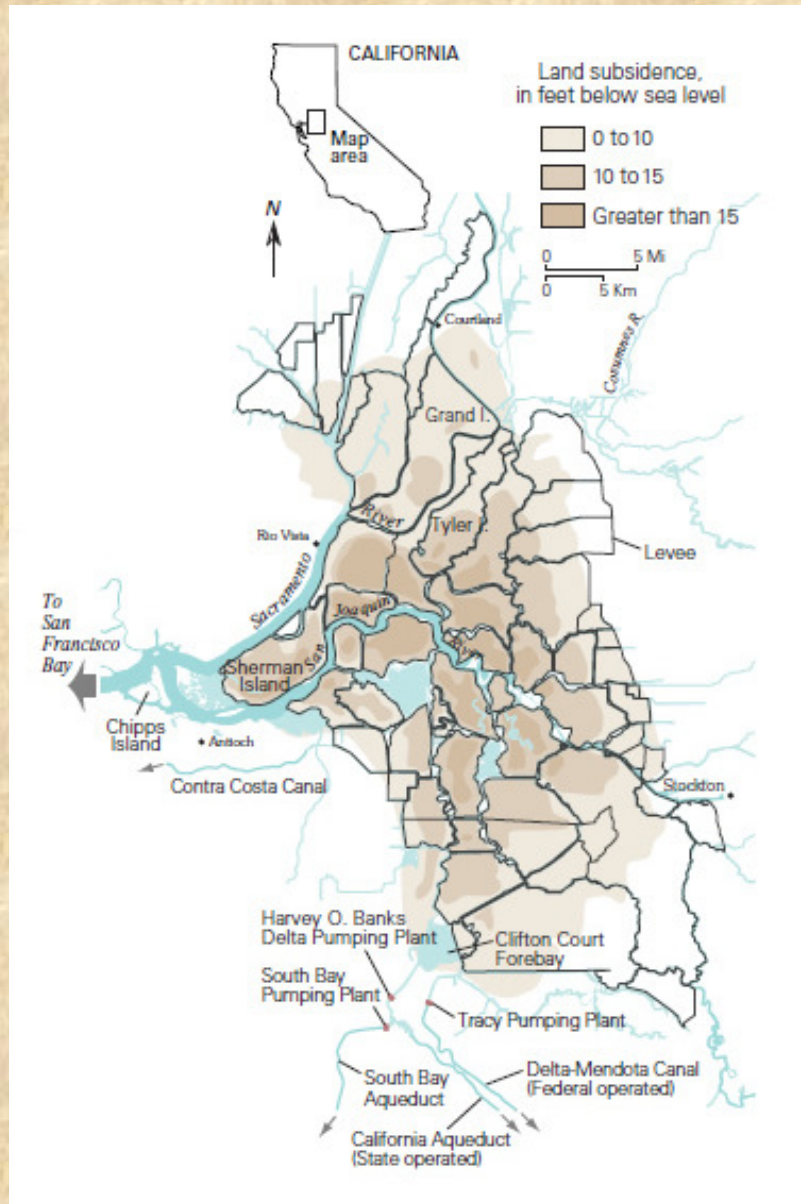
- n₀ és n a konszolidáció előtti és utáni porozitás
- K₀ és K a konszolidáció előtti és utáni szivárgási tényező

Kalifornia: Great Valley

- Területe: 47000km², 725km hosszú, 64km széles
- nagy mezőgazdasági területek→hatalmas vízmennyiség kivétele öntözésre(+lakossági és ipari vízellátás)
- A süllyedés által érintett terület: 13500km²
- Déli részén található a *San Joaquin-völgy* ahol a maximális vízszintsüllyedés 153m volt → a világ egyik legnagyobb ember által okozott térszínsüllyedése: 9m
- 1920as évektől az 1970es évekig 70milliárd m³ vizet szivattyúztak ki és a konszolidáció következtében 20milliárd m³-el csökkent a vízáradó kőzet térfogata.



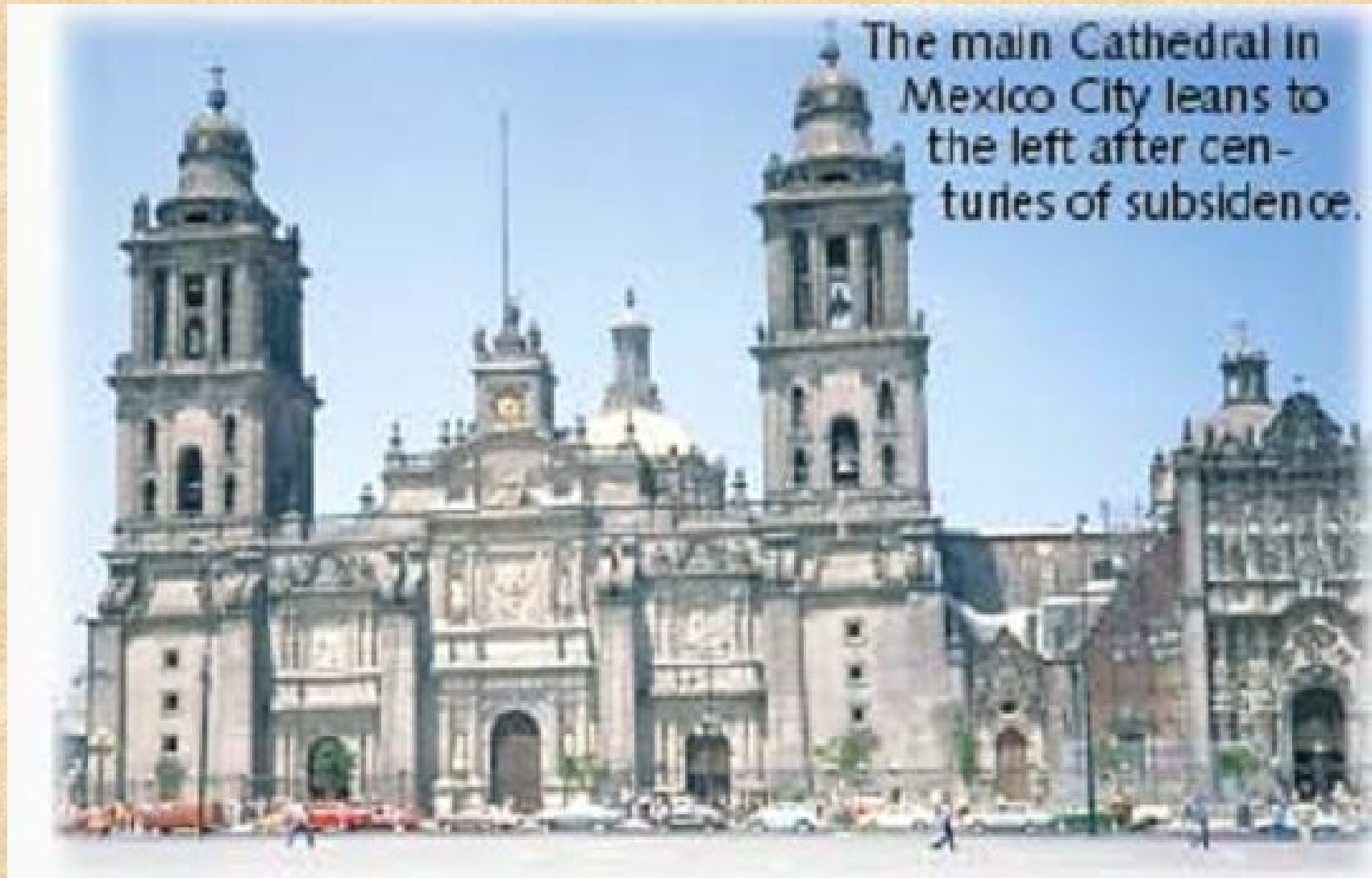
San Joaquin-völgy



Mexico City

- 20 milliós lakosság
- A vízkivételek hatására az egész metropolisz több mint 3m-t süllyedt, de a város egyes részein 9m-es térszínsüllyedést is mértek.
- A kompakció a felső 50m-es zónában játszódik le két nagyon összenyomódó 5-10m és 25-30m közé települt iszapos agyagban.
- A süllyedéssel érintett terület nagysága 150km², átlagosan 20m vízszintcsökkenés mellett.
- A város vízellátását sok helyen a csatornázottság hiányára visszavezethető szennyezések is nehezítik.

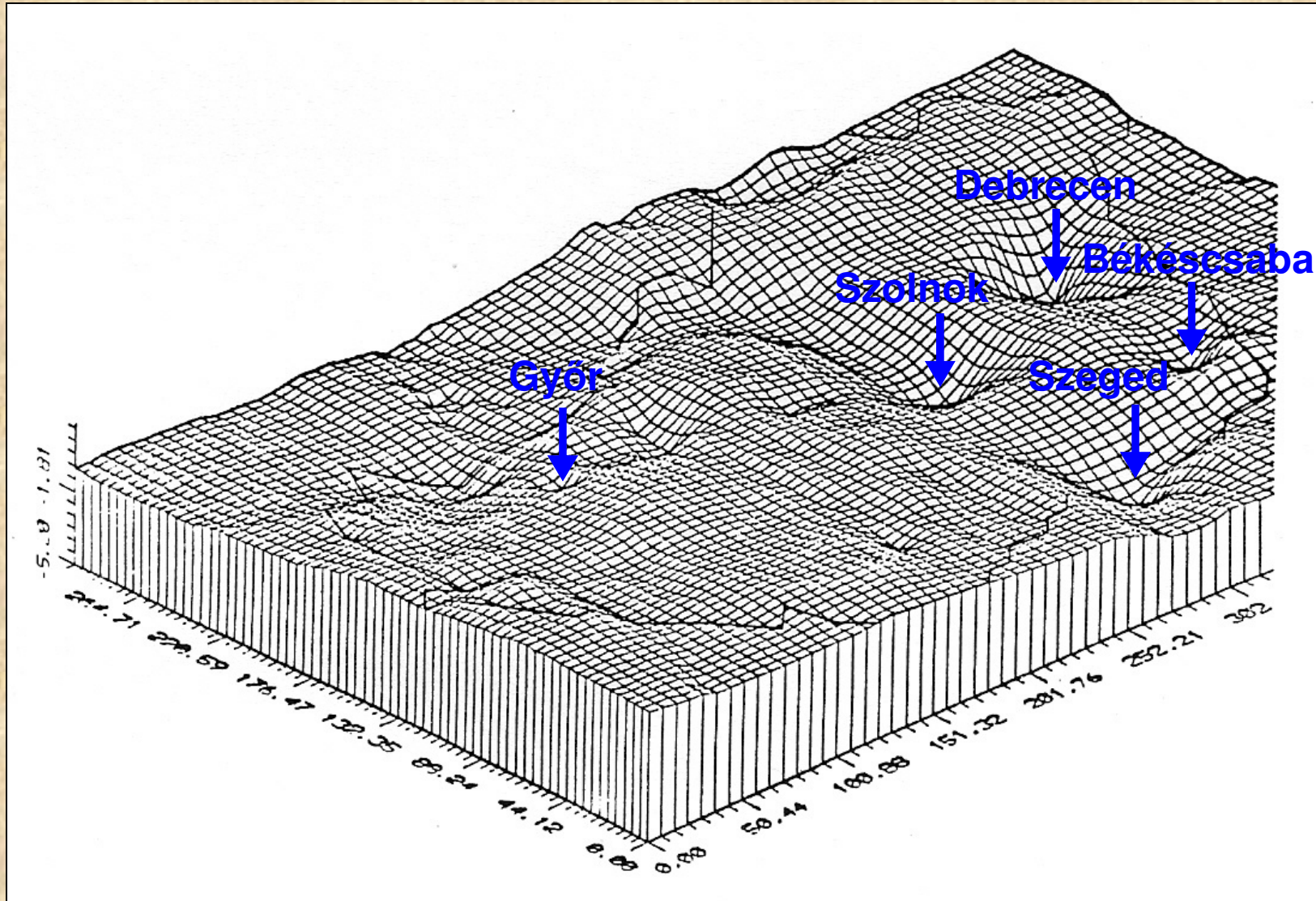
Mexico City



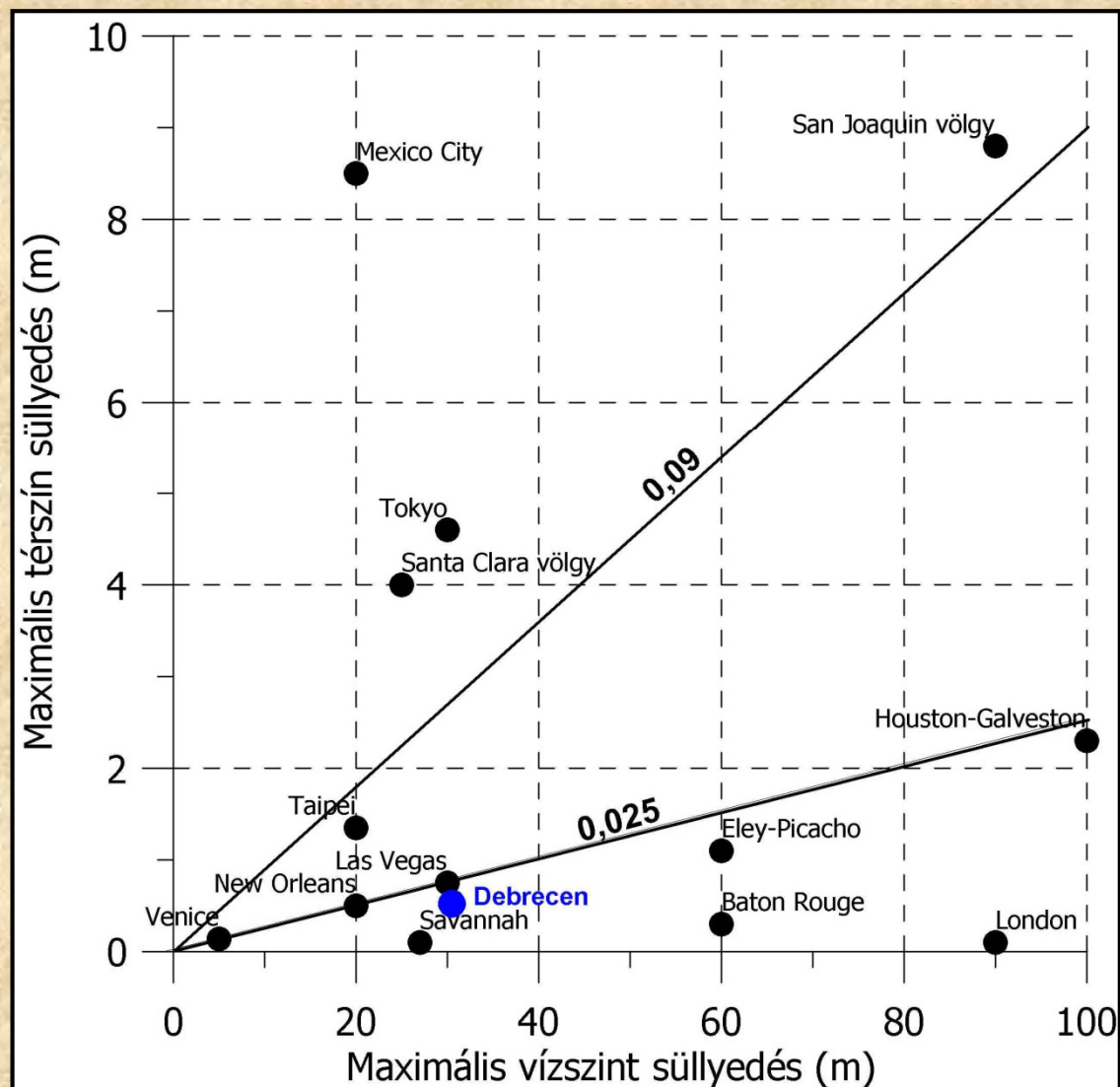
Térszíni süllyedések Magyarországon

- A nagyvárosok területén jellemző, ahol intenzív vízkitermelés zajlik.
- Magyarország legintenzívebben süllyedő területe Debrecen térsége volt mintegy 8mm/éves süllyedéssel.
- Szolnok: -4,3mm/év
- Szeged: -4,1mm/év
- Békéscsaba: -3,8mm/év
- Győr: -2,2mm/év

Térszín süllyedés Magyarországon



Térszín süllyedés a vízszint süllyedés függvényében



Mesterséges visszatáplálások

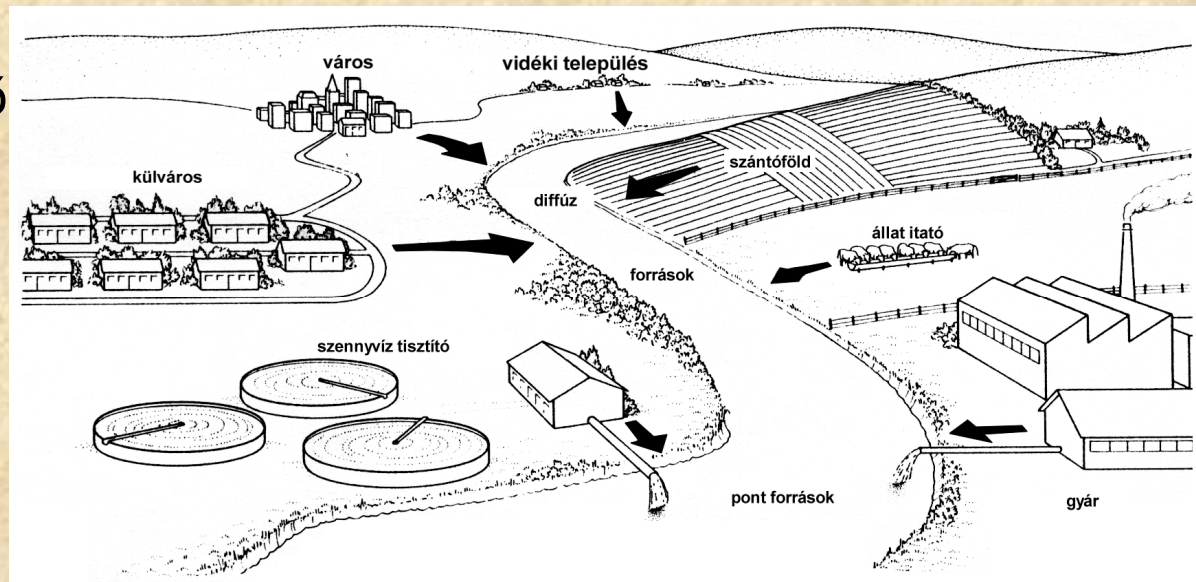
- A társadalom technológiai fejlődése nemcsak a felszín alatti víz kitermelésével, hanem a felszín alá juttatásával is változtatja a hidrogeológiai áramlási rendszereket.
- A települési szennyvizek talajba szivárgása a talajvízszintek emelkedésével is járhat.
- A kommunális vízellátás fejlesztése mindenütt megelőzte a csatornahálózat kiépítését, s az így megemelkedett ivóvízhasználat révén az el nem vezetett vízmennyiségek a települések talajába szivárogtak be.
- A világ számos nagyvárosában(pl. London, Párizs, Barcelona) az utóbbi években jelentősen csökkenteni tudták a vízkivételeket a korábbi évekhez képest, így ezeken a helyeken az emelkedő vízszintek okoznak gondot.(pl. metrók, föld alatti parkolók esetében).
- Ide sorolhatók a visszasajtoló kutak is, melyek száma a jövőben várhatóan növekedni fog Magyarországon a jelenlegi jogszabályok megmaradása mellett.
- Az öntözés szintén a mesterséges utánpótlások egy fajtája.

Vízzennyezés fogalma

- Vízzennyezés alatt az emberi tevékenység hatására kialakuló olyan körülményeket értjük , melyek közvetlenül befolyásolják a felszíni illetve a felszín alatti vizek minőségét.
- Vízzennyezést okoz minden olyan anyag megjelenése vízben, mely károsan befolyásolja a természetes vizek emberi fogyasztásra való alkalmasságát, illetve korlátozza vagy lehetetlenné teszi a vízi élet számára.

A vízszennyezés módjai

- **Pontszerű szennyezés** során a szennyezőanyag a szennyező forrásból csővezetéken, vagy nyílt csatornán keresztül kerül a felszíni vagy felszín alatti vizekbe.
- **Diffúz szennyezés** során a szennyező anyag nagyobb térbeli kiterjedésben kerül a vízbe.
- **A szennyezőanyag térbeli kiterjedésétől függően lehet:**
 - Lokális
 - Vízgyűjtőre kiterjedő
 - Regionális
 - Kontinentális



A szennyező anyagok csoportosítása

- A szennyezést okozhatja természetes anyag abnormális koncentrációja vagy természetidegen anyag(xenobiotikum)
- A szennyezőanyagok fizikai állapotukat tekintve lehetnek szilárd; vizes fázisban oldott, szuszpendált formában, vagy elkülönült formában+gáz fázisban talajlevegőben vagy vízben oldva
- Kémiaailag lehetnek szerves vegyületek, szervetlen elemek, vagy szervetlen vegyületek
- Hatásaik alapján lehetnek toxikusak, mutagének, karcinogének, teratogének stb. A hatás esetenként előfordulhat hogy koncentrációfüggő. Vannak elemek, amelyek kis mennyiségben esszenciálisak, azaz alapvető fontosságúak az élő szervezetek számára.
(pl. P,N)

Konzervatív és nem konzervatív szennyezőanyagok

- A szennyezés eltávolítása szempontjából lényeges, hogy a szennyezőanyagra alkalmazhatók-e a fő hidrodinamikai törvényszerűségek.
- Ez alapján megkülönböztetünk:
 - **konzervatív szennyezőanyagokat:** a víz mozgását követik
 - **nem konzervatív szennyezőanyagokat:** más törvényszerűségeknek engedelmeskednek

LNAPL és DNAPL

- A nem konzervatív szennyezőanyagokat szokás **nem vízfázisú folyadékok**nak nevezni. (Angol: Non-Aqueous Phase Liquids: **NAPL**).
- A NAPL vegyületek mozgását a sűrűségük határozza meg, ennek megfelelően könnyű(**LNAPL**) és nehéz(**DNAPL**) nem vízfázisú vegyületekről beszélünk. A DNAPL vegyületek nagy sűrűségük miatt lesüllyednek a vízádók alá, míg a LNAPL vegyületek kis sűrűségük miatt a víz tetejére úsznak ahol önálló fázist képeznek.

Vizek szennyeződése I.

- **Légköri kontamináció:** a légkörbe juttatott gázok, szemcsés anyagok megváltoztatják a csapadék vegyi összetételét.
 - savas esők és radioaktív esők kialakulása→kedvezőtlen hatás a bioszférára.
 - mivel a felszín alatti vizek csapadék eredetűek, ezért egy *elsődleges kontamináció* már a légkörben végbemegy.
 - Az eredet és a felszín alá jutási és tartózkodási folyamat során kialakuló kölcsönhatások jellemző módon meghatározzák a vizek minőségét és tulajdonságait.

Vizek szennyeződése II.

- **Kontamináció a litoszférában**: a beszivárgási folyamat során, illetve a talajban vagy kőzetben való mozgás és tartózkodás ideje alatt *másodlagos kontamináció* alakulhat ki.
- Geológiai és geokémiai folyamatok által jellegükénél vagy koncentrációjuk mértékénél fogva használatot korlátozó anyagok kerülhetnek a vízbe.
- Jelenleg a Föld édesvíz készleteiben az arzén a leggyakoribb természetes eredetű kontamináció.

Vizek szennyeződése III.

- **Felszínről érkező kontamináció:**
 - egyértelműen antropogén hatás
 - keletkezhet a károsodott minőségű felszíni vizek beszivárgásából vagy szilárd és cseppfolyós anyagok lokális vagy területi felszín alá jutásából.
 - a felszíni vizek szennyeződései főleg ipari és mezőgazdasági eredetűek.
 - a kiömlő folyadékok havária jellegű beszivárgása, a talaj felszínére került szilárd kémiai és radioaktív anyagok bemosódása, a kommunális szennyezőkből származó anyagok migrációja a talajvizek és talajok kontaminációjának végtelen számú változatát eredményezik.
- A rétegvizek esetében döntően biztosított az antropogén hatások kivédése, de nagy mennyiségű, hosszú ideig tartó vízkitermelés hatására az áramlási viszonyok olyan mértékben módosulhatnak, hogy lehetővé válik a felszínről történő kontamináció még vastag védőréteg esetén is.

Vizek szennyeződése IV.

- **A kitermelt víz kontaminációja:**
- A felszín alól kitermelt, már a felszínre került vízben alakulhat ki.
- Akkor keletkezik, amikor a víz magában a szállító vagy tároló berendezésekben (tárolók, csővezetékek) vesz fel káros komponenseket.
- A rómaiak vízvezeték hálózatában jelentős mennyiségű ólmot használtak fel→a Római Birodalom bukásához feltehetően a hosszú időn keresztül ható tömeges ólommérgezés is hozzájárult.
- Napjainkban az ivóvízvezetékekben tiltott az *ólom* használata. A víz minőségét elsősorban a *bakteriális tevékenység* befolyásolja.
- A víz bakteriális minőségének változása a vízelosztó hálózatban a biofilmműködés következménye. A cső falán, a hordozófelületen rögzült biomasszát biofilmnek nevezzük. A biofilm olyan főleg poliszacharidokból álló gélnek tekinthető, amelyben a mikroorganizmusok diszpergálva vannak.
- Az aktív klór mérsékli, de nem küszöböli ki a bakteriális aktivitást a hálózatban, mivel jelentős a biofilmbe ágyazott mikroorganizmusok klórral szembeni ellenálló képessége.
- A szerves anyagok egy része gyorsan reagál a klórral a tisztítási eljárás során és ezáltal illó halogénezett szerves komponensek képződnek. Ezek között vannak a trihalometánok (THM), amelyek rákkeltő hatásúak. Az összes megengedett trihalometán (TTHM) mennyisége az EU-ban 50µg/L.

A hazai felszín alatti vizek nitrátosodása

- Természetes állapotban talajvizeink gyakorlatilag nitrát-mentesnek tekinthetők.
- Az 1970-es években gyorsan felfutó műtrágyahasználat hatására a felszíni és felszín alatti vizeink (talajvíz) minőségében ugyanebben az időben jelentős romlás tapasztalható.
- Emellett potenciális szennyezőforrások még:
 - Állattartó telepek hígtrágya elhelyezésének megoldatlansága
 - Kiskertek szennyvízelhelyezése és műtrágyahasználata

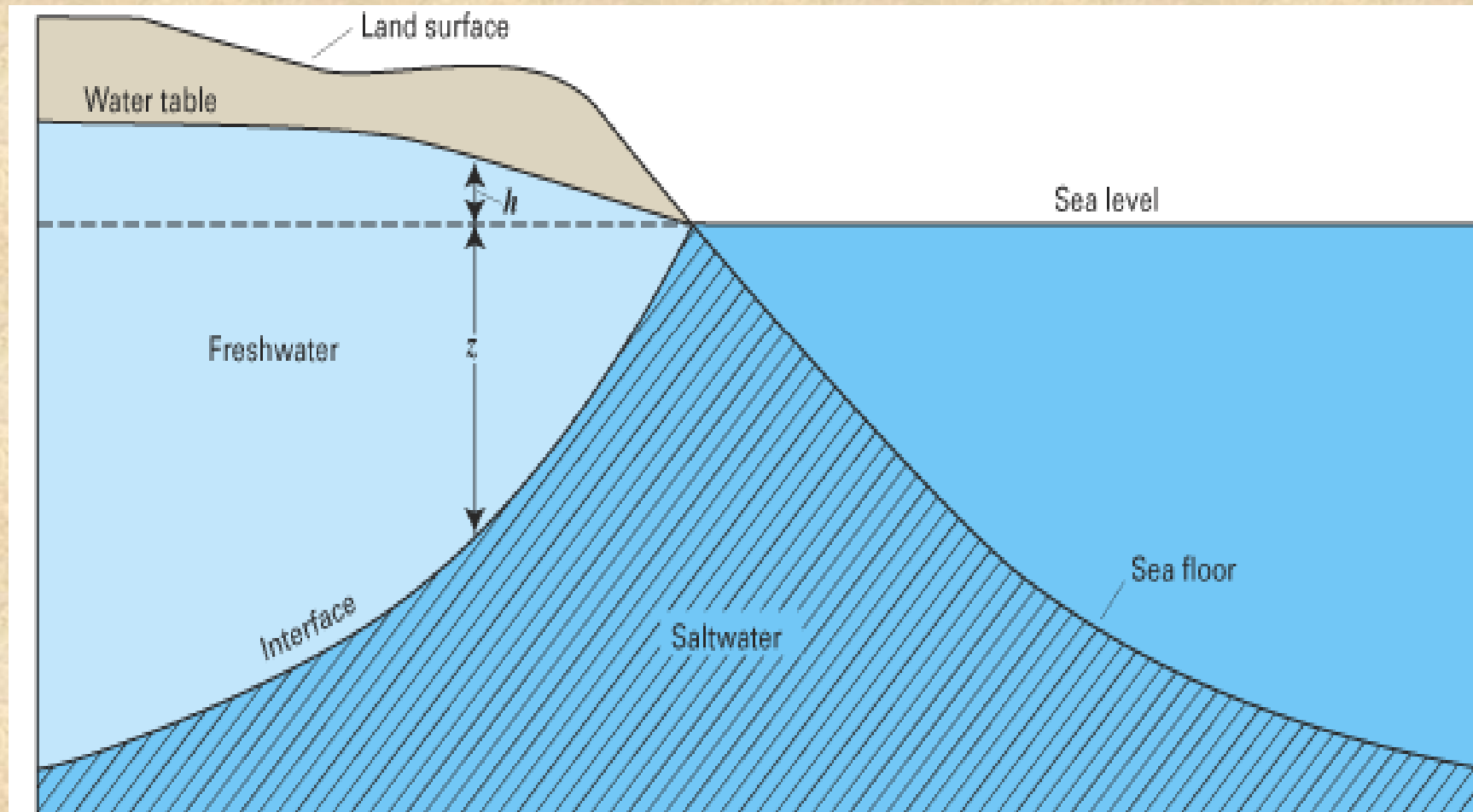
Vízszenyezés fúrt kutakon át I.

- **Felhagyott és sérült kutak szerepe a vízszenyezésben:**
- Különböző nyomású rétegeken áthatoló fúrások: egy rétegzett vízadó rendszerben ezek az aquitardon áthatoló fúrások szabad utat biztosítanak a szomszédos vízadók vizének átáramlásához.
- A nem megfelelő kútkiképzés hatására is előfordulhat, hogy a sekély felszín alatti víz vagy felszíni víz leszivárog és szennyezést okoz a mélyebb rétegekben.
- Az elhagyott kutakat gyakran töltik fel folyékony vagy szilárd hulladékkal ami nyilvánvaló veszélyt jelent a felszín alatti vizekre.
- Magyarországon sok ezerre tehető a rendszerváltást követően gazdátlanná vált, felhagyott mezőgazdasági kutak száma.
- Debrecen környékén több mint 3000 kút, amely a múlt század közepéig a házi vízellátást szolgálta.
- Több ezer kút, amelyek kertek öntözési céljait szolgálta az elmúlt évtizedekben és napjainkban is.
- Különösen beszivárgási területeken jelenthetnek súlyos kontaminációs problémát. Pl. Duna-Tisza köze, Nyírség
- A vízadó kutak élettartama 30-50 évre tehető. A kutak csövezése, palástcementezése idővel megrongálódhat vagy korrodálódhat, ami átáramlást tesz lehetővé a vízadó rétegek között.

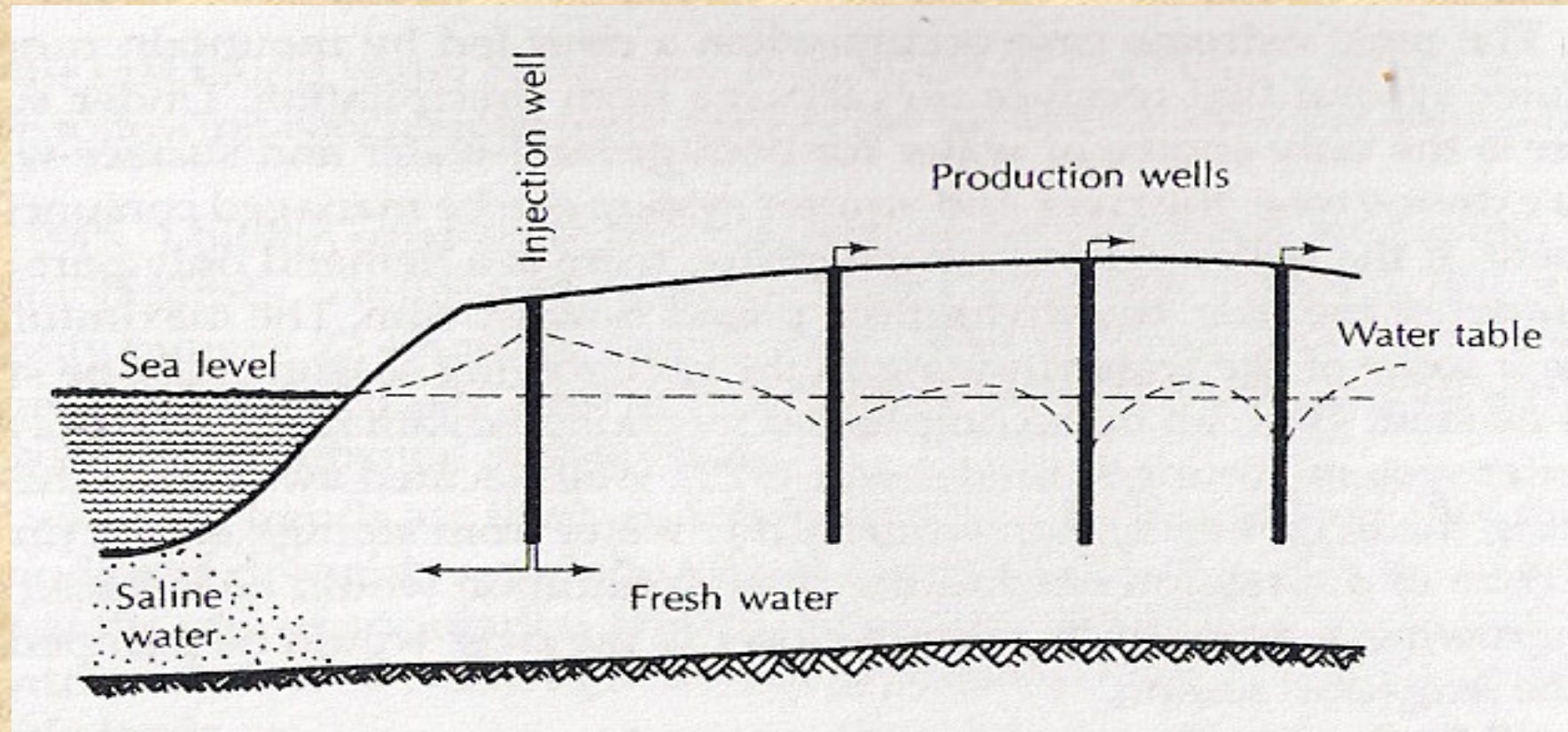
Vízszenyezés fúrt kutakon át II.

- **Szenyeződés átfejtődés több rétegre szűrőzött kutakban:**
- Magyarországon gyakori, hogy a pleisztocén összletbe mélyített kutakat több(4-5) szakaszban is szűrőzték.
- A több szűrőszakaszos kialakítás – első látásra úgy tűnik – nem okoz problémát olyan területeken, ahol a különböző rétegek nyomásszintje azonos, azaz a vertikálisan zéró-gradiensű területeken.
- Ez a szűrőzési technológia súlyos következményekkel járhat azonban a szennyező anyagok transzportja tekintetében, ha a szűrőzött rétegek vagy rétegszakaszok nyomása különbözik.
- A vízáramlás a legkisebb nyomáskülönbség hatására is megindul, mivel a vertikálisan nyitott kútcső ellenállás nélküli áramlást biztosít a víz számára.
- Feláramlási területeken nagy mennyiségű mélységi víz juthat a felsőbb rétegekbe, ami a víz kémiai tulajdonságainak megváltozását eredményezi.
- A megnyitott rétegeken belüli többszakaszos szűrőzés különböző kémizmusú vizek keveredését teszi lehetővé.

Édesvíz-tengervíz határvonala

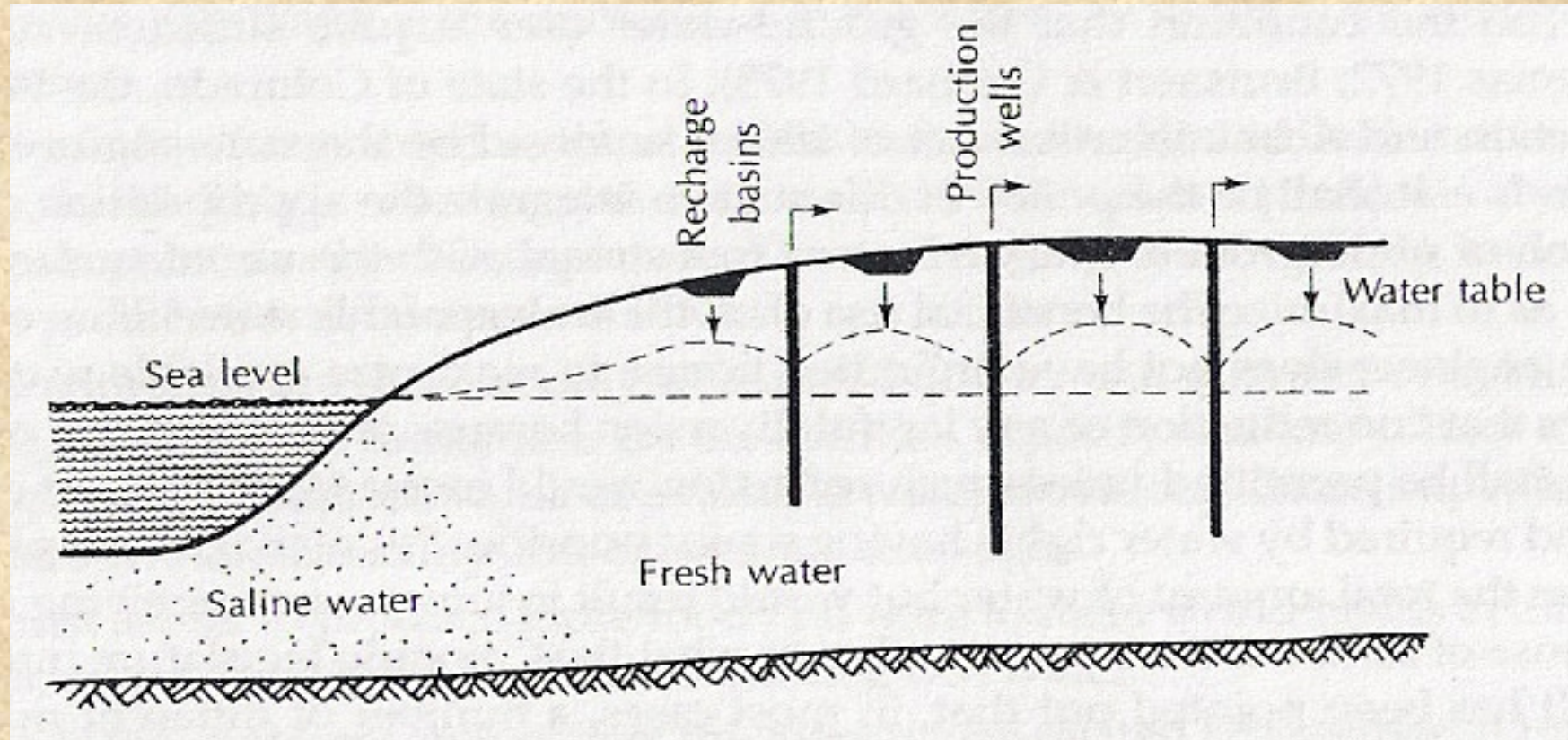


Tengerparti vízadók védelme I.



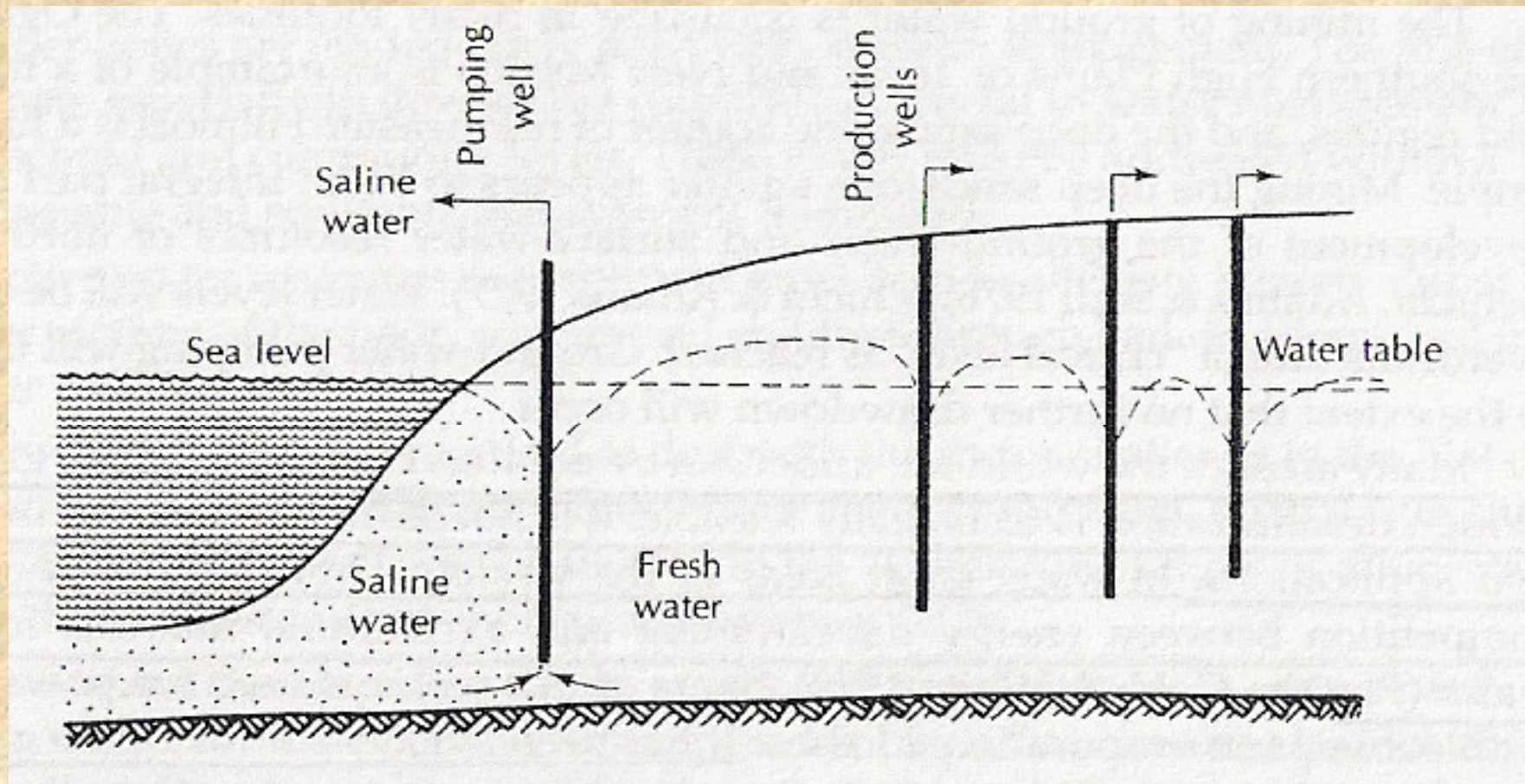
Injektáló kút segítségével nyomásgát létrehozása a tenger felőli sósvíz intrúzió megelőzésére nyílt tükrű parti vízadóban

Tengerparti vízadók védelme II.



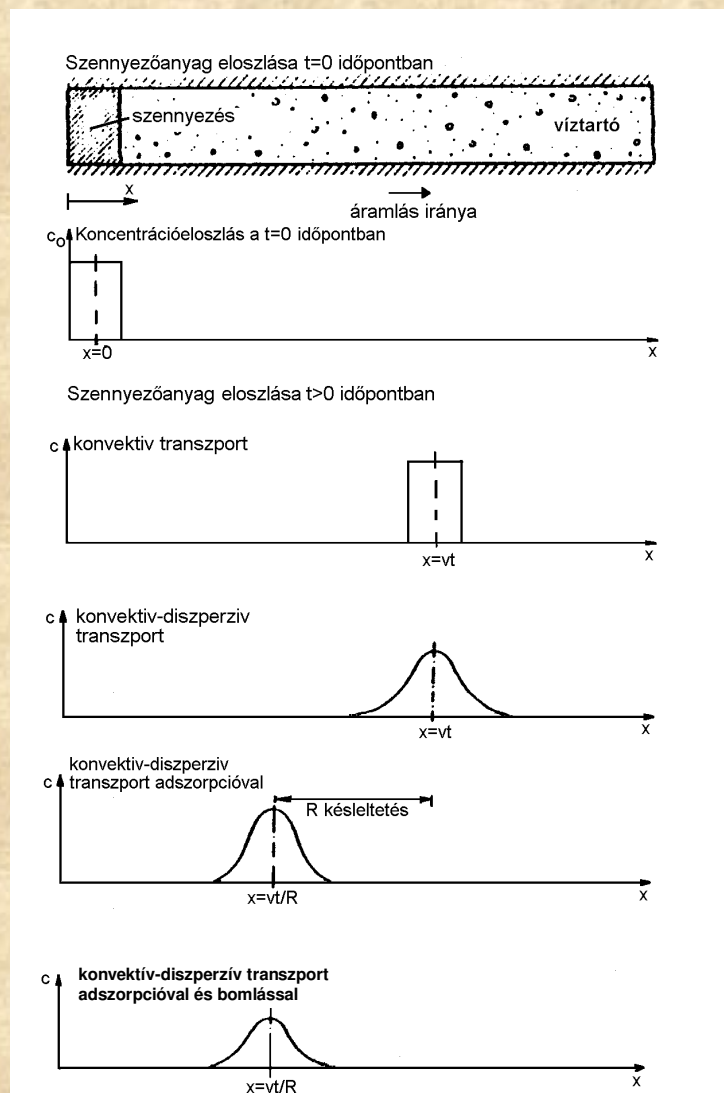
Mesterséges vízutánpótlás alkalmazása a termelő kutak területén egy nyílt tükrű parti vízadóban. A mesterséges vízutánpótlás a víztükör szintjét a tengerszint felett tartja megelőzve a sós víz intrúziót.

Tengerparti vízadók védelme III.



Depresszió létrehozása a parttal párhuzamos kitermelő kutak segítségével; a depresszió megakadályozza a további sós víz betöréseket.

Szennyeződés terjedés elemei



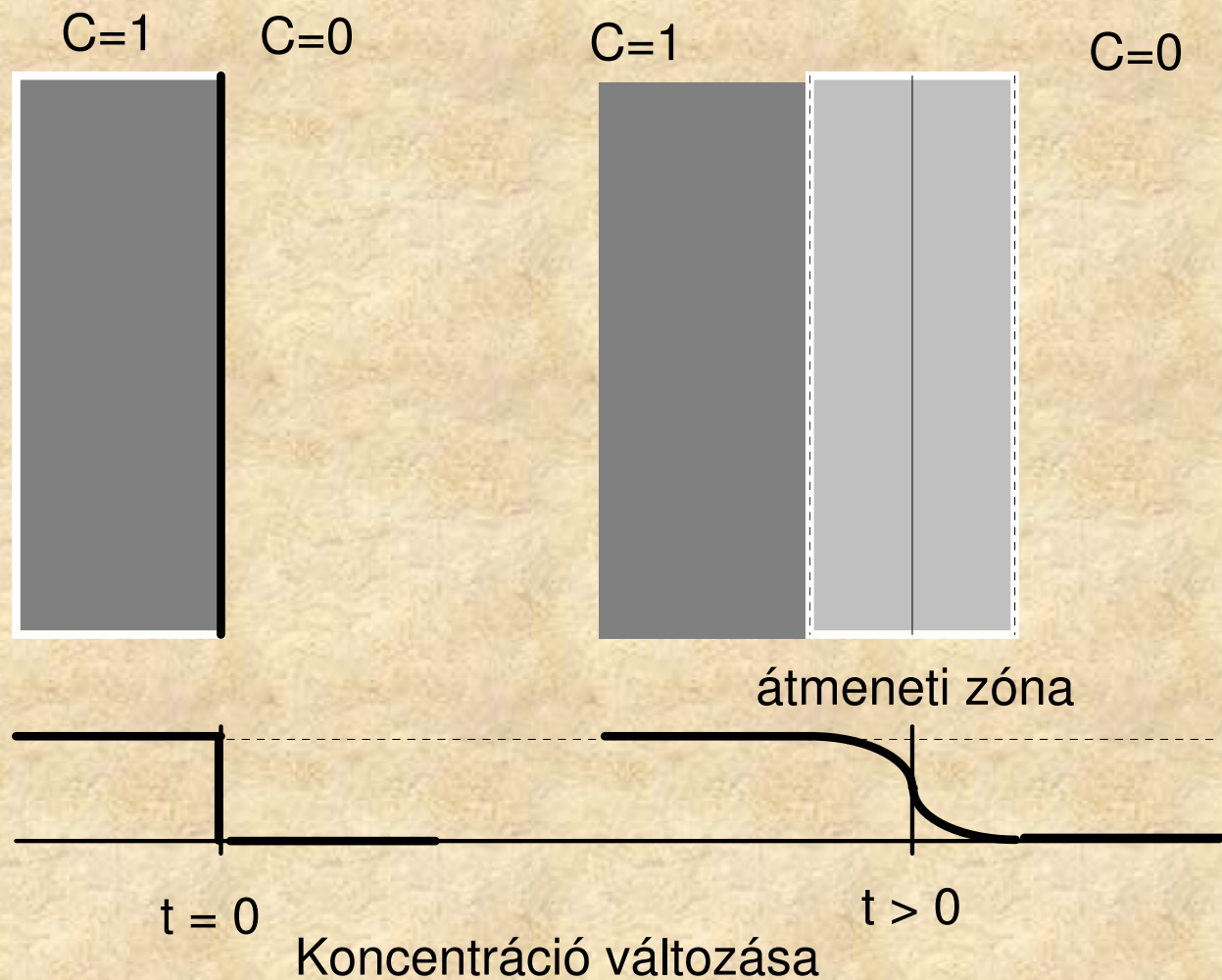
Advekció

- Az oldott anyagok vízzel való együttes tömeges áramlását advekciónak, illetve a hőtanból kissé helytelenül átvéve konvekciónak nevezzük.*
(konvekció: hőmérsékleti különbségek hatására létrejövő mozgási folyamat; advekció: a potenciális - és a hőt kizáró - erőter által létrejött mozgási folyamat. Az advektív szennyezőanyag-áram a közegbeli v átlagos áramlási sebesség és a C koncentráció szorzata, azaz:

$$F_{x,\text{konv.}} = \frac{dM_{x1}}{dydzdt} = v_x C, \quad F_{y,\text{konv.}} = \frac{dM_{y1}}{dxdzdt} = v_y C, \quad F_{z,\text{konv.}} = \frac{dM_{z1}}{dxdydt} = v_z C$$

- ahol M a szennyezőanyag kémiai mennyisége és t az eltelt idő.

Szennyezőanyag szóródása - diffúzió



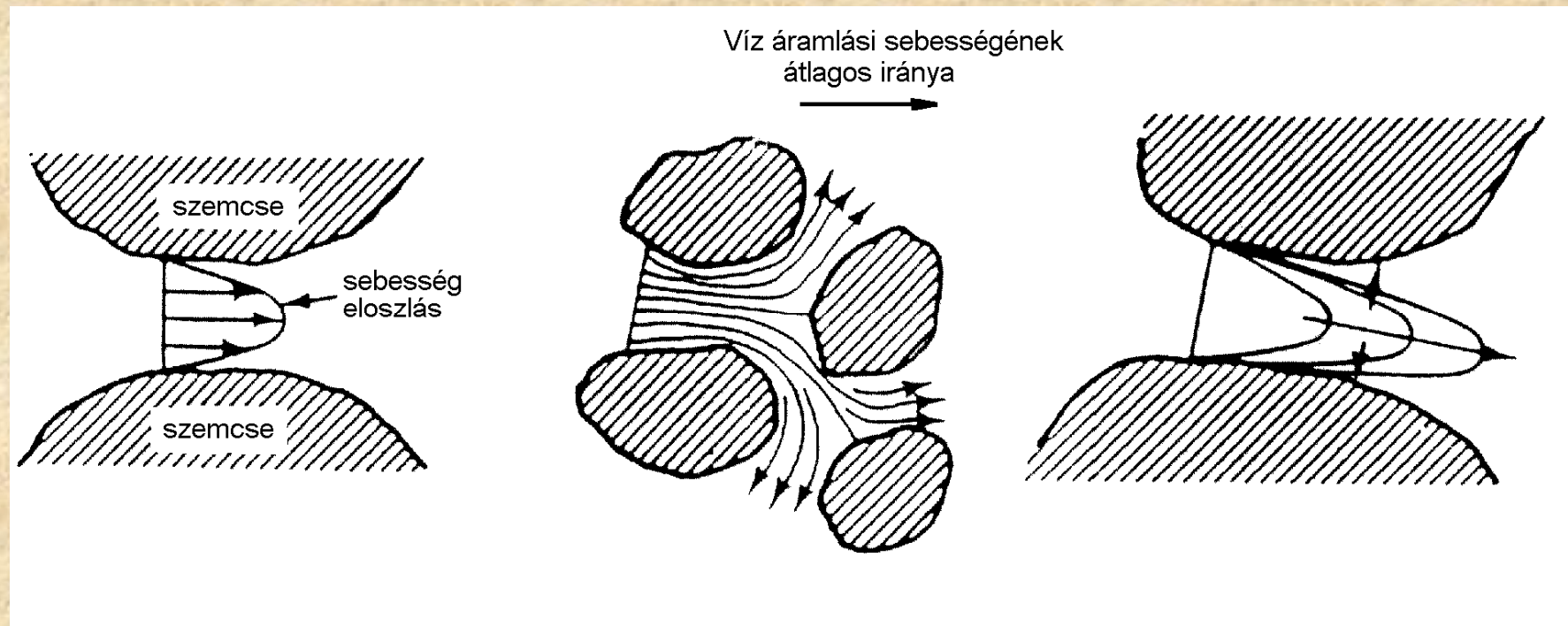
Szennyezőanyag szóródása - diffúzió

*A térbeli kémiai potenciál-különbségek hatására létrejövő tömegáramot, melyet Fick I. törvénye ír le, diffúciónak nevezzük. A koncentráció-különbségek hatására létrejövő diffúziót közönséges diffúciónak, míg az elektromos potenciál- vagy hőmérséklet-különbségek okozta anyagáramokat kényszerdiffúciónak nevezzük.*__Fick I. törvénye értelmében a diffúzió miatt kialakuló kémiai anyagfluxus három komponense - porózus közegben - az alábbi formában írható fel:

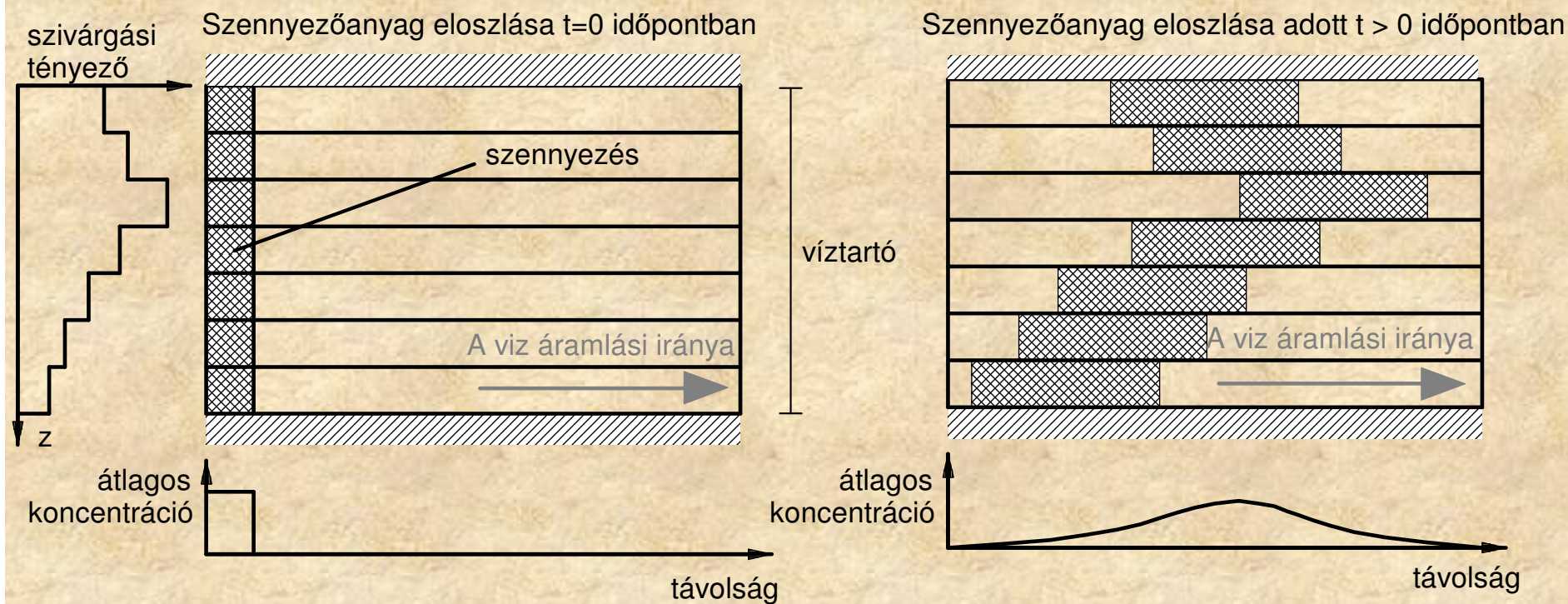
$$F_{x,\text{diff.}} = \frac{dM_{x2}}{dydzdt} = -D_{\text{eff}} \frac{\partial C}{\partial x} \quad F_{y,\text{diff}} = \frac{dM_{y2}}{dxdzdt} = -D_{\text{eff}} \frac{\partial C}{\partial y} \quad F_{z,\text{diff}} = \frac{dM_{z2}}{dxdydt} = -D_{\text{eff}} \frac{\partial C}{\partial z}$$

ahol D_{eff} az effektív (vagy látszólagos) diffúzió-állandó, amelynek értéke porózus közegben kisebb, mint a vizes közegben mért D_0 diffúzió-állandó.

Szennyezőanyag szóródása – diszperzió (hidrodinamikai diszperzió)



Szennyezőanyag szóródása – diszperzió (makrodiszperzió)



Szennyezőanyag szóródása – diszperzió

Homogén az áramlási sebességtérben (a víz szivárgása x irányú) a diszperzív fluxusok:

$$F_{x,\text{Hidrodin.diszp.}} = \frac{dM_{x3}}{dydzdt} = -D_x \frac{\partial}{\partial x} (\Theta C)$$

$$F_{y,\text{Hidrodin.diszp.}} = \frac{dM_{y3}}{dxdzdt} = -D_y \frac{\partial}{\partial y} (\Theta C)$$

$$F_{z,\text{Hidrodin.diszp.}} = \frac{dM_{z3}}{dxdydt} = -D_z \frac{\partial}{\partial z} (\Theta C)$$

$$D_x = \alpha_L \bar{v}_x, \quad D_y = \alpha_T \bar{v}_x, \quad D_z = \alpha_T \bar{v}_x$$

Szennyezőanyag megkötődése - szorpció

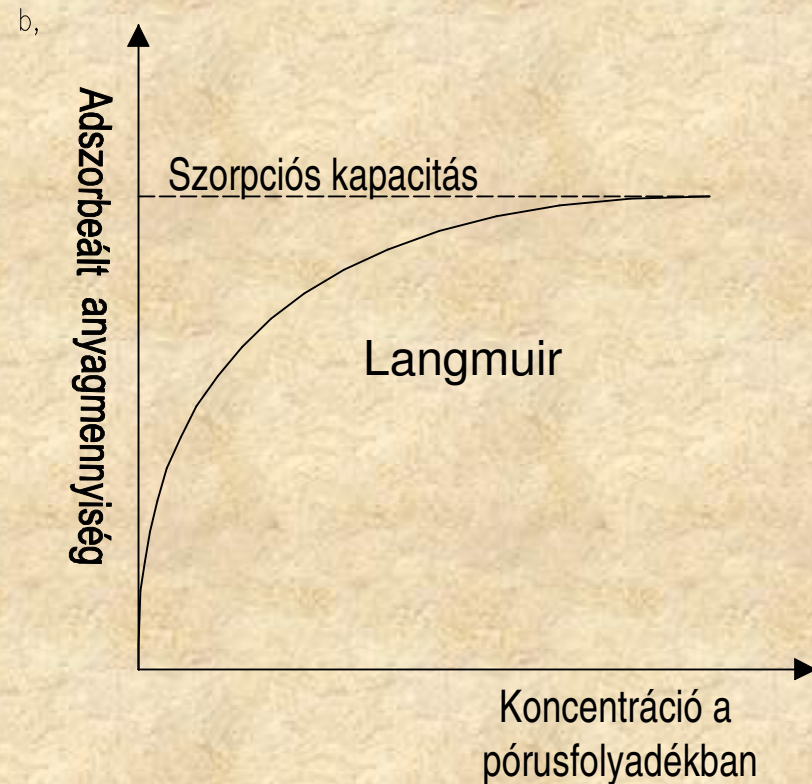
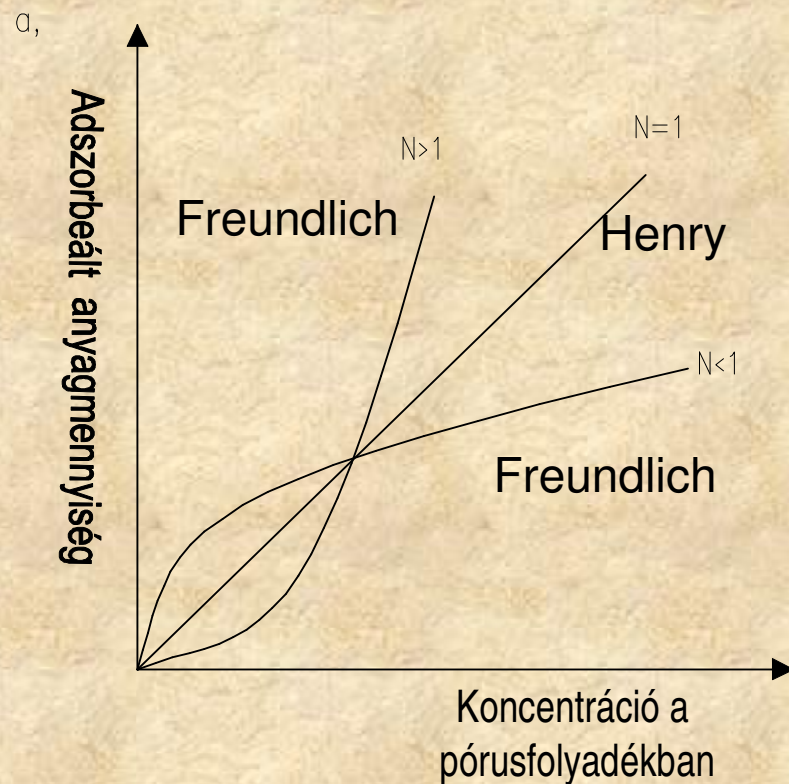
- Az adszorpció a szennyezőanyag porózus közeg felületén történő reverzibilis megkötődését jelenti. Ez a folyamat a modellezett tér anyagmérlegében úgy jelenik meg, mint egy időben állandóan változó forrás vagy nyelő, függően attól, hogy az adott koncentrációviszonyok között a megkötődés (adszorpció), vagy a szennyező anyag oldatba jutása (deszorpció) a jellemző.
- Az adszorbeált és deszorbeált anyagmennyiségek egyensúlya:

$$\Theta \cdot dV \frac{\partial C}{\partial t} = -\rho_b \cdot dV \frac{\partial \bar{C}}{\partial t}$$

- ahol C a pórusfolyadék koncentrációja [M/L³], a szennyezőanyag koncentrációja a talajban [M/Mszáraz talaj], b a porózus közeg testsűrűsége [M/L³], a térfogatszázalékban kifejezett víztartalom [-] (amely telített közegben egyenlő a hézagtérfogattal) és V a teljes vizsgált térfogat.

Szennyezőanyag megkötődése - szorpció

- Szorpciós izotermák:



Bomlás

- A bomlási folyamatok a szennyezőanyag degradációjához, mennyiségének időbeli csökkenéséhez vezetnek. Bár *a bomlás két alapvető típusa a kémiai bomlás és a radioaktív bomlás jellegében alapvetően különbözik egymástól*, a szennyezőanyagok terjedésének modellezésekor mégis *azonos matematikai formában vehetők figyelembe*, melynek algebrai alakja:

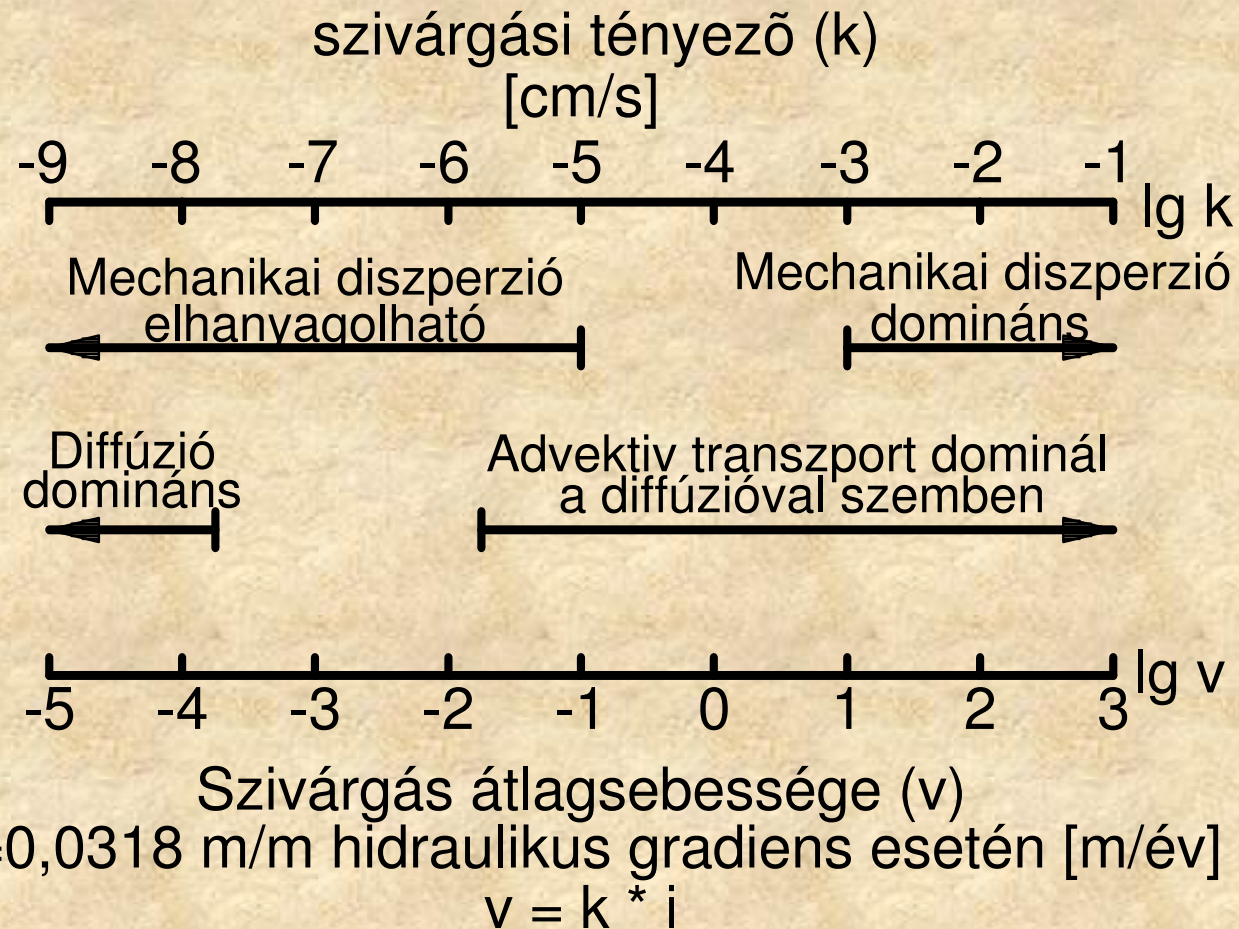
$$\frac{dM}{dVdt} = \frac{\partial(\Theta C)}{\partial t} = -\lambda(\Theta C + \rho_b K_d C)$$

- ahol a bomlási állandó.

Transzport-egyenlet

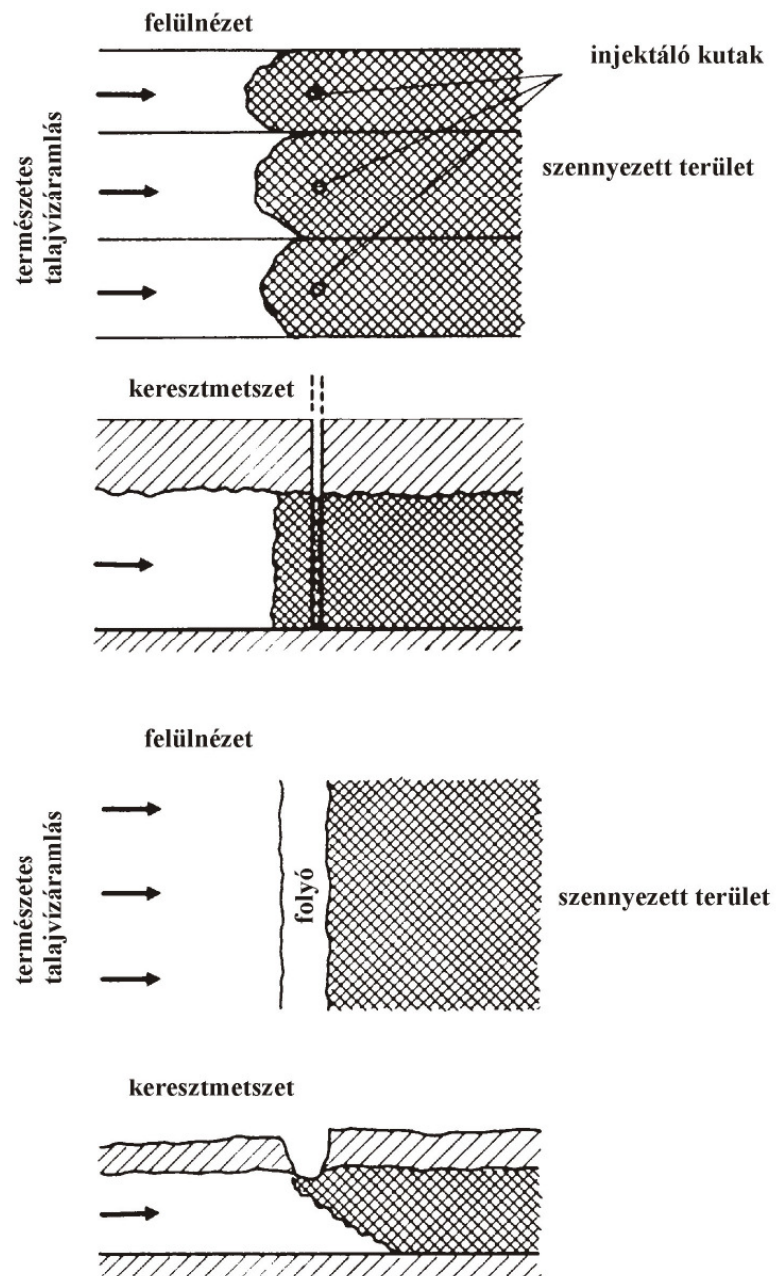
$$\begin{aligned}
 \frac{dM}{dVdt} = & D_{xx}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial x^2} + D_{xy}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial x \partial y} + D_{xz}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial x \partial z} + D_{yx}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial y \partial x} + D_{yy}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial y^2} + \\
 & + D_{yz}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial y \partial z} + D_{zx}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial z \partial x} + D_{zy}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial z \partial y} + D_{zz}^* \frac{\partial^2(\Theta C)}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial x}(v_x C) - \\
 & - \frac{\partial}{\partial y}(v_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(v_z C) - \frac{\partial}{\partial t}(\rho_b K_d C) - \lambda(\Theta C + \rho_b K_d C)
 \end{aligned}$$

A konvektív transzport, a diffúzió és a mechanikai diszperzió okozta anyagáramok összevetése a szivárgási sebesség (szivárgási tényező) függvényében (ROWE, 1987)

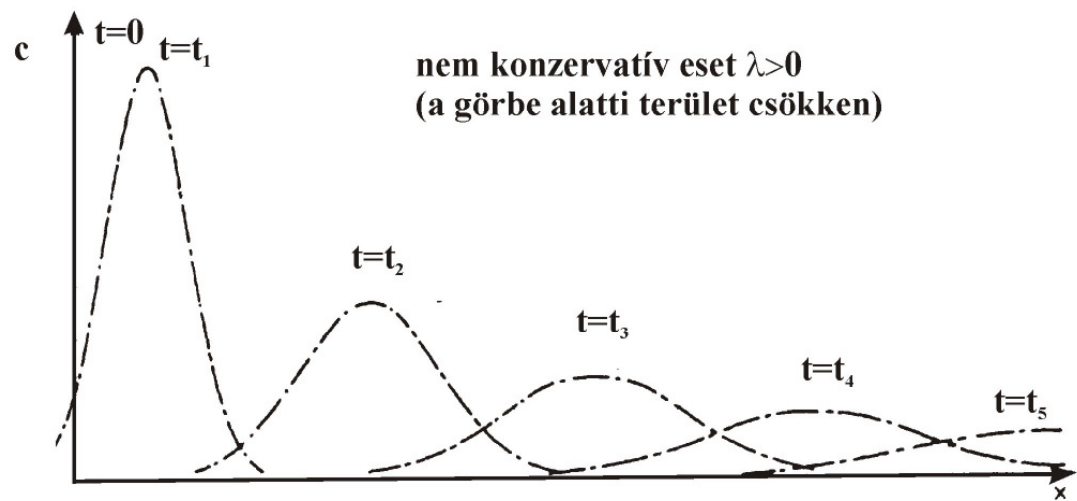
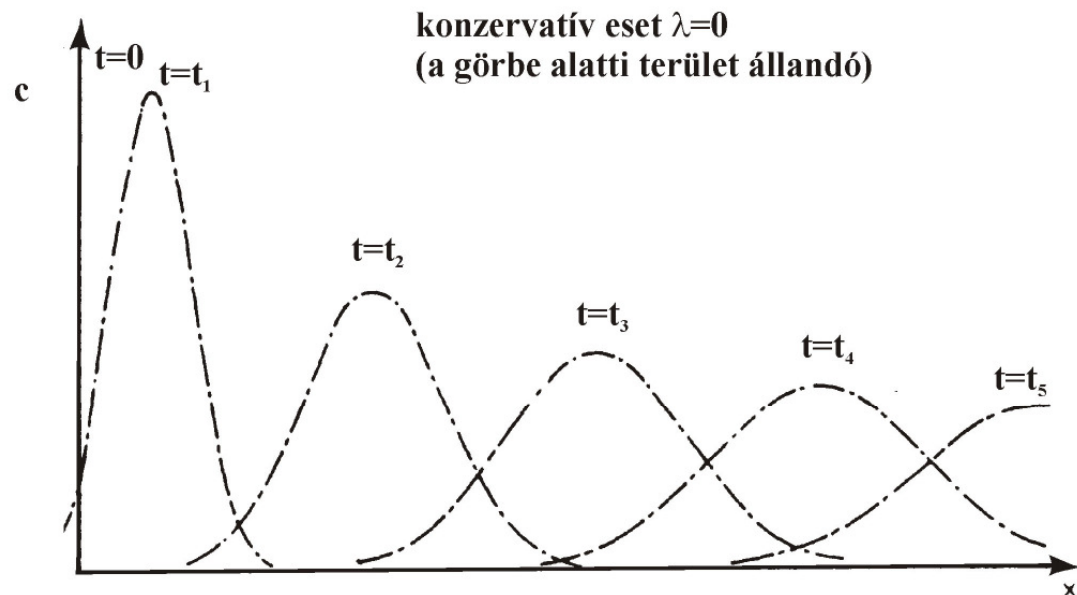


A transport-egyenlet megoldási módjai

- **Analitikus megoldások**
 - Valódi analitikus megoldások
 - Shackelford
 - Csanády
 - Ogata - Banks
 - ...
- **Részecske szemléletű megoldások**
 - Karakterisztika módszere
 - Véletlen bolyongás módszere
- **Numerikus megoldások**
 - Véges differencia-módszer
 - Végeselem módszer
 - Peremelem-módszer

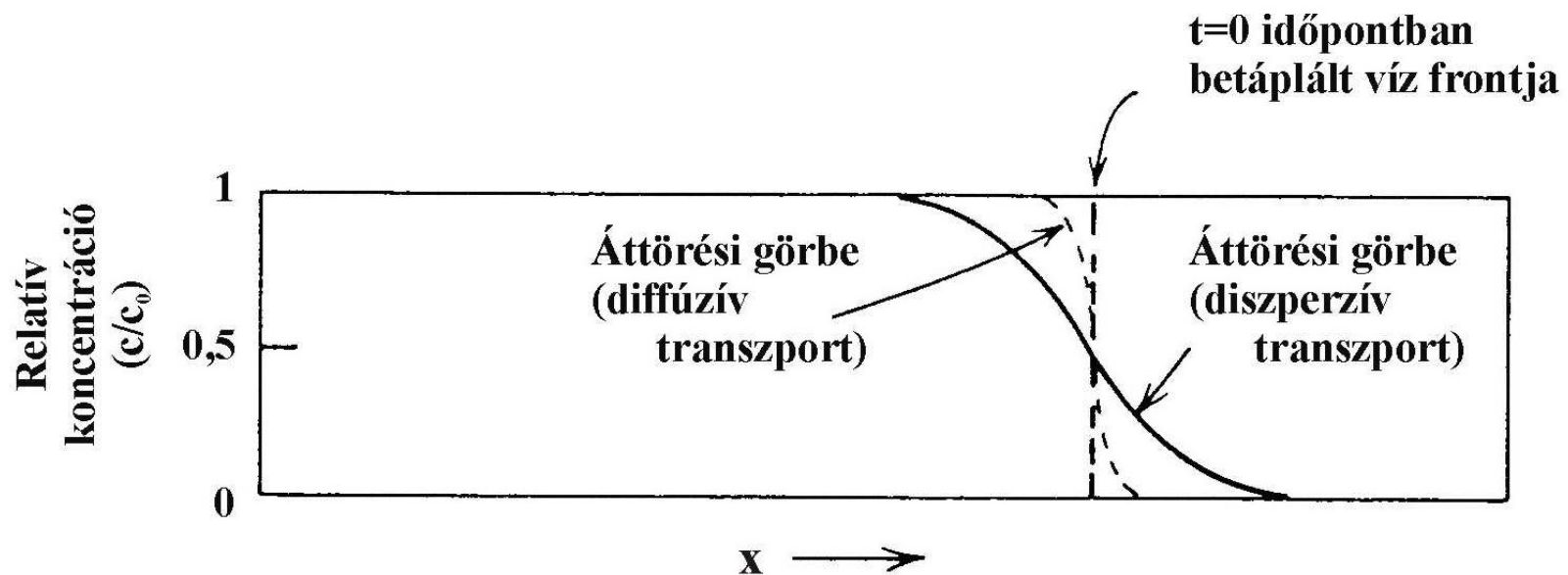


A transzport-egyenlet
egydimenziós analitikus
megoldásainak alkalmazási
területei
(SAUTY, 1980)

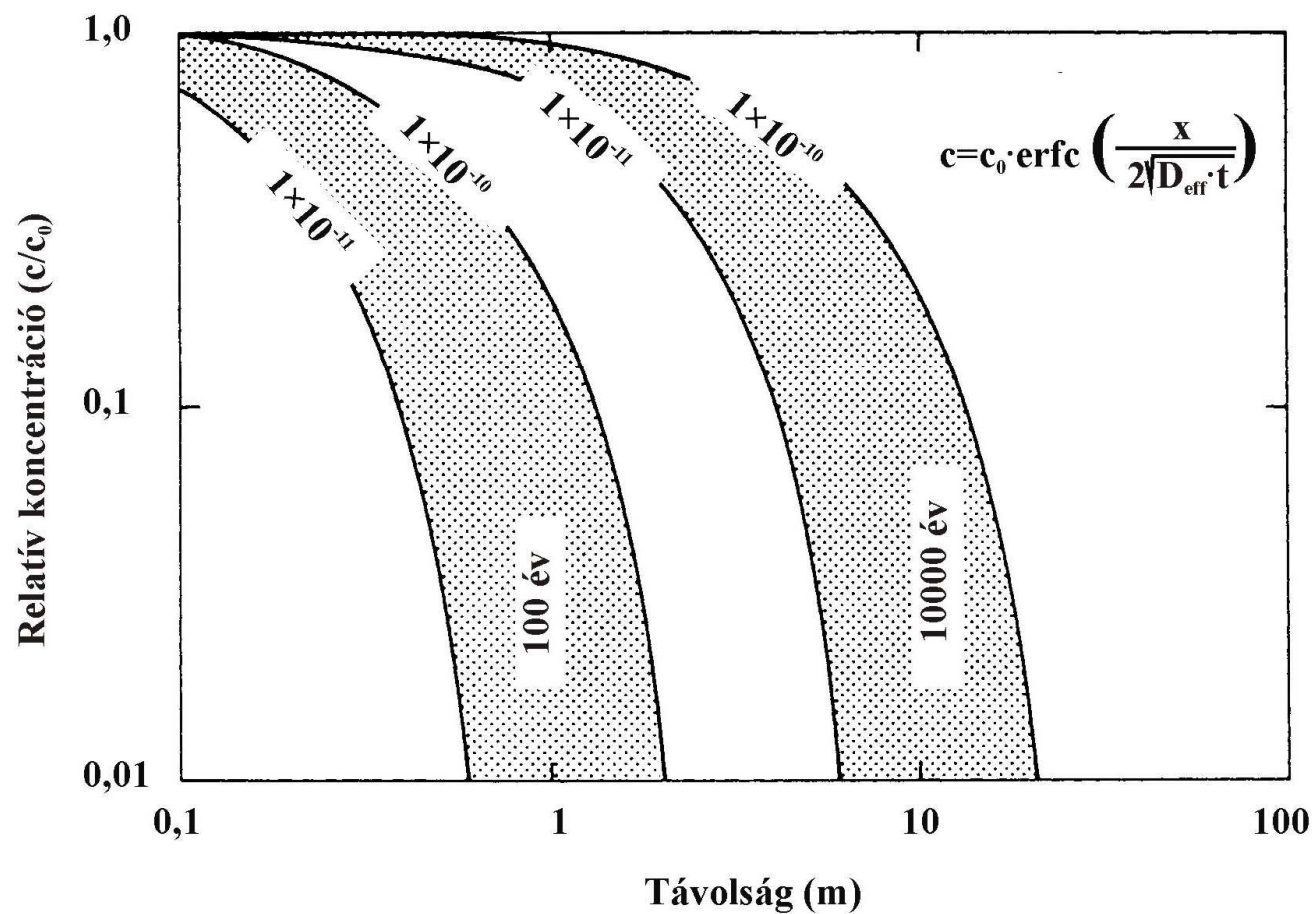


Pillanatnyi
szennyeződés
terjedésének időbeli
lefolyása bomlás
nélkül és bomlással

Az advektív, advektív-diffúzív és az advektív-dizperzív transzport
áttörési görbéinek összehasonlítása
(FREEZE – CHERRY, 1979)

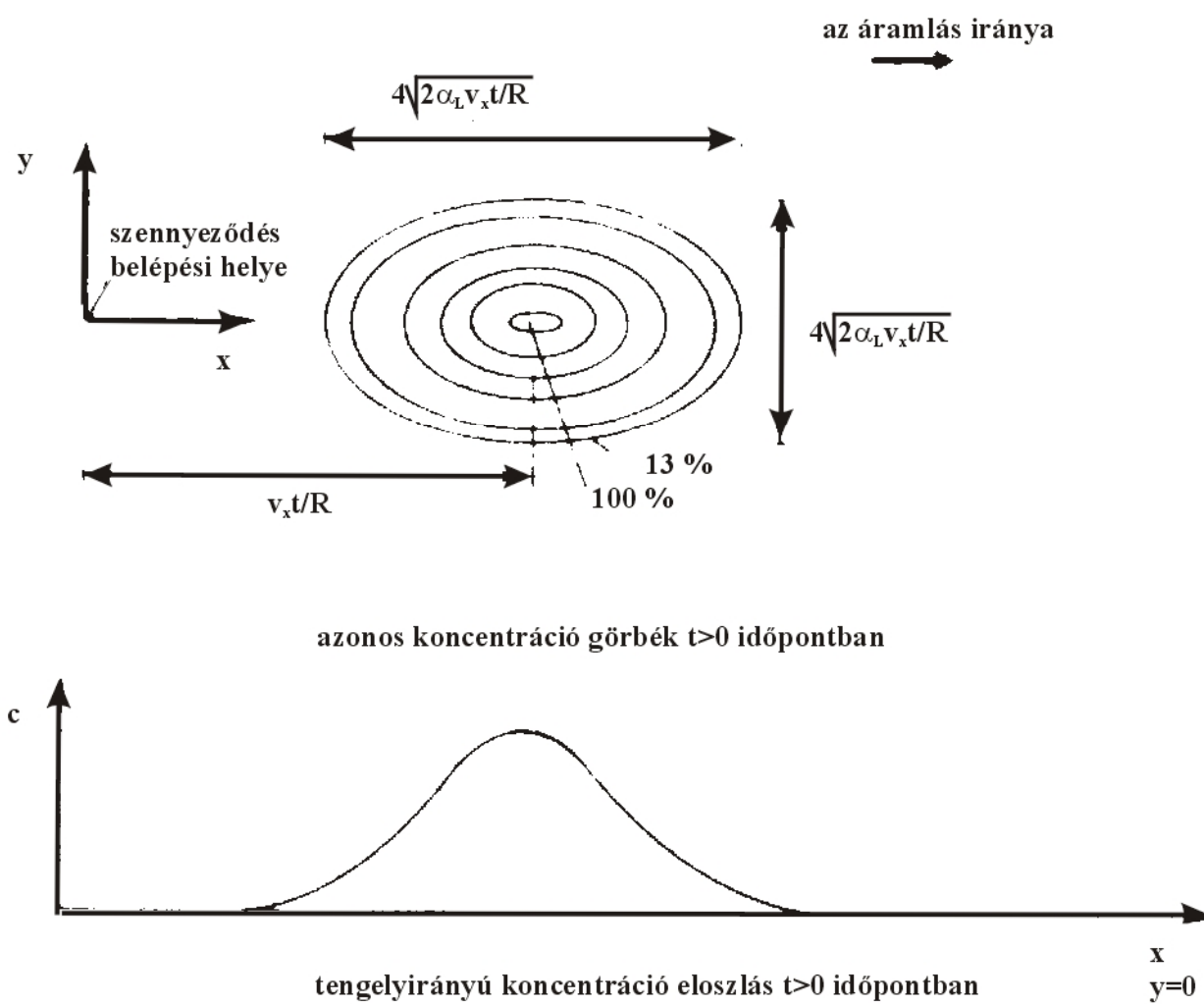


A diffúzív transzport áttörési görbéi 10^{-10} és 10^{-11} m²/s effektív diffúzió-
 állandó esetén
 (FREEZE – CHERRY, 1979)

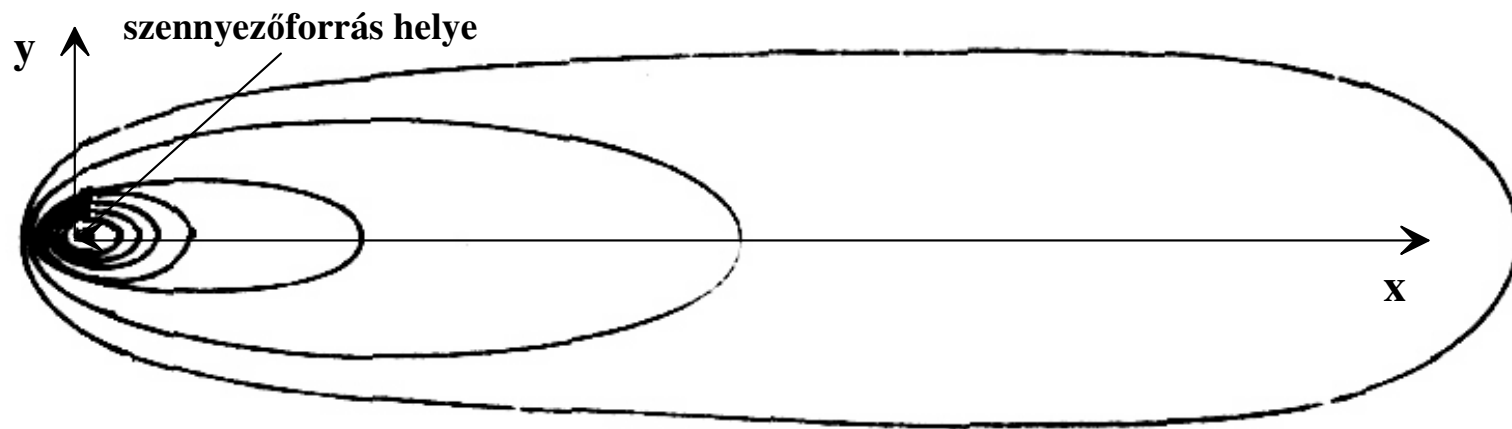


10^{-10} m²/s > D_{eff} effektív diffúzió állandó > 10^{-11} m²/s

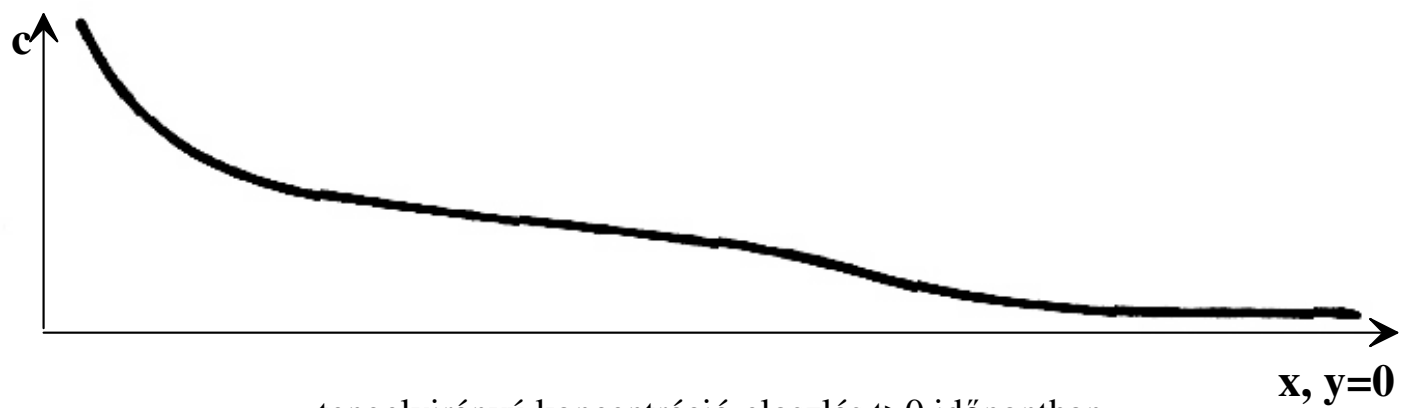
Pillanatnyi szennyezőforrás okozta koncentráció-eloszlás



Állandó forrás okozta szennyezőanyag-eloszlás



koncentráció izovonalak $t > 0$ időpontban



tengelyirányú koncentráció-eloszlás $t > 0$ időpontban

Véges differencia módszer - Szennyezőanyag-mérleg elemei egy kiválasztott elemi hasáb környezetében

