

Széchenyi István Főiskola
Környezetmérnöki Tanszék

DR. PAPP ZOLTÁN

A TALAJ és VÉDELME

Győr, 1997

A TALAJ ÉS VÉDELME

**Szerző: Dr. Papp Zoltán
főiskolai docens**

**Lektorálta:
Dr. rer.nat. Erdélyi Mihály
a földtudomány kandidátusa
hidrogeológus**

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	5
1. Talajtani ismeretek	7
1.1. A talaj fogalmához	7
1.2. Talajalkotók.....	8
1.3. A talaj fizikai/mechanikai szerkezete.....	10
1.4. A talajok vízgazdálkodásának alapjai	13
1.4.1. A talaj nedvességtartalma - vízkapacitás.....	13
1.4.2. Vízmozgás a talajban.....	16
1.5. A talajok hógazdálkodása.....	18
1.6. A talajképződés faktorai.....	20
1.7. A genetikai és talajföldrajzi talajosztályozás alapjai.....	22
1.8. A talaj, mint élettér - talajkémiai alapok	24
1.9. A talaj globális funkciói	27
1.10. A talajpusztulás (→ talajromlás, degradáció)	28
1.10.1. A (talaj)erózió	29
1.10.2. A szélhatás (defláció)	32
1.11. A talajpusztulás mértéke, okai, védekezési módok.....	37
Irodalomjegyzék az 1. részhez	41
2. A talajszennyezés	43
2.1. Fogalma.....	43
2.2. A határérték (-elv)	43
2.3. A környezet / talajszennyezés forrásai	55
2.4. A szennyezett terület (térfogat) feltárása, körülhatárolása, értékelése.....	58
2.4.1. A kutatás stratégiája	60
2.4.2. Kutatási módszerek, eszközök	60
2.4.3. Az előzetes kutatási fázis értékelése	63
2.4.4. A részletes kutatás	63
2.4.5. A szennyezett-terület kataszter összeállítása.....	64
2.4.6. A terület veszélyeztető potenciáljának megállapítása - alapelemek	65
Ellenőrző kérdések a 2. rész anyagához.....	69
3. A kárelhárítás	70
3.1. Alapelvek	70
3.2. Talajkiemelés nélküli mentesítési módszerek.....	71
3.2.1. Átlevegőztetés	72
3.2.2. Talajmosás.....	73
3.2.3. Biológiai lebontás.....	74

3.2.4. Stabilizálási / szilárdítási módszerek.....	75
3.3. A talaj kitermelésével járó kárelhárítási módszerek.....	75
3.3.1. Termikus eljárás	75
3.3.2. Talajmosás (extrakció)	77
3.3.3. Biológiai lebontás.....	77
3.3.4. Befoglalási módszerek	79
3.4. Hidraulikus védelmi módszerek.....	79
3.4.1. Aktív hidraulikai védelem.....	79
3.4.2. Passzív hidraulikai védelem	83
3.5. A szennyezett területnek a környezettől való elszigetelése.....	84
3.6. Kárelhárítás átrakással.....	84
4. Szennyeződésterjedés.....	85
4.1. A (porózus közegben való) szennyeződésterjedésre vonatkozó számítások alapjai	85
4.1.1. A (szennyező)anyagterjedés folyamatai.....	85
4.1.2. Az oldott anyagtranszport mérlege.....	86
4.1.3. A konvektív anyagáram	87
4.1.4. A diffúzió	88
4.1.5. A mechanikai (hidrodinamikai) diszperzió	88
4.1.6. Az adszorpció	90
4.1.7. A bomlás	90
4.1.8. Az általános transzportegyenlet	91
4.2. A talaj(-talajvíz) szénhidrogén-szennyezése	92
4.2.1. Geometriai jellemzők	93
4.2.2. A talaj CH-re átszámított szivárgási tényezője	95
4.2.3. Leszivárgás a talajvíz szintjéig (közelítés).....	97
4.2.4. A fázisba történő vízszintes áramlás sebessége	97
Irodalomjegyzék a 2-4. részhez.....	98
Ábrajegyzék	99

Bevezetés

A tárgyi összeállítás terjedelmét - a szerzői szándéktól függetlenül - rendkívül szűk korlátok szabták meg. Így a mindössze négy ívbe foglalt ismeretanyag egyféle **útmutató, tanulási segédlet** - tehát **nem a szükséges tananyag összessége** -, amelynek céljai között a teljesség **kizárólag** az adott témakörhöz kapcsolódó önálló **olvasói munka** révén érhető el, belefoglalva az előadásokon tárgyalt, de a jelen kiadványban nem részletezett (legfeljebb csak érintett) anyagrészeket is.

A tematika - főbb vonalaiban - a győri Széchenyi István Főiskola környezetmérnök-képzésének **oktatási programjához illeszkedik**, amelyben további (ehelyütt nem kifejtett) földtani részismeretek találhatóak a **Geológia**, a **Vízminőségvédelem**, valamint a **Levegővédelem** című alaptárgyak keretében.

Lényeges szempont az érintett fogalmak, témakörök egyetemes fontossága és konvertálhatósága a talajtan → alkalmazott (műszaki és környezet-) földtan → környezetvédelmi technikák (→ kárelhárítás) napjainkra rendkívül bonyolulttá finomodott összefüggésrendszerében. Ez az oka, hogy esetenként a hivatkozott ismeretek a klasszikus talajtan határterületeire "csúsznak", vagy már valamelyik rokon-, illetve alaptudományhoz sorolandók.

Mindamellet, hogy a pedoszférában és az annak környezetében történt és/vagy napjainkban is zajló folyamatok tér- és idődimenziói az emberi léthez képest nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek, az emberi tevékenység egyes következményei ma már azonos nagyságrendet mutatnak egyes természeti tényezőkével. A pedoszférát felépítő sokkomponensű, időben (is) változó, az élő és élettelen természet összefonódásának színterét jelentő **rendszer** minden pontjának megismerésére nincs mód, ezért nagy szerepe van az egyéni szintézis képességének. Létező - a hallgatók által sokszor túlzott mértékűnek vélt - könnyebbség, hogy a tananyag egy része az előzetes

tanulmányokból (pl.fizika, földtan, természeti földrajz) és más forrásokból, mint az általános természettudományi műveltséghez tartozó ismeret, nem új.

Az egyes tárgykörök után az Olvasó ellenőrző kérdéseket és szakirodalmi ajánlásokat talál. Ne felejtse - a megadott szakirodalom önmagában is csak **válogatás** lehet a napról napra változó, bővülő írott ismeretek halmazából, annak tér- és időbeli, valamint szubjektív korlátaival. Az **apróbetűs** részek olvasásakor a megértésre célszerű törekednie.

A szerző

1. Talajtani ismeretek

1.1. A talaj fogalmához

A talajöv (pedoszféra) - **földtani értelemben** - az atmo-, hidro- és litoszféra kölcsönhatása, átszövődése következtében kialakult ún. kontakt geoszféra, a földkéreg legfelső, mállási övezete. Két típusának alapvető jellemzőit tekinti át a következő táblázat:

<i>Szempont</i>	<i>Talajöv</i>	<i>Iszapöv (üledéköv)</i>
kialakulás helye	a litoszféra szárazföldi felszíne	a litoszféra vízborította felszíne
p	1 at (~ 1013,2 hPa)	> 1 at
t	a napsugárzás által beállított és a mállási folyamatok által befolyásolt hőmérséklet	a leg­sűrűbb víz hőmérséklete, vagy a mállási kémiai folyamatok által befolyásolt hőmérséklet
oldó c	litoszféra + atmoszféra, járulékosan a hidroszféra anyagai	litoszféra + hidroszféra, esetlegesen az atmoszféra anyagai
oldószer (H ₂ O) mennyisége	korlátozott	korlátlan
oxigén mennyisége	korlátlan	korlátozott
a málladékanyag mozgási tendenciája	az esetek többségében lepusztulás, aláréndelten betemetődés	kizárólag betemetődés
eredmény	a litoszféra anyagától, az éghajlati övektől stb. függő talajféleség	a lepusztulási területtől, a parttávolságtól és a víz minőségétől függő üledékes kőzet

Talajtani értelmezésben a talaj az élet megjelenését követően jött létre, praktikusán a **talajöv** és a **bioszféra** rendkívül finom és összetett kölcsönhatásai révén. (Az élet keletkezése előtt a földkéreg felszínén ún. steril mállás ment végbe.)

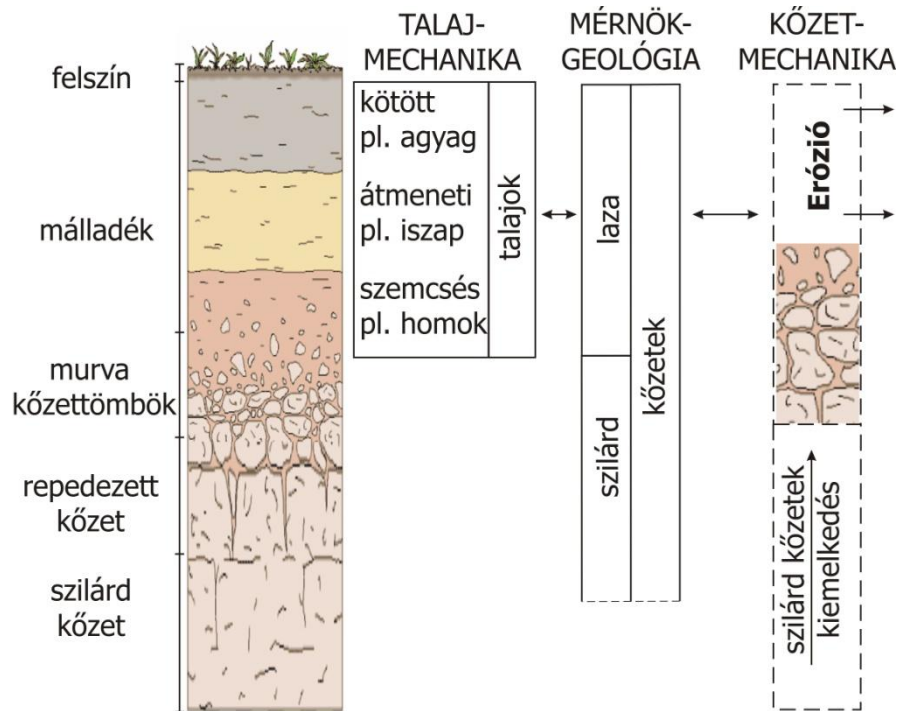
Ebben a felfogásban a (termő)talaj - (termő)föld - az élő és az élettelen természet összefonódásának színtere, számos komponens együttes hatására alakuló, változó képződmény (ugyanakkor természeti erőforrás), amely **termékenységgel** (produktivitással) rendelkezik, tehát a növényeket képes ellátni vízzel és tápanyagokkal. A (szilárd) kéreg legfelső takarójaként felfogja, összegzi, szűri a földfelszint éré, a természet erőitől és az embertől származó fizikai, kémiai és biológiai hatásokat.

Nem egységes, háromfázisú, polidiszperz **rendszer**. Kis vastagságú (0-2 m), a Föld méreteihez képest hártavékony (→ ezért roppant sérülékeny), kiterjedését illetően inkább foltszerű, nem összefüggő (burok).

A geotechnikában a "talaj" vagy "kőzet" fogalma többnyire a létesítmények (amelyek gyakorisága úgyszintén a kontakt geoszférák helyéhez kötődve mutat maximumot) teherviselő és/vagy terhelő közegeként, építőanyagként, valamint azok természeti-földtani környezeteként értelmezendő. Mérnöki szemlélettel: a talaj heterogén, többkomponensű, diszperz, nyitott anyagi rendszer, amelynek tulajdonságai a környezettel (beleértve a létesítményt is) való kölcsönhatás függvényében térben és időben (is) változnak. E funkciókban a termékenységet biztosító **szervesanyag** (amely az élelmiszertermelés kapcsán az emberiség jövőjének kulcsa) a talaj (=) levegő + víz + ásványi anyag - keverékében kifejezetten **kedvezőtlen** adottság. (A szemcsés talajok 3%-nál, a kötöttek pedig 5%-nál nagyobb szervesanyag-tartalom esetében általában nem tekinthetők teherviselésre vagy földműépítésre alkalmasnak, a "szervesség" révén leromló egyéb - anyagtani/mechanikai - tulajdonságok folytán.)

A "létesítmények öve" (nooszféra) elsősorban horizontális értelmű terjeszkedésével összefüggő (globális) talajpusztulásnak, valamint a talajhoz kapcsolódó élelmiszertermelés kényszerének ellentmondása várhatóan az emberiség közeljövőjének egyik legégetőbb problémája lesz, részben máris az.

Az **1.1. ábrán** a termőréteget ("talajt") a stilizált növényi gyökerekkel átjárt, legfelső zóna képviseli. Nem véletlen, hogy a rajzon a (földtani) környezethez kapcsolódva feltüntetett mérnöki tudományok címszavai alatt ez a réteg hiányzik.



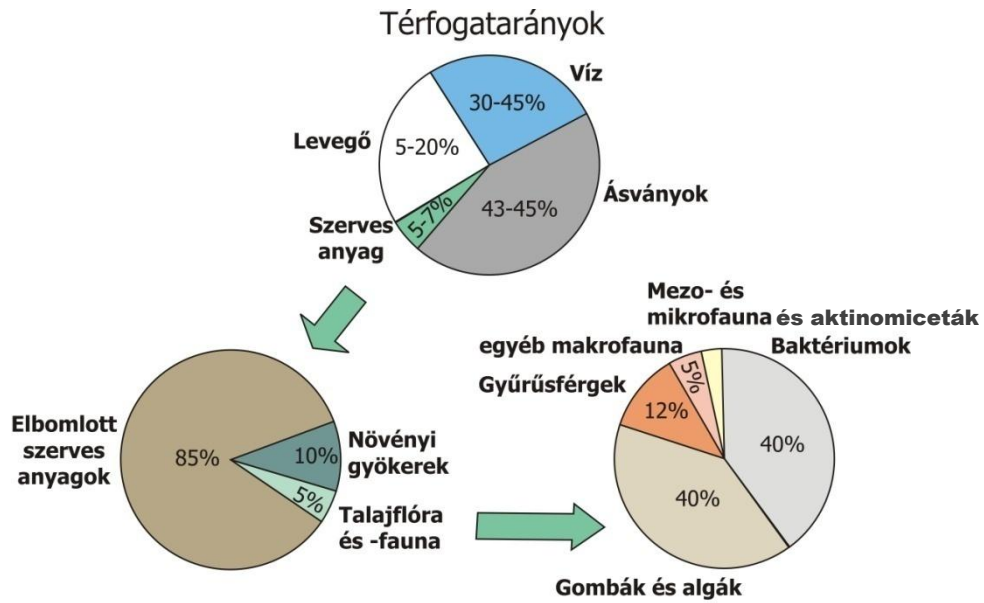
1.1. ábra A talajmechanikai, mérnökgeológiai és kőzetmechanikai feladatok szintere a földkéregben

A talajnak az előtanulmányokban már részletezett, a geológiai/kőzetciklus során végbementő képződéséhez/megsemmisüléséhez az élet **biológiai** körforgalmának folyamatai társulnak. A földtani ciklusnál lényegesen gyorsabb biológiai (elem)körforgalomban a C, O, H, N, Ph, S + a mikroelemek akkumulációja vezet a talajok humusztartalmának kialakulásához, a talajban lévő (élő és holt) biocönózisok révén.

1.2. Talajalkotók

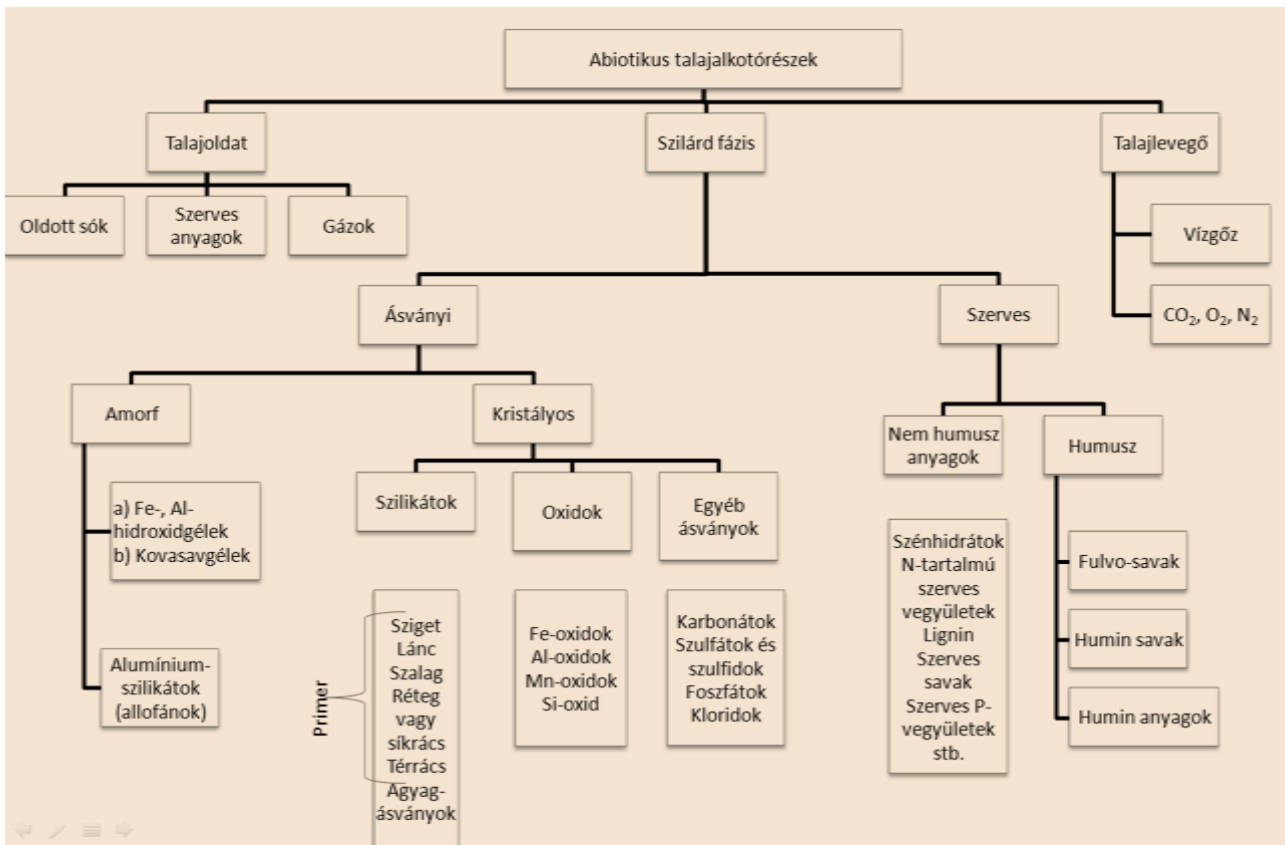
A talaj bonyolult rendszerét az élőszervezetek (biotikus) alrendszere és az élettelen anyagok (abiotikus) összessége építi föl.

Az egyes összetevők megnevezését és relatív mennyiségét az 1.2. és az 1.3. ábrák ismertetik.



a szárazanyag tömegszázalékában

1.2. ábra A feltalaj abiotikus és biotikus komponenseinek relatív mennyisége, Jackson és Tischler nyomán



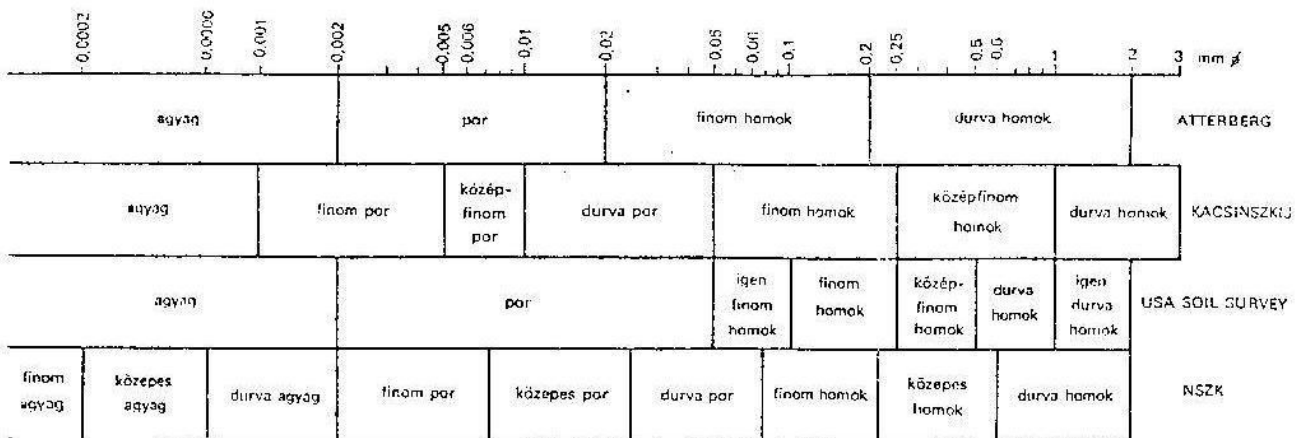
1.3. ábra A talaj abiotikus alrendszere

Figyelemre méltó a talajlevegő összetételének jelentős eltérése a légköréhez képest - a CO₂ mennyisége 0,2-14%, az O₂-tartalom 12% körüli, az NH₃, H₂S, CH₄ stb. pedig szerves bomlásból származik.

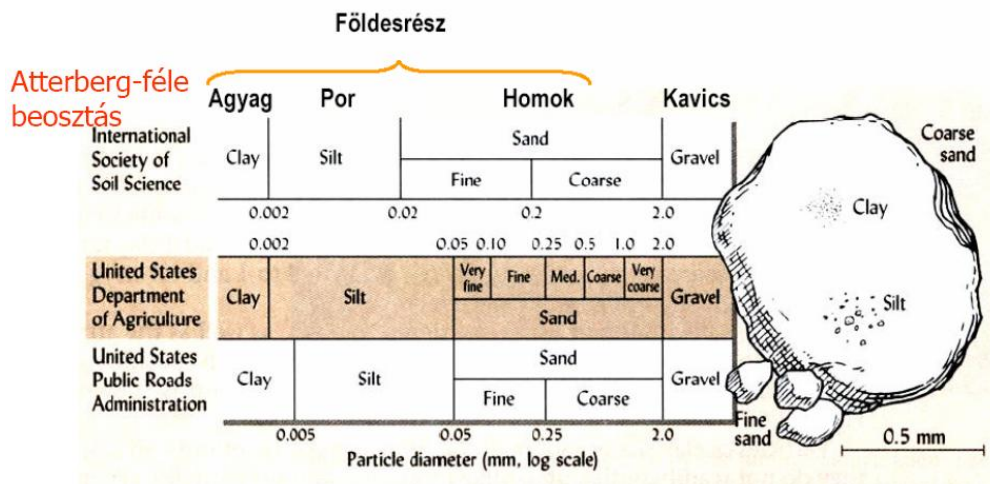
1.3. A talaj fizikai/mechanikai szerkezete

A szemcseösszetétel (talajszövet vagy textúra) a talajban lévő **különböző méretű szemcsék arányát** fejezi ki. A szemcsék formai sokrétősége miatt indokolt **átlagos és ekvivalens átmérő** fogalmát, az egyes **frakciók** megnevezését, a szemcseösszetétel meghatározásának elveit (rostálás → szitálás → hidrometrálás vagy ülepités), valamint az ábrázolás módjait (szemeloszlás, háromszög-diagram) az Olvasó az előzetes tanulmányaiból már ismeri.

Az általánosan használt frakcióbeosztások összehasonlítását az 1.4. ábra, az egyes ún. fizikai talajféleségeket pedig az 1.5. ábra mutatja be.

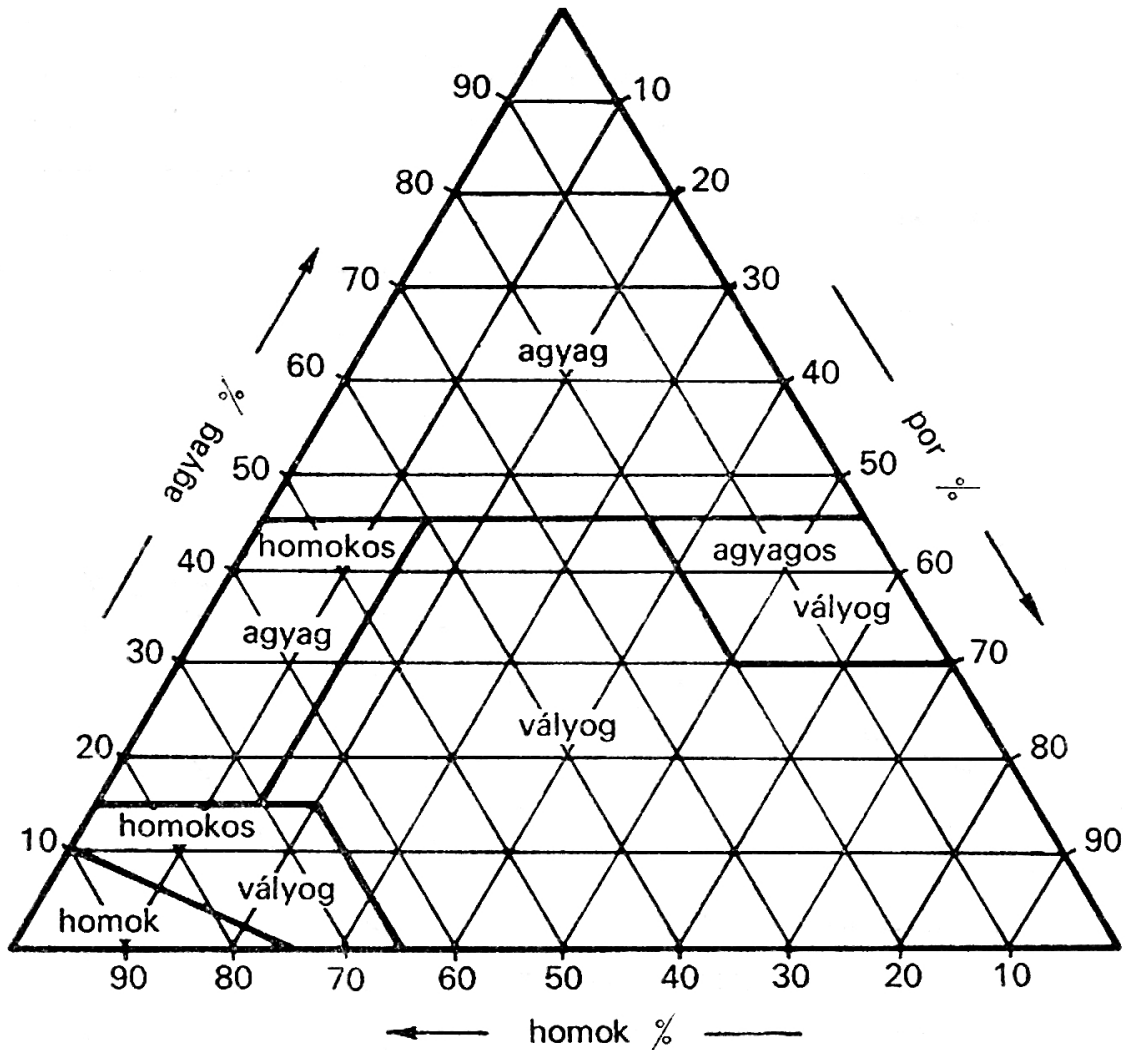


Szemcseméret osztályok



Az elemi szemcsék %-os megoszlása ⇒ a talaj mechanikai összetétele.

1.4. ábra Négy gyakran használt szemcsefrakció-beosztás összehasonlítása



1.5. ábra A fizikai talajféleség megjelölése a szemcseösszetétel százalékos értékei alapján

Az ún. ideális vályogtalaj mintegy 50%-át a póruster, 45%-át az ásványok, 5%-át pedig szerves anyag építi föl. A víz (talajoldat) és a (talaj) levegő 1-1-es arányban tölti ki a pórusterfogot felét.

Ha az egyes talajféleségek elkülönítéséhez az ún. leiszapolható részt (tehát a 0,01 mm-nél kisebb névleges átmérőjű frakciók összegét) vesszük alapul, megnevezésük az alábbiak szerinti:

1.6. táblázat A talajok osztályozása a szemcseösszetétel alapján (Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete alapján)

A talaj	Leiszapolható rész (l.r.), %	A szemcsecsoportok viszonylagos mennyisége
Durva homok	0 – 10	nagy szemcséjű durva homok: a durva homok > 50%-a kis szemcséjű durva homok: a durva homok < 50%-a
Homok	10 – 15	nagy szemcséjű homok: a durva homok > 50%-a nagy szemcséjű vályogos homok: a por leiszapolható résznek, l.r.-nek > 50%-a
		kis szemcséjű homok: durva homok < 50%-a kis sz. vályogos homok: a por a l.r.-nek > 50%-a
Vályogos homok	15 – 25	kőliszt homok: a por a l.r.-nek > 50%-a agyagos homok: a por a l.r.-nek < 50%-a
Homokos vályog	25 – 35	könnyű vályog: a durva por a l.r.-nek > 25%-a és agyag a l.r.-nek < 25%-a
Vályog	35 – 60	agyag a l.r.-nek > 25%-a a durva por a l.r.-nek > 25%-a vagy közepes vályog: > 25%-a a közepes por a l.r.-nek, a finom por a l.r.-nek > 25%-a és az agyag a l.r.-nek 25-50%-a
		nehéz vályog: a finom por a l.r.-nek > 25%-a és az agyag az l.r.-nek > 50%-a
Agyagos vályog	60 – 70	könnyű agyagos vályog: a por a l.r.-nek > 70%-a nehéz agyagos vályog: a por a l.r.-nek < 70%-a
Agyag	70 – 80	
Nehéz agyag	80 – 90	

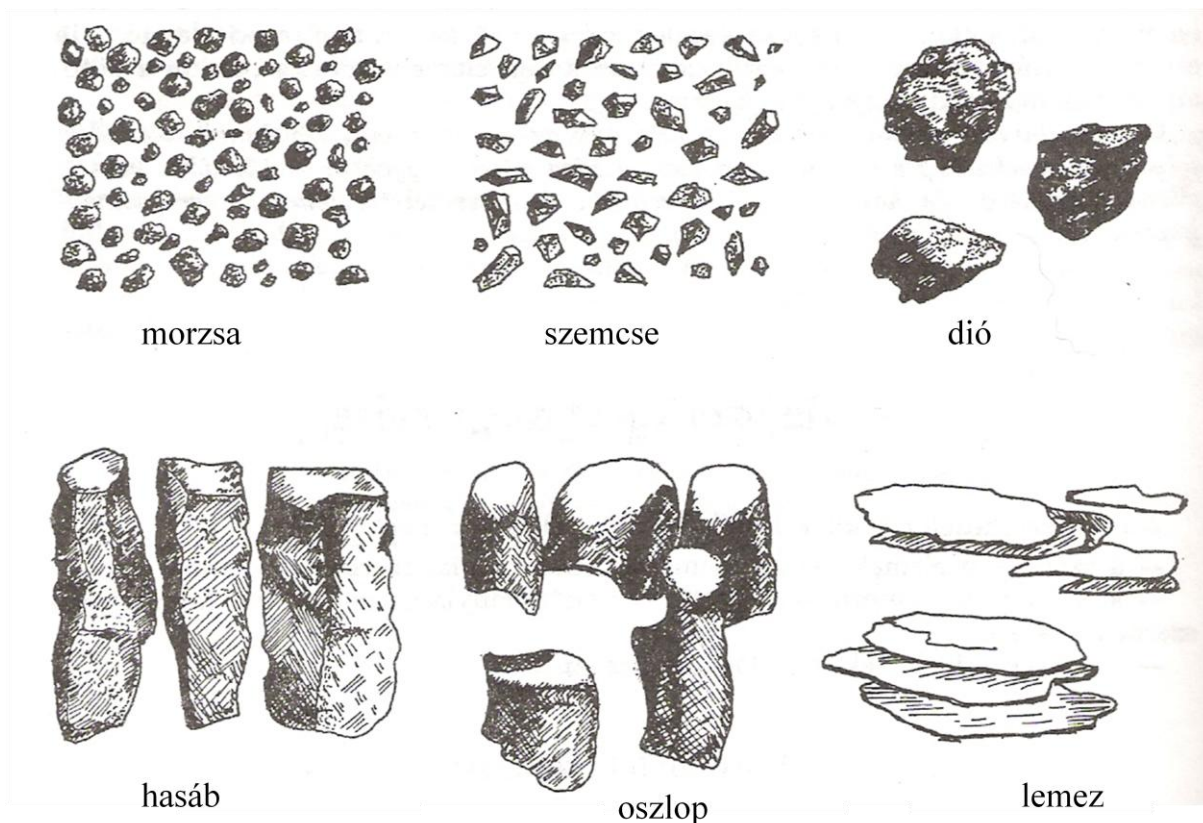
A talajok **makrostruktúráján** a $\varnothing = 0,25$ mm-nél nagyobb névleges átmérőjű részek súlyszázalékát, **mikrostruktúráján** pedig a 0,25-0,001 mm közötti átmérővel jellemzett részek szintén súlyszázalékban kifejezett mennyiségét értik. E számok szoros kapcsolatban állnak az adott talaj porozitásának, permeabilitásának, kapillaritásának és vízkapacitásának jellemzőivel, amelyek - természetesen - egymással is összefüggenek.

A talajban lévő szerves és szervetlen anyagok egy része mérete alapján a kolloidokhoz sorolandó, tehát olyan két- vagy többfázisú rendszerhez, amelyben az anyag mérete a tér valamelyik irányában 1 és 500 nm közötti. A fenti mérettartományba eső dimenziószámok szerint **fibrilláris**, **lamináris** és **korpuszkuláris** kolloidokat különböztetnek meg. Ha a részecskék mérete közel azonos, **homodiszperz**, ha különböző, **polidiszperz** rendszerről van szó. A talaj mindig az utóbbi kategóriának felel meg.

A talaj szerkezeti elemeit összeragasztó kolloidális anyag a következő formákban jelenhet meg:

- agyagásványok;
- szerves anyagok (élők is → biológiai szerkezet);
- vas-, alumínium- és mangán-hidroxidok;
- szénsavas mész;
- (mesterséges) stabilizáló anyagok (talajkondicionáló szerek).

A morfológiai szerkezet elemeit az 1.7. ábra ismerteti.



1.7. ábra A morfológiai szerkezet elemei

A talajszerkezettel kapcsolatos további részletek a szakirodalomban megtalálhatók.

1.4. A talajok vízgazdálkodásának alapjai

A talaj vízgazdálkodása a talajban lévő víz (oldat) mennyiségét, állapotát, mozgását, formáját, valamint ezek tér- és időbeli változásait jelenti, mint a talaj termékenységének egyik alapvető tényezőcsoportját. Befolyásolja a talaj levegő- és hőháztartását, művelhetőségét, és megszabja a hasznosítási/növénytermesztési lehetőségek körét.

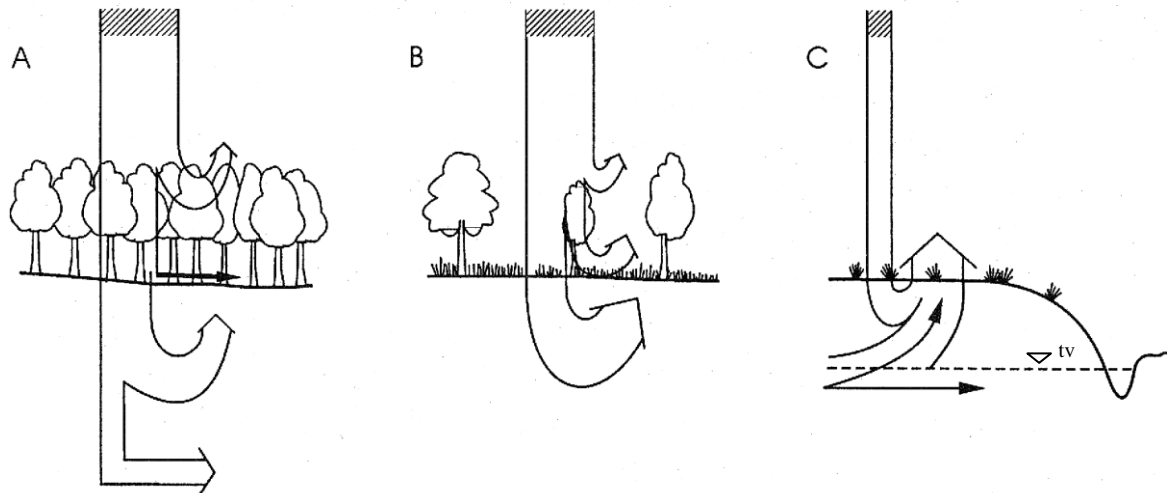
1.4.1. A talaj nedvességtartalma - vízkapacitás

A talajban lévő víz (vizes oldat) súly - vagy térfogat - százalékban, esetleg mm-ben kifejezett mennyisége, amelyet (pl.) a nedves és a szárítószekrényben 100°C-on súlyállandóságig szárított, az eredeti szerkezetet (azaz térfogat- és tömegarányokat) őrző talajminták (súly)különbségéből határoznak meg (→ nedvességtartalom).

Térben (mélység szerint: nedvességprofil) és időben (nedvességdinamika) számtalan tényezőtől függ, pl.:

- a meteorológiai jellemzőktől (csapadék, hőmérséklet stb.);
- a földtani-hidrológiai adottságoktól;
- a talaj jellemzőitől;
- a mesterséges beavatkozásoktól (agrotechnika, melioráció stb.).

Az alapvető vízgazdálkodási típusokat az 1.8. ábra ismerteti.



1.8. ábra A talajok alapvető vízgazdálkodási típusai
a – atmoszósos, b – egyensúlyi, c – párologtató jellegű

Átmoszósos (kilúgzásos) típus. A talajszelvényben a lefelé irányuló vízmozgás és az ehhez kapcsolódó kilúgzás dominál. A beszivárgó víz egy része eléri a talajvizet.

Egyensúlyi típus. A beszivárgó víz nem jut le a talajvízig. A lefelé és a fölfelé mozgó (párologó) víz egyensúlyban van.

Párologtató jellegű. A talajfelszínre jutó víz és a talajvíz együttesen párolog, a talajszelvényben a fölfelé irányuló vízmozgás és az ehhez kötődő felhalmozódási folyamatok a döntőek.

A vízkapacitás alábbi értékei használatosak:

Kapilláris ($V_{k_{kap}}$). Az alulról kapillárisan súlyállandóságig telített talajoszlop nedvességtartalma.

Maximális ($V_{k_{max}}$). Ez az állapot a kapillárisan telített minta víz alá merítése során áll elő. Míg az előző esetben a függőleges helyzetű talajhenger **alsó** véglapja volt a víz felületével egy szintben, a $V_{k_{max}}$ meghatározása során a talajhengert a **felső** véglap szintjéig merítjük - változatlanul megtartva a hossz tengely függőleges helyzetét - vízbe (ekkor a víz teljesen kiszorítja a levegőt a pórustérből).

Minimális ($V_{k_{min}}$). A (vízzel) telített talajhengert száraz homokra állítva a "fölső" nedvesség a homokba "szívódik". A súlyállandóság kivárása után kapott víztartalom a $V_{k_{min}}$.

Szántóföldi (vagy szabad földi) vízkapacitás (V_k) → a talajban természetes viszonyok között kialakult víztartalom.

Hervadáspont. Az a nedvességtartalom (vagy holtvízérték - H_v), amely mellett a növények már elhervadnak. Pl. ennyi az aratást követő száraz időjárás során a tarló nedvességtartalma. Az ún. pF -érték ekkor 4,2 körüli.

A pF -érték fogalmát a talajtanban **Schofield** vezette be, amely a talajban lévő víz adott részének eltávolításához szükséges **szívás** a vele azonos vízoszlop-cm 10-es alapú logaritmusában kifejezve.

Emlékeztetőül: Pl. 1 atm (negatív) nyomásérték 1000 cm-es magasságú vízoszlop szívóhatásával azonos, vagyis $pF = 3$.

A pórusok és a szívás közötti összefüggés **Jurin** szerint:

$$H = \frac{0,153}{r}, \text{ ahol } H: \text{ a vízoszlopmagasság cm-ben;}$$

r: a pórusok átlagos sugara cm-ben. (= **ekvivalens pórusátmérő**)

Az ekvivalens pórusátmérő és a vizet a pórusokban visszatartó kapilláris feszültség (a képletben: kapilláris emelkedési magasság) közötti összefüggések egyike:

$$h \text{ [cm]} = \frac{4\delta}{2\rho_v \cdot g \cdot r}, \text{ ahol } \delta: \text{ a víz felületi feszültsége}$$

ρ_v : a víz sűrűsége

g: a nehézségi gyorsulás

Hasznos víz (Dv - diszponibilis víz)

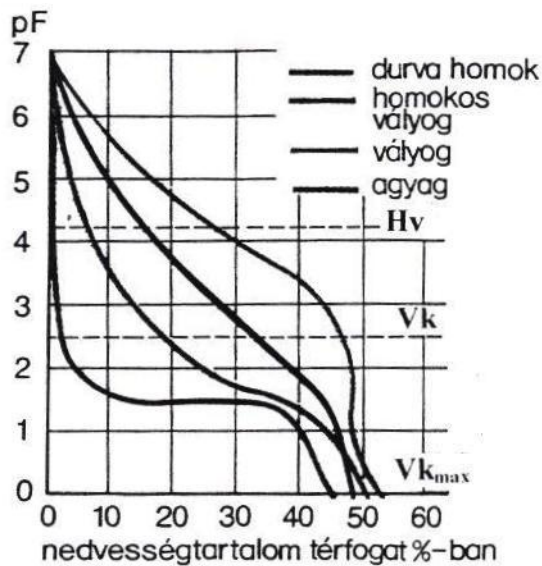
A szántóföldi vízkapacitás és a holtvízérték különbsége

$$V_k - H_v = D_v$$

A talajnedvesség **formáinak** (erősen és gyengén kötött víz, kapilláris víz, gravitációs vagy pórusvíz) arányát és vízgazdálkodási jellemzőit főbb vonalakban a következők alakítják:

- (talaj)mechanikai összetétel;
- szerkezet, tömörség, repedezettség, porozitás;
- a talajszelvény felépítése;
- (talaj)kémiai tulajdonságok (kémhatás, humusztartalom, sóösszetétel stb.).

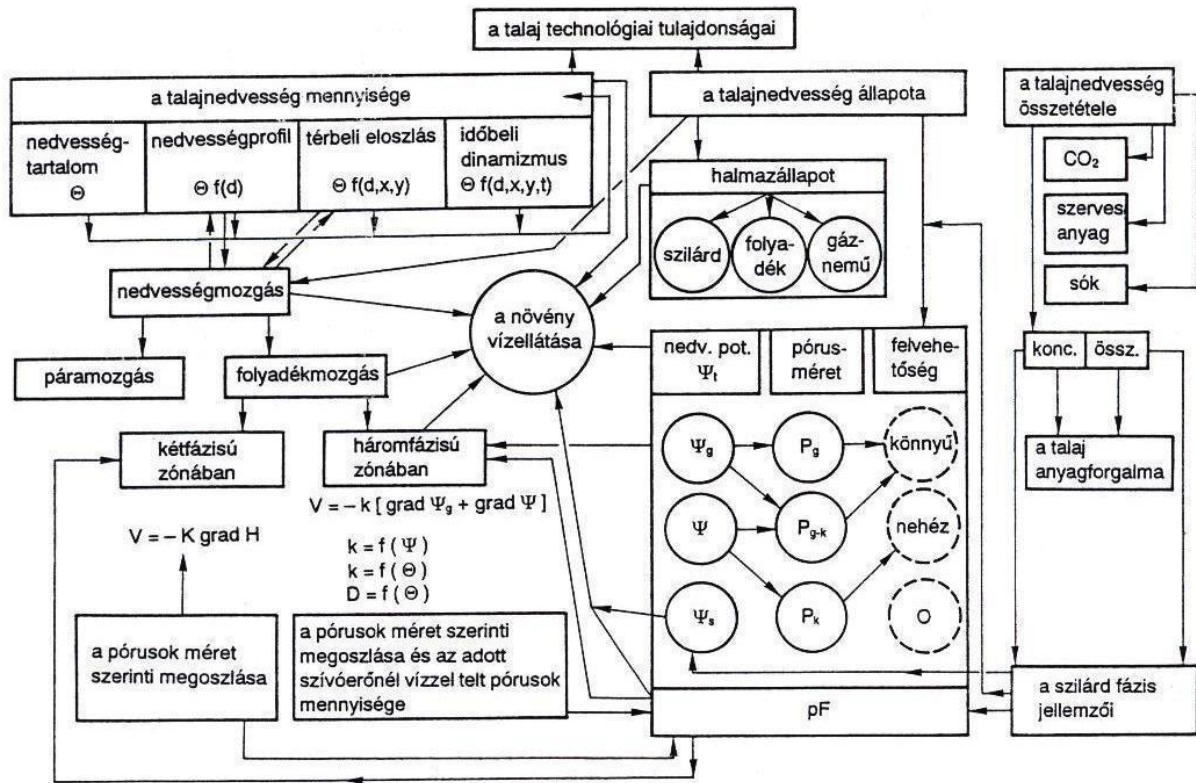
A mátrix- vagy kapilláris potenciált kifejező pF-görbék és a különféle vízkapacitás-értékek összefüggését szemlélteti az **1.9. ábra**, négyféle talajtípus esetében. Az ún. hidraulikus potenciál - általában - a **kapilláris** és a **gravitációs** potenciál összege - egyensúlyi helyzetben kiegyenlítik egymást.



	V _{kmax}	V _k	H _v	D _v
mm/10 cm talaj				
dh	45	3	1	2
hv	50	20	7	13
v	48	33	17	16
a	52	47	29	18

1.9. ábra Különböző mechanikai összetételű talajok pF-görbéi és az azokról leolvasható jellemzők

A talaj vízgazdálkodásának jellemzői - összefüggésükben - az **1.10.** ábrán láthatók. A rendszerhálóban feszülő finom egyensúlyokat, visszacsatolásokat az ábra látszólagos kuszasága is jól érzékelteti.



1.10. ábra A talaj vízgazdálkodásának jellemzői

1.4.2. Vízmozgás a talajban

A talaj nedvességtartalmának és nedvességformáinak (vízháztartásának/készletének) tényezői - az 1.11. ábra nyomán - a következők:

Cs és Ö: a talaj felszínére jutó csapadék öntözővíz,

F és f: felszíni lefolyás (oda-, ill. elfolyás),

I: a talajba szivárgó víz (beszivárgás)

i: a talajba szivárgó víznek a talajvíztestet elérő hányada,

N: a talajban tárolt nedvesség(készlet),

V: a növények számára hozzáférhető nedvességkészlet,

T: a növény által elpárologtatott víz,

E: a felszínről elpárolgó víz

L: közvetlenül a növény testfelületéről elpárolgó víz,

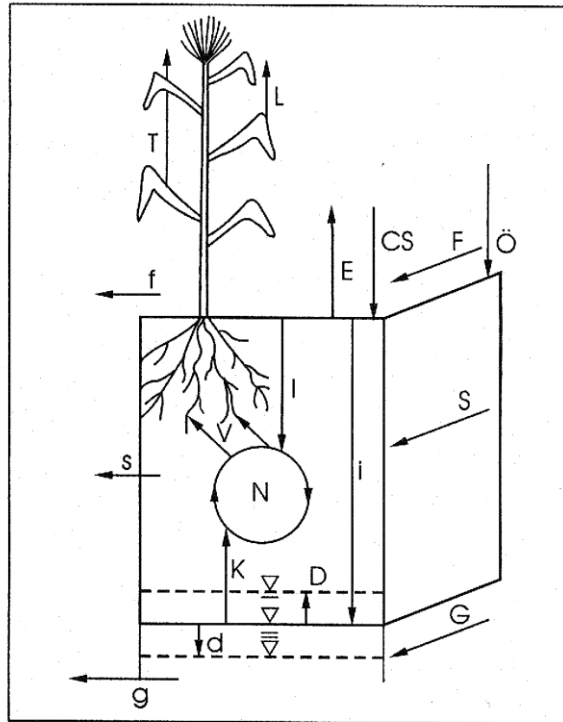
S és s: oldalirányú nedvességmozgás a talajban (oda-, ill. elszivárgás),

G és g: oldalirányú talajvízmozgás,

D: talajvízszint-emelkedés,

d: talajvízszint-süllyedés,

K: a talajvízből származó, fölfelé irányuló kapilláris vízmozgás.



1.11 ábra A talaj nedvességforgalmának tényezői

A vízformákra ható különféle erők következtében a víz (nedvesség) az ún. potenciálgradiens irányába(n) mozdul el az **általános transzportegyenlet** szerint (a hőmozgás, az elektromos áram és a diffúzió analógiájaként):

$$Q = k \cdot \frac{\partial \varphi_h}{\partial x}, \text{ ahol}$$

Q : az időegység alatt, egységnyi felületen átszivárgó víz mennyisége [$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$],

$\frac{\partial \varphi_h}{\partial x}$: az x irányban ható potenciálgradiens,

k : a talaj vízvezető-képességét jellemző állandó.

A víz/folyadékmozgást keltő erők legfontosabbjai:

- a gravitáció,
- a nyomáskülönbség,
- a kapilláris potenciálkülönbség (tenziógradiens)
- a párányomás különbsége.

A talaj nedvességtartalmától és nedvességformáitól függ, hogy a lehetőségek közül milyen természetű és irányú erőkombinációk alakulnak ki. Amennyiben a víz az összes pórusteret kitölti (pl. a talajvízszint alatt, vagy tartós vízborítás mellett akár a talajszelvény felső rétegeiben), a vízmozgás alapegyenlete a műszaki földtani előtanulmányokból az Olvasó számára már ismert (Darcy-törvény):

$$v = k \cdot i, \text{ ahol}$$

v : a szivárgás sebessége [$\text{m/s}; \text{m/d}$],

k : a szivárgási tényező [sebességdimenziójú] - talajjellemző,

i : a hidraulikus gradiens [hossz/hossz].

Tekintettel arra, hogy a (mozgó) folyadékfázis nem H_2O , hanem különféle töménységű és kémiai összetételű oldat - esetleg - szuszpenzió, célszerű a folyadék belső súrlódását is "explicité" feltüntető formula ismerete:

$$v = \frac{K}{\mu} i.$$

Ebben a felírásmódban a K a talaj (folyadék) vezetőképessége, a μ pedig a folyadék dinamikai viszkozitása.

A szivárgási tényező meghatározásának (Münz-Leine-féle berendezés, fúróluk-módszer, zavartalan talajmintán végzett állandó vagy változó víznyomás melletti labormérések, a szivárgási tényező becslése más - elsősorban a szemeloszlást jellemző - talajfizikai adatokból) módszereit másutt tárgyaljuk, a teljes geotechnikai kiterjesztés szintjén.

A szivárgási tényező talajmechanikai/geotechnikai célú meghatározásával szemben a talajtani értelemben vett (talaj)közeggel végzett mérések, számítások **megbízhatósága** alapvetően a szervesanyag-tartalomhoz kötődő kolloidok tulajdonságai/viselkedése, valamint az áramló folyadéknak a víztől (H₂O) akár szélsőségesen eltérő jellemzői (összetétel, tömörség, viszkozitás stb.) miatt **általában kisebb**. Világos, hogy a (termő)talaj folyadék-vezetőképességét a szerkezeten, tömörségen, repedezettségen kívül a nehezen vagy egyáltalán nem számszerűsíthető egyéb adottságok (gyökér- és állatjáratok, agrotechnika stb.) **együttese** határozza meg.

Ha a folyadékmozgás telítetlen (azaz háromfázisú) talajban megy végbe, a gravitációs és a kapilláris potenciálkülönbség közös eredője a hatóerő.

Amennyiben a mélyebb talajréteg szárazabb, a két erő összegződik. A szivárgás sebessége:

$$v = 1 + \left[\frac{\Delta\varphi}{\Delta h} \right] \cdot k, \text{ ahol}$$

$\Delta\varphi$: tenziókülönbség,

Δh : a két (mérési) pont távolsága (magasságkülönbsége),

k : kapilláris vezetőképesség.

Ha (pl.) a felső talajréteg szárazabb, a két erő ellentétes irányú (de azonos hatásvonalú):

$$v = 1 - \left[\frac{\Delta\varphi}{\Delta h} \right] \cdot k.$$

A két erő eredőjének előjele szerint lefelé, felfelé haladó vagy zérus értelmű folyadékmozgás alakulhat ki. Kiemelendő, hogy a kapilláris folyadékmozgás nem csak felfelé irányuló lehet, hanem **bármilyen** irányú. A pórusok **részleges** kitöltésének következménye, hogy a háromfázisú talaj (folyadék)vezetőképessége **mindig kisebb**, mint a kétfázisúé, és egy $k = f(\varphi)$ típusú függvénnyel írható le (egyetlen szám helyett).

A pF 3-4-es értéke fölött a talajoldat gyakorlatilag **páraként mozog**. A hatóerő a nedvességtartalomnak és a hőmérsékletnek az eltéréséből adódik. Mértéke a talaj fizikai állapotától - ezen belül főleg a hőmérsékletgradienstől és a porozitástól - függően akár 70-75 mm/év is lehet.

A talaj nedvességtartalma a párolgás, ill. párologtatás révén csökken. Ezek a **meteorológiai** (hőmérséklet, relatív páratartalom, szélesebbesség, szélirány stb.) és a **talajtani tényezőktől** (nedvességtartalom, kapilláris folyadékvezető képesség stb.) egyaránt függenek.

A növényi testen keresztül történő "párologtatás" mértéke, "szintje" fajfüggő (is). A gyökerek szívóhatása 10^4 - $3 \cdot 10^4$ hPa körüli.

1.5. A talajok hőgazdálkodása

A talajba érkező és az elvesztett hő egyensúlyától függő **talajhőmérséklet** szabályozza a növényi magvak csírázását, fejlődését, a mikroszerkezetek vitalitását és így a tápanyagforgalmat, valamint - a termokémiai reakciók áttétjein - a mállást. (A legújabb

eredmények tükrében pl. a szerves talajtakarónak a karsztosodásban játszott - ezidáig alárendeltnek vélt - szerepét át kell értékelni!)

A talajhő forrásai és a hőmozgás módjai:

1. **A napsugárzás** (amelynek spektrumát a *Levegővédelem* c. tantárgyban elemezzük). Átlagos intenzitása $0,13 \text{ J/cm}^2 \text{ s}$ ($I = f(\lambda)$!), a földrajzi helytől, a tengerszint feletti magasságtól és - lejtős területen - a kitétségtől függően.

A talajra kifejtett hatás elsősorban a növényi fedettségtől, valamint a talajfelszín szerkezetétől és színétől függ.

A talajfelszínre érkező fényenergia behatolása - miközben hosszuhullámú hőenergiává alakul (transzformátor-hatás) - mindössze **1 mm** körüli.

2. **Hővezetés** - a hő a földi természetes hőfluxusból származik. Mennyisége $7 \cdot 10^{-5} \text{ J/cm}^2 \text{ s}$ körüli - tehát nagyságrendekkel kisebb, mint a napsugárzásé.

3. **Áramlás** - a talajjal érintkező levegőrétegek, valamint a csapadék hőmérséklet-eltérései révén.

4. A **talajban végbemenő** (exoterm) fizikai, kémiai és biológiai folyamatok által termelt hő. (Pl. a párákicsapódás kb. 2500 J/g , a fagyás mintegy 335 J/g hőt termel.)

A talaj hővesztése a fenti négy lehetőség inverze - a pillanatnyi talajhőfok a két (ellentétes) folyamatsoport arányától, egyensúlyától függ.

A beérkezett + termelődött hő következményei elsősorban a talaj(alkotók) **hővezetőképességétől és hőkapacitásától** függenek.

Az általános transzportegyenlet alapján

$$\varnothing = \frac{Q}{t} = \lambda \cdot q \cdot \frac{T_2 - T_1}{l}$$
$$\left(\frac{T_2 - T_1}{l} \rightarrow \frac{dT}{dx} \right),$$

amelyben

λ : a **hővezetőképesség** [$\text{J/cm} \cdot \text{C}^\circ \cdot \text{s}$],

q : a(z áramlási) keresztmetszet [cm^2],

$\frac{dT}{dx}$: a (hőmérsékleti) gradiens,

\varnothing : az időegység alatt "elmozduló" hőmennyiség.

A talaj szilárd részének hővezetőképessége $0,016$, a vize $0,4$, a talajlevegőé pedig $0,0002 \text{ J/cm} \cdot \text{C}^\circ \cdot \text{s}$ körüli. Vagyis a hő nagyobb része a szilárd bázis közvetítésével a mélyebb rétegek felé vezetődik el, míg a légkör felé csak kevés hő távozik hővezetés útján. Nyilvánvaló, hogy a jó hővezetőképességű talajok felső szelvényében a hőmérsékletingadozás kisebb, mint az azonos feltételek közötti, de rossz hővezetőképességű talajokban.

A talajok **hőkapacitása** (Q_t) az a hőmennyiség, amely az egységnyi térfogatú, eredeti szerkezetű talaj hőmérsékletét 1°C -kal emeli (v.ö. a fizikából ismert definícióval).

Mértékegysége: $\text{J/cm} \cdot \text{C}^\circ$

Értéke a **fajhő** (c_t) függvénye, miután

$$Q_t = c_t \cdot m (= c_t \cdot \rho \cdot V)$$

Néhány anyag, ill. talajalkotó fajhőjét és hőkapacitását foglalja össze az 1.12. táblázat.

1.12. táblázat Néhány anyag fajhője és hőkapacitása

Anyag	Fajhő J·g ⁻¹ ·°C ⁻¹	Hőkapacitás J·cm ⁻³ ·°C ⁻¹
Víz	4	4
Levegő	1	0,0012
Homok	0,84	2,18
Agyag	0,92	2,50
Humusz	1,70	2,72
Jég	2,10	1,88

A következmények egyike: Mivel a víz fajhője lényegesen nagyobb, mint a szilárd részeké, a kevesebb vizet megtartani képes homoktalajok ("meleg talajok") gyorsabban melegszenek, mint az agyag- vagy láptalajok ("hideg talajok").

Szokás még definiálni a **hőmérsékletvezető képességet** (Hv):

$$H_v = \frac{\lambda}{c_t}$$

Az összefüggés a talajban mozgó hő melegítő hatását fejezi ki, mértékegysége cm²/s. A fentiek szerint a száraz talajok hőmérsékletvezető képessége kicsi (→ kis hővezetőképességük miatt). Érvényes ez a sok nedvességgel bíró talajokra is, mert ezek hőkapacitása nagy. Ezért a legnagyobb hőmérsékletvezető-képesség a **közepesen nedves** talajokban mérhető - itt a legnagyobb a **fagybehatolás** mélysége is (70-120 cm).

A fagyhatás a talajban kettős: fizikai és biológiai. A nagyobb (pl. adszorpciós) erővel kötött víz a normál állapotú víz fagypontja **alatt** lesz szilárd halmazállapotú, vagyis a homokos talaj vize **előbb** megfagy, mint az agyagosé. Az erősen kötött víz pl. -75°C körül fagy meg. A sómennyiség is döntő: (pl.) a megfagyott csernozjom talajon haladó jármű elsüllyed(het) az azonos körülmények között kevésbé fagyott állapotú sziktalajban.

A talajfagy fizikai hatása a talajoldat → jég átmenet során bekövetkező térfogatváltozásán, valamint a víz és a jég tenziókülönbségén alapul. A jelenség visszafelé (jég → víz) is hatékony. A fagyás-olvadás ismétlődése (periglaciális területen évszakos, erdő- és hóhatáron napi ritmus) fokozza a következmények mértékét. A **talajgyúrás** (krioturbáció), **talajfolyás** (kongelisoliflukció), **felfagyás** és **kifagyás** (az utóbbiak már biológiai tünetek is) fogalmai az Olvasó előtanulmányaiból ismertek.

Mivel a talajban lévő organizmusok élettevékenységét elsősorban a víz(nedvesség) és a hőmérséklet szabja meg, e hármassal (komplex) kapcsolat jelentőségét nehéz volna túlbecsülni. A részletek azonban túlmutatnak a jelen tantárgy tematikus keretein.

1.6. A talajképződés faktorai

Természeti tényezőként - általában - a **földtanit**, a **biológiai**, az **éghajlatot**, a **domborzatot**, valamint a **talajkort** nevezik meg. Ezek egymással való kapcsolatuk, valamint az **emberi tevékenység** hatásai révén állandóan **változnak**, többnyire a klímazónák rendje által megszabott határokon belül.

A **földtani tényezők** aktív és passzív csoportra bonthatók. Az aktívak a talajképződés **folyamatában** befolyásolják, a passzívak pedig a talajképződés kezdeti feltételei között döntőek.

Aktív földtani tényezők

- a, Kiemelkedés → nő a reliefenergia → fokozott lejtőmeredekség/erózió, a sugárzásviszonyok változnak, stb.
- b, Süllyedés → feltöltődés → növekvő belvívveszély és talajvíz-hatás
- c, Talajvíz-viszonyok. A felszínhez való közelsége réti, szikes vagy láptalajok kialakulásához vezet, sőtartalma pedig szikesedést idéz(het) elő.
- d, Felszíni vizek. Az ártereken építő, az oldalazó erózió révén pedig (talaj)romboló hatásúak.

Passzív földtani tényezők

- a, A kőzet/ásványok fizikai tulajdonságai (tömörség, tagoltság, szemcsézettség, érdesség, fajhő stb.)
- b, A kőzet ásványos/kémiai összetétele → a (vegyszer) mállás folyamatait szabja meg.

Biológiai tényezők

Fizikai és kémiai jellegűek. Pótolhatatlan és döntő szerepük van a talaj biológiai aktivitásának/termékenységének alakulásában. A talajok szerves és szervetlen alkotóival egyaránt kapcsolatban állnak. Kiemelkedő jelentőségű a **növényzet**, amelynek föld feletti része - talajtakaróként - szabályozza a nedvesség- és hőmérsékletviszonyokat, pl. a szél fizikai funkcióinak (hűtés, párolgás, anyagszállítás - leülepedés, koptatás stb.) befolyásolása révén. A növény gyökérzete önmagában lazító-szellőző hatással (is) bír, a talaj szervesanyag-tartalmának részeként. A növényzet jellege (fű, fa) meghatározza az evapotranspiráció szintjét.

Az éghajlat

Az ún. **klímafaktorokat** (csapadék, hőmérséklet, szél, légnyomás-változás, napsugárzás stb.) a *Levegővédelem* c. tárgyban részletezzük. Talajtani szempontból itt csupán a szervesanyag-termelésre gyakorolt hatásukat emeljük ki: A bő csapadékkal társuló magas hőmérséklet - általában - fokozott növényterméshozadáshoz, tehát nagyobb arányú szervesanyag-képződéshez vezet. A Cs x T típusú függvény szélső értékein is érdemes elgondolkodni a lehetőségek sokirányú elágazódásain - gráfján - bolyongva.

Pl. A túl magas hőmérséklet a növényzet pusztulásához, esetleg sivatagosodáshoz vezet, a túlzott csapadék a képződött talajt lemossa, még összefüggő növénytakaró esetében is. Lehetséges, hogy a zárt növénytakaró éppen a magas hőmérséklet miatt bontódott meg/száradt ki.

A párolgás hatása a következőktől függ:

- I. A kőzet és a talajvíz jellemzői: - w,
- h_{tvsz} ,
- kőzetminőség (pl. tagoltság, porozitás),
- kőzethőmérséklet

II. Meteorológiai jellemzők:

- a csapadék (jelleg, mennyiség),
- a levegő relatív páratartalma, hőmérséklete,
- szél (sebesség, irány, nyomás).

III. Növényzet (jelleg, fedettség stb.)

Pl.: A szél hatására a kiszáradás mélysége 60-70 mm, legfeljebb 1-2 m lehet (a száradási repedések mentén).

A talajban végbemenő párolgás mérésére szolgálnak az ún. **liziméterek**.

A domborzat

E hatáscsoport következménye a talajoknak a klímazónák rendjéhez igazodó, az Egyenlítővel párhuzamos és a geodéziai magasság függvényében kialakult **zonaritása**. A

geometriai elemek (tájolás, telítettség, lejtőszög, árnyékszóna stb.) révén szabályozza a felmelegedés-kiszáradás, talajerózió-lerakódás mértékét, helyét.

A talajvíz hatása - amelyet a földtani és domborzati tényezők közösen szabnak meg - akkor domináns, ha a talajvíz szintje 4 m-nél nincs mélyebben (láposodás, tőzegesedés, szikesedés) → kapillaritás.

A talajok kora

Figyelembevételét a talajok eltérő abszolút és relatív kora indokolja. Az abszolút korban akár évmilliónyi különbség is lehet (pl. a valaha jéggel fedett területeken a talajképződés később indulhatott meg, mint másutt). Az ugyanazon idő alatt elért fejlődési állapot a **relatív kor**, amelyben szintén döntő különbségek lehetnek.

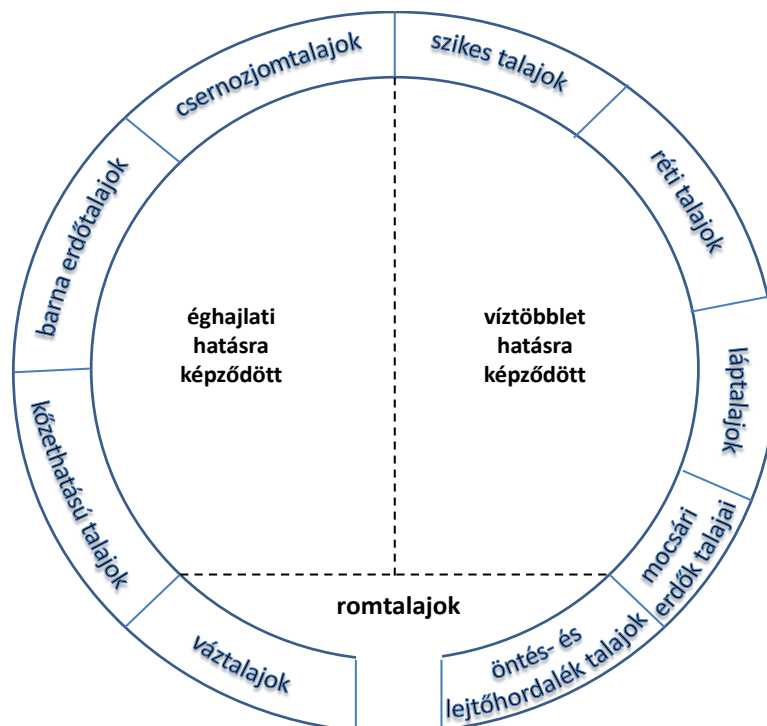
A talajképződés természetes folyamatait az **emberi tevékenység módosítja**, a fejlettség (pl. modern mezőgazdaság) fokától függő mértékben. Pl. a szántóföldi művelés a növénytakaró eróziós értékeit

sztyeppék esetében kb. 10x-esre,
(volt) erdőterületeken kb. 100x-osra(!) növeli.

1.7. A genetikai és talajföldrajzi talajosztályozás alapjai

A **talajtípus** a környezeti tényezők hatására kialakult fejlődési (talaj)állapotot jelenti. Mivel a talaj átmedvesedése, vízháztartásának jellege, vonásai alapvetőek, többnyire az éghajlat → növényzet kettős faktorát tekintik a talajosztályozás elvének, mint **zonális** - tehát a Föld nagyobb területein közel egyenletes kifejezésre jutó - talajképző tényezőt (→ **zonális** talajok). Az adott éghajlati övön belül kis területen (pl. lokális közethatás nyomán) kialakult talajt **intrazonális** talajnak nevezik.

A hazai (fő) típusok kiemelt részleteit az **1.13. ábra** nyomán tekintjük át.



1.13. ábra A genetikai és talajföldrajzi talajosztályozás főtípusainak kapcsolata

A **vízszintes** szelő alatti főtípusokat képviselő talajok képződését/fejlődését valamilyen tényező gátolja. Ezek az ún. **rom-** vagy **váztalajok** (mint főtípusok).

A **függőleges** vonaltól **balra** (és a vízszintes fölött) az éghajlat szerepe döntő, a(z) anya kőzet talajfejlődést irányító hatása pedig a vízszintes szelőtől fölfelé távolodva gyengül. **Jobbra** a felszínre hullottat meghaladó mennyiségű nedvességhez (időszakos vízborítás, közeli talajvíz, elöntés stb.) kapcsolódó talajtípusok vannak - a víz hatása a vízszintes szelőtől fölfelé távolodva csökken. E talajok összességét **azonális** vagy **hidromorf** talajoknak hívják.

Csernozjom talajok

A mezőségek jellegzetes sötétbarna színű talajtípusa, ahol a talajvízszint 4 m-nél mélyebben alakul ki, az évi csapadékmennyiség pedig nem több 600 mm-nél. A természetes növényzetet szárazságtűrő fűvek jellemzik, a humusztartalom nagy, ezért a talajszerkezet morzsalékos. A talajoldat többnyire Ca-mal telített, ennek jele a talajszelvényben 30-70 cm között kialakuló, a talajmorzsákat penészhez hasonlóan bevonó mészlepedék (B szint).

A Mezőföld, Alföld, Kisalföld, Tolnai-dombság, Pécsi-síkság egyik jellegzetes talajfajtája. Mezőgazdasági szempontból a legjobbak egyike.

Barna erdőtalajok

Hazánk területének kb. 30%-át fedik, olyan helyeken, ahol a csapadékmennyiség elég nagy. A párolgást a növényzet (lombos erdő) szélmérséklő hatása és az avartakaró egyaránt csökkenti. A pH kevésbé savanyú (kivétel: a fenyőerdő). Jellegzetes típus az agyagbemosódásos barna erdőtalaj, amelyben a kilúgozási szintből az agyagrészek is a felhalmozódási szintbe vándorolnak, így vörösesbarna agyagos szint alakul ki.

Főbb előfordulási helyük: Dunántúli- és az Északi-középhegység, Dél-Dunántúl.

Szikes talajok

A Na⁺-sók szerepe lényeges. Két alaptípusa közül a **szoloncsáktalajokra** az A szintben, ill. a felszínen történő Na-só felhalmozódás/kiválás jellemző, a **szolonyec**ekre pedig az, hogy a kicserélhető Na-ionok a felszín alatti genetikai szintekben dúsulnak föl.

A szoloncsákok erősen lúgosak, a talajszerkezet tömött, szárazon repedező (akár sókivirágzással), nedvesen folyósodik. A feltalaj szárazon világosszürke, mélyebben sötétebb (pl. a Kiskunság jellegzetes talajtípusa).

A szolonyec A szintje többnyire a 15 cm-es vastagságot sem éri el, világosszürke, a sókat és az agyagféleségeket a B szint tartalmazza (Hortobágy, Körösök). Keletkezése pl. a talajvíz szintjének csökkenéséhez kötődik.

Réti talajok

A kialakulás területét a felszíni és a talajvíz bősége jellemzi ($h_{\text{tvsz}} = 0,5-3,0$ m). Nyirkos, levegőtlen viszonyok uralják, a humuszos réteg fekete. A mozgékonyabb vasvegyületek **glej**, **vasborsó** és **rozsdafolt** formájában vannak jelen. Művelése igen nehéz, agyagosodásra hajlamos talajfajta.

Láptalajok

Jellemzőjük a vízzel való telítettség (akár a tartós vízfedettség is). Ezért az elsősorban vízi növényzet (nád, sás, káka) levegőtlen viszonyok között humifikálódik, többnyire tőzegesedéssel társulva. Az egymásra települő tőzegmoha-generációk elbomlása (a domború morfológiai részeken) a hazánkban ritka **mohaláp** kialakulásához vezet. Kiszáradásuk során jelentősen zsugorodnak, tőzegtartalmuk kiég, a megbontott felszínt a szélerózió könnyen rombolja tovább.

Az ún. **rétláp-talajok** pl. a Hanság, a Kis-Balaton, a Tapolcai-berek, a Nagyberek, a Sárrét, az Ecsedi-láp stb. területéhez kötődnek.

Az ún. **kotús** láptalajok vízgazdálkodása kedvezőbb (kotu: erősen nedves feltételek között felhalmozódott, ásványi anyagban gazdagabb, de még 10-20% szervesanyagot tartalmazó szint).

Közethatású talajok

Vékony termőrétegét erőteljes humuszosodás jellemzi. Hazánk ún. **rendzinalajjai** mészkövön, márgán és dolomiton alakultak ki, többnyire kövesek, szerkezetük morzsás, kémhatásuk gyengén lúgos vagy gyengén savas. A talajképző kőzet tulajdonságai szerint **fekete, barna és vörösgyagos** rendzinákat különböztetnek meg.

Váztalajok

Képződésükben a biológiai folyamatok feltételei csak kismértékben és/vagy rövid ideig adottak. E korlátok a talajképző kőzet tulajdonságaiból és a felszín állandó, gyors változásaiból (víz- és szélerózió) adódnak.

Közös jellemzőjük a talajképződés termékeinek elszállítódása (így ismételt az eredeti kőzet kerül felszínre), és a talajszemcsék állandó mozgása - száraz talajfelszín és erős szél mellett. Típusaik: köves-sziklás, kavicsos, földes kopár, futóhomok (és jellegtelen homoktalajok), valamint humuszos homoktalajok. Az itt nem részletezett talajtípusokról (tundratalaj, podzol, trópusi és szubtrópusi talajok - laterit, terra rossa stb.) a Geológia c. tárgyban volt szó.

A hazai talajtípusok elterjedését az 1.14. ábra szemlélteti.



1.14. ábra A főbb talajtípusok elterjedése hazánkban

(1 – barna erdőtalajok, 2 – csernozjomok, 3 – szikesek, 4 – réti talajok, 5 – láptalajok, 6 – rendzinák, 7 – homokos váztalajok, 8 – öntéstalajok)

1.8. A talaj, mint élettér - talajkémiai alapok

A talaj termékenységét megszabó szerves anyag (→ humusz) a talajban zajló biológiai/biokémiai folyamatok mellékterméke, egyúttal a folyamatok anyag- és

energiatartaléka. Összetétele nem egészen ismert, sötét színű, amorf, kolloidális, nagymolekulájú anyagok összessége. Kémiai szempontból két csoportba sorolhatók:

<i>Aspecifikus</i>	<i>Specifikus</i>
Fehérjék	(Humuszvegyületek)
Szénhidrátok	Huminsavak
Zsírok	Fulvosavak
Lignin	Huminanyagok
Gyanták	
Észterek	
Szerves savak	

Az első élőlények - zuzmók (algák és gombák életközössége) - már a felszíni mállás során megjelennek. Tápanyagaikat közvetlenül a kőzetből fel tudják venni, biztosítva a többi élőlény (baktériumok, mohák, fűvek, emlősök) életterét.

A talajban mintegy 4000 faj él - mennyiségüket, szerepüket az alábbi számok érzékeltetik:
(Pl.) a réti talaj felső 10 cm-ben $2 \cdot 10^6$ db egysejtű/dm³
 $3 \cdot 10^4$ db fonalféreg/dm³

él. Mikorrhíza-**gombából** nagyságrendben átlagosan 10^7

baktériumból néhány milliárd

sugárgombából 10^8

található 1 g talajban.

A szerves anyagban raktározott energia 20 kJ/g körüli - ez a szén energiatartalmának fele. Átlagos összetételt tekintve a szerves anyag kb. 85%-a humusz, 10%-a növényi gyökérzet, míg az élő növény- és állatvilág 5%-ot tesz ki.

Az ún. **talajművelő állatok** életközösségéhez tartoznak a rágcsálók (egér, hörcsög, vakond), földigiliszták, televényférgek, természetek és a hangyák. E lények tevékenységétől elsősorban a talaj fizikai szerkezete/állapota függ.

A talajban zajló folyamatok eredő egyensúlyi állapota a következő ellentétpárookra bontható:

szerves anyag felhalmozódás	- szerves anyag pusztulása (ásványosodás)
savanyodás	- lúgosodás
kilúgozódás	- sófelhalmozódás
agyagosodás	- agyagszétésés
agyagvándorlás	- agyagkicsapódás
oxidáció	- redukció
szerkezetképződés	- szerkezetleromlás

A szerves anyagok keletkezésében a mikroorganizmusok szerepe döntő - vitalitásuk egyfelől a talaj víztartalmától,

hőmérsékletétől és

kémhatásától (pH),

másrészt a talajban lévő kationoktól és

a tápelemek (N, P, S stb.) mennyiségétől, arányától függ.

A talaj szervesanyag-tartalmának emelésével a termékenység csak egy adott (természetes) határig fokozható. Efelett azok kiesnek az (elem)körforgalomból.

A szerves anyag elsődleges funkciói:

- a növények tápanyagellátása,
- a talajfizikai tulajdonságok szabályozása (tápanyag- és vízmegkötőképesség → tápanyagmérleg javítása),
- energia és szén biztosítása a mikrobiológiai folyamatokhoz.

A **pH-nak** döntő szerepe van a talaj állapotára, pl. a növényi tápanyagfelvételre és a mikroszervezetre gyakorolt hatása kapcsán (a két tényezőcsoport egymással is összefügg). Az élettér vonatkozásában a semleges pH a legkedvezőbb. Adott értékét az adszorbeált H^+ és Al^{3+} (savanyú), valamint a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ és K^+ (semleges-lúgos) kationok aránya határozza meg.

Kétféle savanyúságot definiálnak:

- a, pH-t, mint minőségi értékmérőt és
- b, potenciális savanyúságot, amely a kolloidokon adszorbeált H^+ és Al^{3+} -ionok, valamint a disszociációra képes H^+ -ionok mennyiségét jelenti.

A kémhatáshoz rendelt talajtani kategóriák:

Megnevezés	pH
erősen savanyú	< 4,5
savanyú	4,5-5,5
gyengén savanyú	5,5-6,8
semleges	6,8-7,0-7,2
gyengén lúgos	7,2-8,5
lúgos	8,5-9,0
erősen lúgos	> 9,0

A talajok ún. pufferképességén a mindennemű külső hatással szembeni ellenállást értik.

Oxidáció (elektronleadás) - **redukció** (elektronfelvétel)

A talajkolloidok felületének kialakulásában és funkcionálásában van döntő szerepük. A talajoldat-komponensek közül oxidatív az

O^{2-} , Fe^{3+} , NO_3^- (levegős, száraz körülmények),

reduktív az

NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S (levegőtlen, nedves viszonyok).

A **talajok színét** a humusz, az agyag és a vas-hidroxidok együttesen alakítják ki.

A csernozjom (feketeföld) - a mezőségek talaja.

Podzol (zola = hamu) - a csapadékszegény fenyőerdők talaja.

Vörösföld (terra rossa) - a forró (trópusi) éghajlaton képződött.

Sárgaföld - szubtrópusi talajféleség.

A sötét színt a humusz kelti, az árnyalatokat pedig az ásványi anyagok.

Fe^{3+} és Mn^{2+} : vörös, barna, sárga

Fe^{2+} : kékes, szürke

Kilúgozódás

A K, Na és Mg vegyületek a talajvízben oldva az ún. kilúgzási szintből lefelé eltávoznak, és a felhalmozódási szintben gyűlnek föl. E folyamatokhoz bő csapadék és savanyú humusz szükséges.

Agyagosodás

Az agyagtartalom az anyakőzetéhez viszonyítva növekszik.

Az agyagásványok a földpátok, csillámok, amfibolok, piroxének bomlásával/szétesésével keletkeznek, vagy a fenti (elsődleges) ásványok kémiai átalakulásával, vagy a bomlástermékek újrakristályosodásával. A hidrolízis - a H^+ bediffundálása a szilikátrácsba - az alábbiak szerinti:

H_2O + szilikátok → (hidrolízis) → kovasav + fém-hidroxid + karbonátok/agyagásványok

Trópusi talajokon (sok csapadék, savanyú közeg) → kaolinit, valamint Fe- és Al-hidroxidok képződnek.

Mérsékelt égöv alatt (kevesebb csapadék, lúgos közeg) → illitfélék, montmorilloritfélék keletkeznek.

* * *

Abszorpció: Minden anyag- és energiaátadási folyamat azon része, amelynek során gáz, folyadék vagy sugárzás elnyelődése, felhalmozódása vagy oldódása **folyadékban** történik. Ha a felvevő közeg szilárd → adszorpcióról van szó. (A szilárd közeg az **adszorptívum**, a másig ágens az adszorbátum.)

Agyagvándorlás

A kilúgzás csökkenti a talajaggregátumokat összetartó erőket, ezért azok szétesnek és a csapadékkal elszállítódnak.

Savanyú humusz és kilúgzás mellett az agyagásványok kovasavra és színezőanyagra (pl. vas-hidroxidra) bomlanak, az elszállítódás során a talajszelvény felső szakasza fakó színű lesz → podzolosodás).

Sófelhalmozódás

Feltételei: száraz éghajlat, felszínközeli talajvíz, lefolyástalanság. A betöményedő, kapillárisan pótlódó talajoldatból kiválik a só egy része (illuviális szint). Ahhoz, hogy a felső talajszelvényből (eluviális szint) a sók lefelé mozduljanak el, nincs elegendő csapadék.

Lateritesedés

Meleg, nedves éghajlati viszonyok között a kovasav kilúgozódik és vas-alumínium oxihidroxidok dúsulnak föl. A vörös szín a vasvegyületek szétesésének következménye (Fe-oxidok).

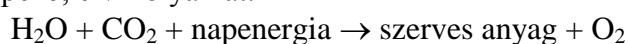
1.9. A talaj globális funkciói

A **környezet** az élő szervezeteket (organizmusok, organizmusok komplexei, együttese) körülvevő fizikai, kémiai és biológiai - tehát külső - tényezők/körülmények összessége.

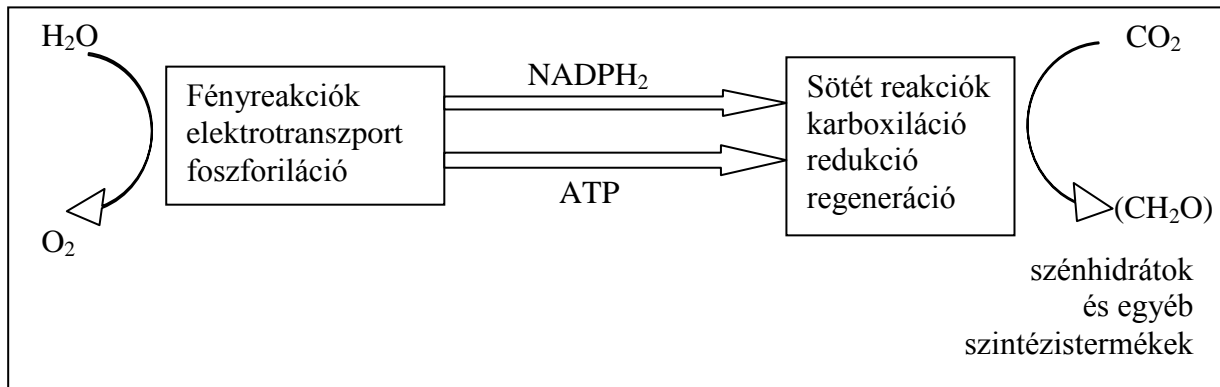
A szerves és szervetlen természetnek - a **geobioszférának** - e külső tényezői a hazánkban szokásos felosztás szerint: talaj - víz - levegő - élővilág (növény-állat-ember; természetes és mesterséges ökoszisztémákba rendeződve) - táj és az **épített (művi) környezet**.

Következésképpen:

- A talaj(öv) a környezet egyik (alap)eleme.
- A természetes (és fokozódó mértékű, bár jelenleg még alárendelt méretű mesterséges) biológiai és geológiai körforgás (ciklus) egyik eleme/szintere.
- Az élő szervezetek élettere (fito- és zoobiotikus = bofilaktikus funkció).
- A techno (vagy noo-) szféra szintere - a helyhez kötött emberi létesítmények gyakorisági maximuma - jelenleg még - a pedoszférát érinti.
- Az élelmiszertermeléshez pótolhatatlanul szükséges természeti erőforrás (→ az emberiség jövőjének egyik kulcsa) - bioproduktív funkció.
- A mezőgazdasághoz/talajműveléshez kapcsolódó tevékenység révén: **szociális** funkció.
- Esztétikai szerep - többnyire a létesítmények természeti környezete révén jelentős.
- **Energiaátalakítás növények nélkül.** A Napból érkező fényenergia jórészt hővé alakul - többek között a pedoszféra révén. A hőenergia egy része - visszasugárzással - a levegőt fűti, a másik kémiai energiaként a mállástermékekben raktározódik el.
- **Energiaátalakítási növényzettel.** Bázisfolyamata a **fotoszintézis**, amelynek lényege a (fotoszintetizáló) növényekben végbemenő, a jelenlegi földi élet energetikai alapját képező, elvi folyamat:



A fotoszintetizáló növényi pigmentek a 380-720 nm-es színtartományt (a fotoszintetikusan aktív radiációt) hasznosítják a Nap sugárzásának energiaspektrumából (10^{-9} - 10^9 μm). Úgy tűnik, a napenergia földi hasznosításában továbbra is ez a **talaj-növény energiátranzformátor** marad a legfontosabb eszköz. A fotoszintézis vázlatát a **Biológia II.** c. tárgyban már részletesen tanultak felidézése céljából az 1.15. ábra mutatja.



1.15. ábra A fotoszintézis vázlatát (ATP: adenzin-trifoszfát, NADPH₂: redukált piridin-nukleotid)

- **Klíma- és eróziószabályozás** (pl. az albedo változása révén, amely akár a talaj (felület) kémiai sajátosságai által meghatározott, akár a hosszú kötődő növényzet színén keresztül befolyásolja pl. a légkör alsó rétegének felfűtését. (A növénytakarónak és az erózióknak a kapcsolatrendszerét a későbbiekben tárgyaljuk.)

Kultúrnövényekkel fedett szántóföldre az albedo értéke 15-30%,
erdőre 10% körüli.

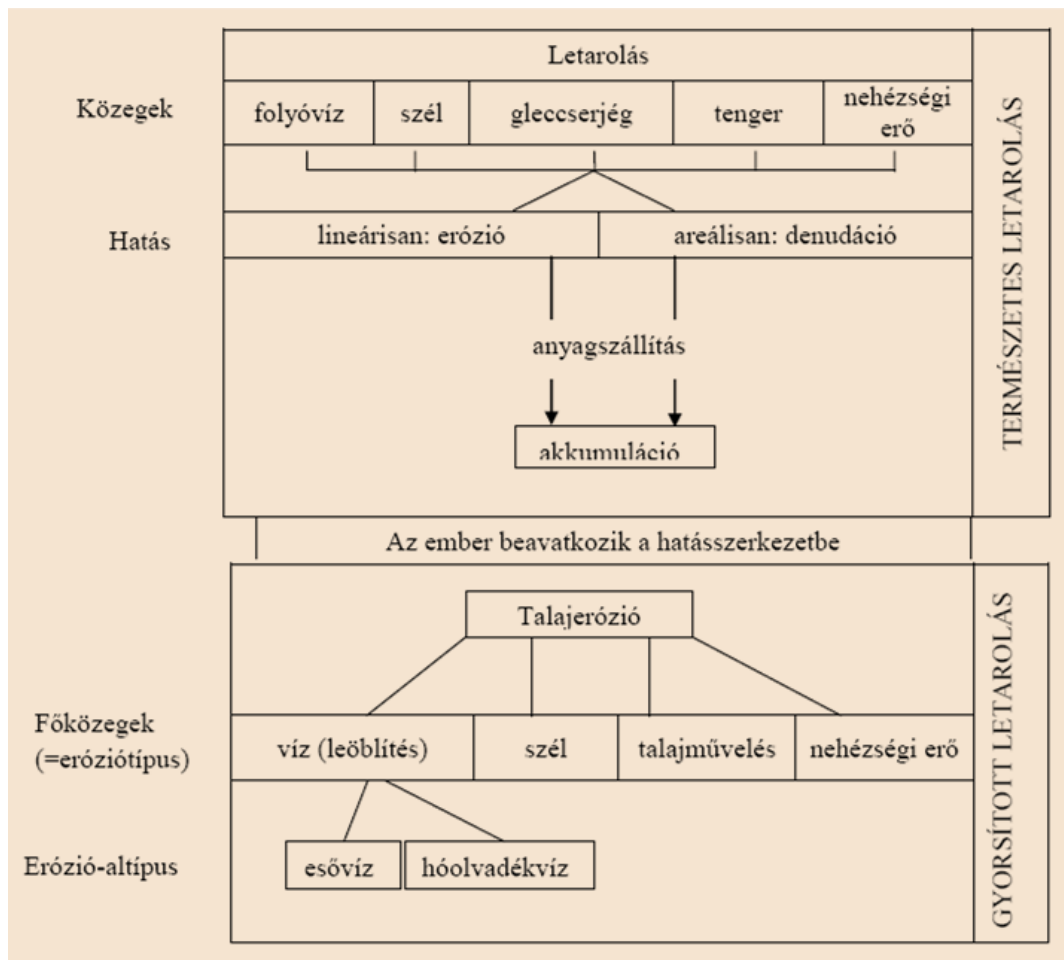
A hóval fedett területek albedója 70-80%, míg a nyílt vízfelszíné mindössze 8-10%. A léghőmérséklettel való összefüggést lásd a **Levegővédelem** c. tárgyban.

- Anyagmegkötés és -raktározás, ezzel kapcsolatban kiegyenlítő-csillapító-stabilizáló hatások.

1.10. A talajpusztulás (→ talajromlás, degradáció)

A víz, a szél, a jég, a gravitációs erő és ezek kombinációinak talajrombolása, amely a talajok természetes tevékenységének a csökkenését, szélsőséges esetben a talajtakaró teljes fizikai megsemmisülését vált(hat)ja ki.

Természetes növénytakaró stb. mellett a talajok keletkezése és (természetes!) pusztulása **globális** egyensúlyban van - számszerű értékük 1,1 t/ha körüli. Két legfontosabb formája a **talajerózió** (vízhatás) és a **defláció** (szélhatás). Újabban idesorolják a talaj termékenységét csökkentő egyéb folyamatokat (másodlagos szikesedés, elsavanyodás, a talajművelés okozta szerkezetromlás stb.) is. A kiváltó okok **jellege** szerint **geológiai**, és az emberi beavatkozás által (pl. a talajműveléssel) előidézett **gyorsított talajpusztulást**, - régebbi szóhasználattal - **gyorsított eróziót** különböztetnek meg (1.16. ábra).



1.16 ábra A természetes és gyorsított letarolás, valamint a felszínformáló közegek vázlata Schmidt, R. G. (1979) szerint

1.10.1. A (talaj)erózió

A csapadékvíz felszíni - ritkábban felszín alatti - talajpusztító tevékenysége. Csak ott léphet föl, ahol **felületi** lefolyás alakul ki, tehát a csapadékinzintitásnak az idő(tartam) szerinti integrálja nagyobb (kell legyen), mint a talaj(felület) vízelnyelő képességének és a párolgásnak az **összege**. Általában, ha a napi csapadékmennyiség nagyobb 20 mm-nél, erózió alakul ki.

A csapadék eróziós hatásával szembeni ellenállóképességet a talaj **erodálhatóságának**, erodibilitásának nevezik. Csak egyenletes intenzitású és cseppenergiájú - akár mesterséges - eső mellett adható meg egyetlen számmal (kg/m^2). Tényezői: (talaj)szerkezet, nedvességtartalom, kötöttség, lejtő (hossz és meredekség), víznyelés mértéke, rétegzettség, növényborítottság stb. → lásd az eróziót befolyásoló tényezőket.

Formái:

Felületi - **Rejtett erózió** vagy **mikroszoliflukció**.

A telített talajra hulló további csapadék következtében az elfolyósodott talajfelszín pépszerű állapotban lejtőirányban elmozdul a helyi erózióbázis felé. A jelenség szemmel nem érzékelhető.

- Csepperózió. Száraz talajfelszínen a hirtelen nedvesedés hatására a talajmorzsák **robannásszerűen apróbb részekre hullanak**, az erőteljes szívás és a talajlevegő

pillanatnyi túlnyomása következtében. A másik mechanizmus lényege az esőcseppek **mechanikai ütőhatása**.

- Lepelerózió. A nagy területen, egy időben elmozduló víztömeg talajrészeket mozdit ki és szállít, a helyi erózióbázison rakva le azokat.

Fokozatait a területre jellemző nem erodált talajszelvény szintjeinek együtteséhez (100%) viszonyítják.

Gyengén erodált: az eredeti talajszelvény szintjeinek 70%-a megmaradt.

Közepesen erodált: a lepusztult arány 30-70%.

Erősen erodált: kevesebb, mint 30% (vagy 30 cm-nél nem vastagabb talajréteg) maradt meg.

Vonalas - Barázdás és árkos erózió.
(lineáris)

Az időszakos felszíni vízfolyások nyomán képződött barázdák mélysége 0,5 m-nél nem nagyobb, ha igen, árkos erózióról beszélünk. Fokozatát a "hiányzó" talajtömeghez kötik, amelyet a lejtőiránnyal megegyezően orientált oldalú, pl. 10x10 m-es mintaterület lejtőirányra merőlegesen felvett három szelvényének (alsó-középső-felső) barázda- vagy árokmetaszetéből számítanak ($m_h = \rho_t \cdot V_t$).

Gyengén erodált a terület, ha $m_h < 40$ t/ha

Közepesen erodált, ha $40 < m_h < 100$ t/ha

Erősen erodált, ha $m_h > 100$ t/ha.

- Vízmósásos erózió.

A vonalas erózió folytonosan mélyülő és terjedő **vízmósáshálózat** alakul, a szintvonalas művelést már **akadályozó** mértékben.

Fokozatait a fajlagos vízmósáshossz szerint különítik el.

Gyengén vízmósásos: $\sum l_i < 200$ m/km²

Közepesen: $200 < \sum l_i < 500$ m/km²

Erősen: $\sum l_i > 500$ m/km²

- Padkásodás.

Szikes területeken néhány dm mély, meredek falú mélyedések formáját ölti (padka).

A padkatetőn többnyire zárt gyeptakaró él, a padkák alján (padkafenéken) pedig fehér, porszerű kovasav gyűlik föl ("kivirágzik").

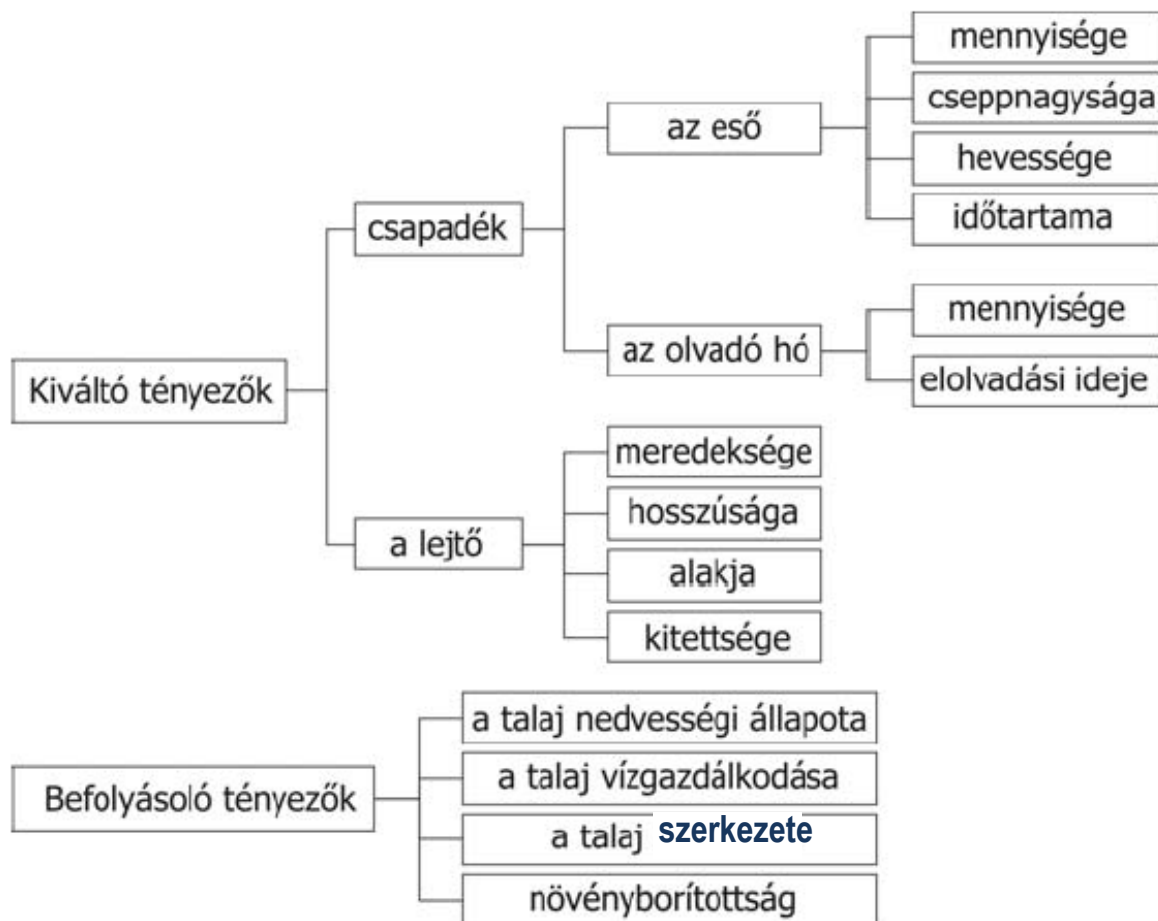
Az elpusztított felszín aránya szerint

10% alatt **gyengén**,

10-30% között **közepesen**, e fölött

erősen padkás területről beszélnek.

Az erózió tényezőit az **1.17. ábra** összegzi.



1.17. ábra Az erózió tényezői

Az egyes tényezők hatásának rendkívül kiterjedt szakirodalma van. Ehelyütt csupán néhány alapgondolatot emelünk ki.

Lejtőviszonyok - meredekség

"A lejtő fizikáját" az Olvasó előtanulmányaiból már ismeri (gyorsulás → erő → sebesség → kinetikus energia).

Az erózióveszély és az ajánlható talajvédelmi eljárások megítélése során használt lejtőkategóriák:

Megnevezés	Meredekség (E %)	Erózió jellege
Sík vagy hullámos terület	$E < 5$	padkásodás, esetleg felületi rétegerózió
Enyhén lejtős terület	$5 \leq E < 12$	felületi rétegerózió
Közepes lejtésű terület	$12 \leq E < 17$	felületi és barázdás, esetleg vízmosásos
Erősen lejtős terület	$17 \leq E < 25$	felületi, barázdás, vízmosásos
Meredek lejtő(s) terület	$E > 25$	általában a talajképző kőzetig pusztít

Lejtőhossz (L)

A sebesség és a víztömeg egyik "független változója" (a sebességnek a veszteségek miatt - sűrűlódás a talajfelületen, a zagy vagy folyadék belső sűrűlódása, közegellenállás stb. - felső korlátja van). Általában $L < 10-20$ m mellett kicsi, $L > 100$ m esetében nagy a veszély(potenciál).

Lejtőalak

egyenes (fizikai lejtő), domború, homorú, összetett → inflexiós sáv. Sok esetben a talajpusztulás ez utóbbi mentén kezdődik.

Kitettség

A lejtő(szakasz)/felszín tájolása. Befolyásolja a **besugárzást** (→ fölmelegedés → kiszáradás → szerkezetromlás) és az általában széllel érkező csapadék **ütőhatását**.

Növényborítottság

A víz- és szélrózió mindegyikében döntő jelentőségű (egy- vagy többszintű faállomány - erdei aljnövényzet és alomtakaró - gyepek). Fékezi vagy kizárja a csepperóziót, csökkenti a talaj felületének párolgását stb., mérsékli - akár 40%-kal a szélesebességet, a homokmozgást / homokverést stb.

Az ősi erdei növényállomány a talajpusztulást lényegesen csökkenti. Rosszabb a helyzet a kultúrtípusok, rontott és legeltetett erdők, valamint a művelt, a növényfedettséget (időszakosan) teljesen nélkülöző **szántók** esetében.

1.10.2. A szélhatás (defláció)

A szelet, mint klímafaktort, a **Levegővédelem** c. tárgyban részletezzük. Tényezői a talajpusztulás vonatkozásában a következők:

Kiváltó tényezők	szél (mozgás)	sebesség örvénylés tartósság
Befolyásoló tényezők	a deflációs terület hossza szemcseösszetétele szerkezet szervesanyagtartalom felszíni érdesség, nedvességtartalom (→ talajvízszint kapillaritás) növényborítottság	

A szél sebessége a felszíntől mért $0 < h < 2$ m-es tartományban gyakorlatilag zérus. Fölötte igen vékony rétegben az áramlás **lamináris**, feljebb örvénylő - **turbulens**. A legmozgékonyabb, 0,1 mm-es átmérő körüli szemcsék általában akkor indulnak meg, ha a szél sebessége 30 cm-rel a talaj fölött 28-30 km/h (v_h), a függőleges irányú sebességkomponens pedig 3-4 km/h (v_f).

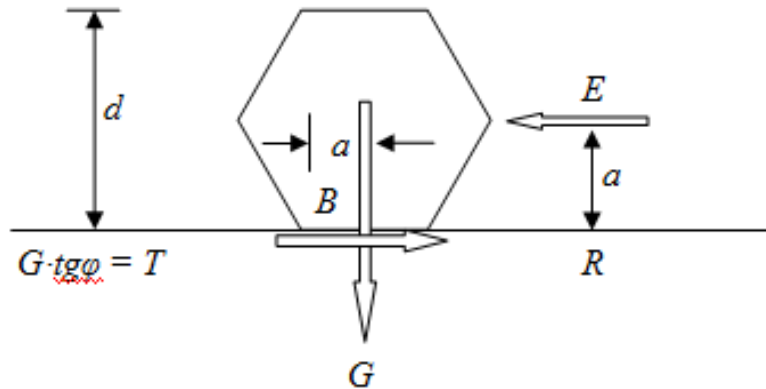
Vízszintes, sík területen a szemcse gördülve vagy csúszva mozdul meg a kritikus szélesebesség fölött. Szabályos alakú szemcsét tekintve (1.17. ábra), a **csúszás** feltétele

$$G \cdot \operatorname{tg} \varnothing > G \cdot \frac{a}{o} \quad (\text{azaz } \operatorname{tg} \varnothing > \frac{a}{o})$$

Ha a szélrózió a szemcsemagasság felében hat

$$o = \frac{d}{2}, \text{ tg } \varnothing \text{ legyen } 0,7,$$

a szemcse csúszva mozdul el akkor, ha
 $a > 0,35 d$, egyébként **gördül**.



1.18. ábra A levegőmozgás által „görgetve” szállított szemcse sík lapon

A gördülve mozgott szemcse tömegére ($\frac{G}{g}$, $G = \rho_i V$) ható szélró sík, horizontális felületen (a felszínnel párhuzamosan):

$$E = \frac{\gamma_L}{2g} \cdot v_L^2 \cdot f \cdot C_e$$

G: a szemcse súlya

g: gravitációs gyorsulás

γ_L : a levegő térfogatsúlya

f: a szemcse v_L irányára merőleges felülete

v_L : szélesebesség

C_e : hidrodinamikai faktor (mérésekből, kísérletekből)

Határegyensúlyban a B pontra ható nyomatékok egyenlők.

$$G \cdot a = E \cdot o$$

A fenti megfontolások jelentik egyben a határ- vagy küszöbsebesség (v_K) meghatározásának elveit. Általában:

Gördülésnél

$$v_K = (1500 - 3510) \sqrt{d} \quad (\text{cm/s})$$

Más szemcsék felületén történő gördülésnél (ha $\varnothing = 30^\circ$)

$$v_K = (1730 - 4050) \sqrt{d} \quad (\text{cm/s})$$

Csúszásnál

$$v_K = (1670 - 3950) \sqrt{d} \quad (\text{cm/s})$$

Pl. Szokolov szerint $v_K = 3200 \sqrt{d}$ (cm/s)

(d mindenütt mm-ben értendő).

Bagnold formulája szerint

$$v_K = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_e}{\rho_e} \cdot g \cdot d}, \text{ ahol}$$

$A = 0,1$, ha $\frac{v_K \cdot d}{\nu} > 3,5$ (Reynolds-szám)

ρ_s : a szemcsék sűrűsége

ρ_e : a levegő sűrűsége

g : a nehézségi gyorsulás

d : szemcseátmérő

v : kinematikai viszkozitás

(Az analógia tanulságaiért:) A természetes **medrekben** (folyóvízben) szállított hordalékra felírt összefüggések egyike az alábbi.

$$v_K = 22,9 d^{\frac{4}{9}} \sqrt{\gamma_t - \gamma_v} \quad (\text{cm/s})$$

A hordalékmozgató erő (S_K) számítására jól használható összefüggés az

$$S_K = A \cdot (\gamma_t - \gamma_v)^d$$

A: állandó (mérési adatokból)

d : szemcseátmérő

γ_t / γ_v : a szemcse, ill. a közeg (víz) fajsúlya

Lebegésnél a példánkban gömb alakú szemcse súlya és az aerodinamikus ellenállás egyenlő.

$$G = \frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma_s - \gamma_e) = \frac{\gamma_L}{2g} \cdot v_L^2 \cdot r^2 \pi \cdot C_e, \text{ ebből}$$

$$v_L = \sqrt{\frac{\gamma_s}{\gamma_L} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{g}{C_e} \cdot d}$$

A v_L értéke a maximális **üledési** sebesség, azaz ilyen mértékű **feláramlás** szükséges a lebegéshez. Ezt vagy a **hódiffúziós** mozgás ($v_{f \max} = 40 \text{ cm/s}$), vagy a vízszintes irányú turbulens légmozgás pulzációjának felfelé mutató eredője (v_p) biztosítja, amely arányos a vízszintes szélesebbséggel.

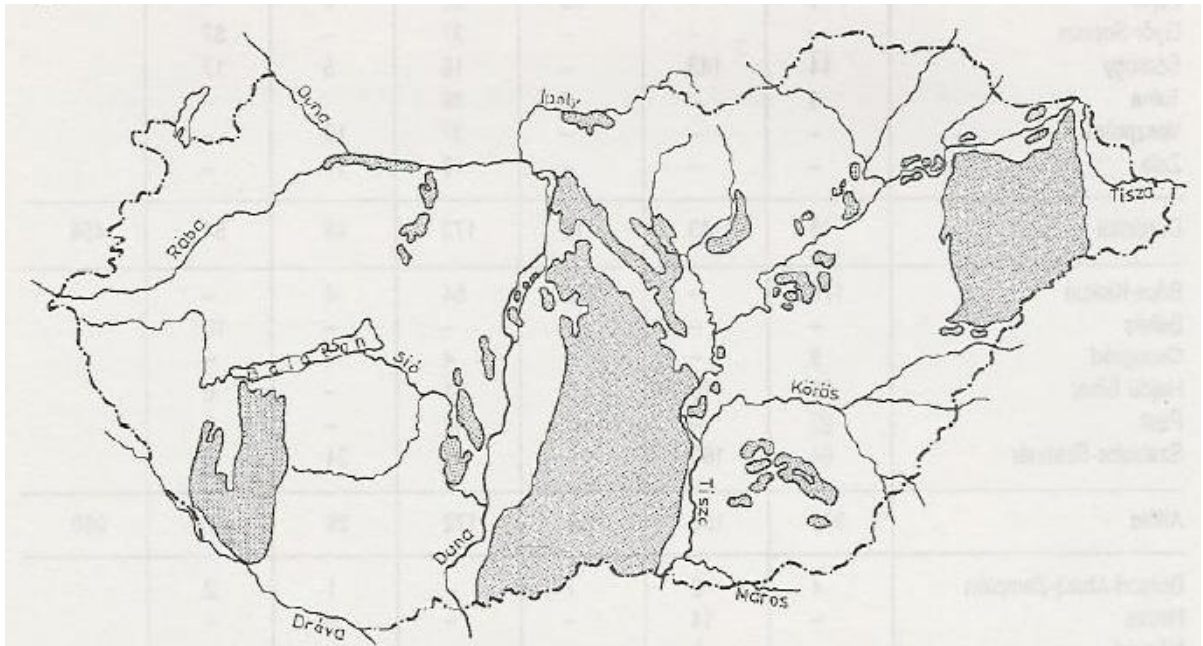
$$v_p = \xi v_L, \text{ ahol } \xi \text{ kb. } 0,1$$

A szemcsék ún. **pattogó** mozgásformáját (szaltáció) rugalmas ütközések sorozataként foghatjuk föl.

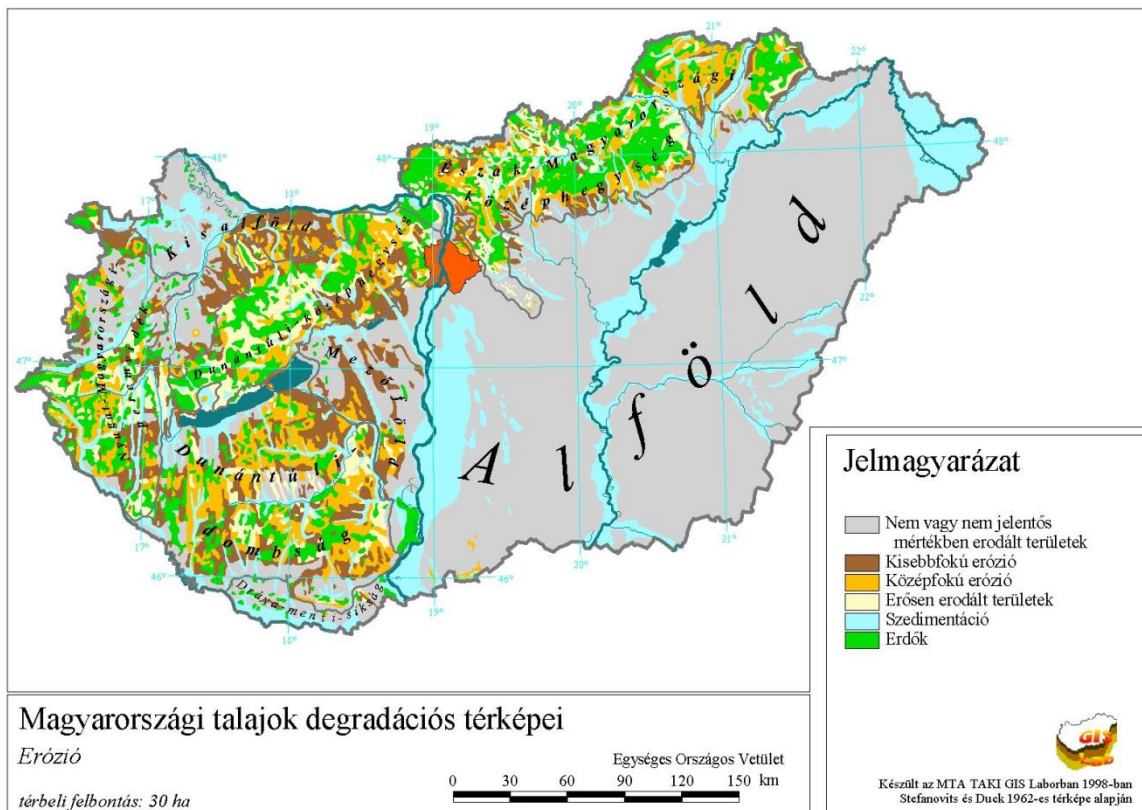
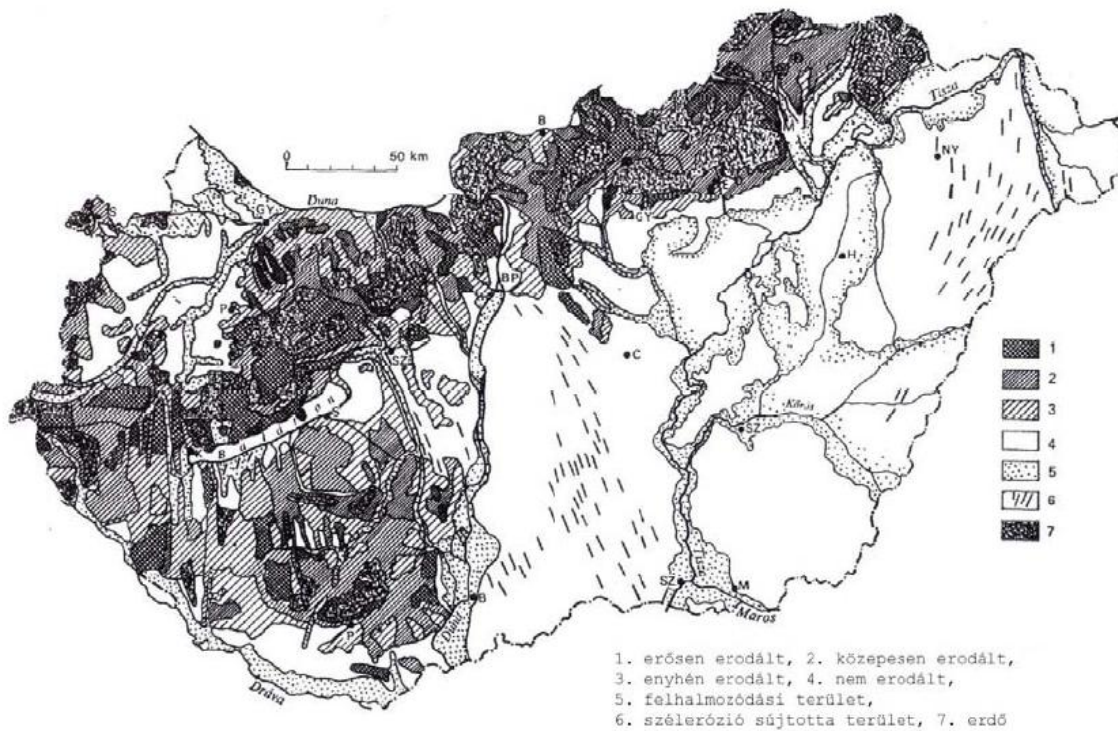
A szél által elmozdított szemcsék jól osztályozottak (futóhomok, hullópor), szemeloszlásuk deriváltja jellegzetes, szűksávú, egymaximumú haranggörbe. Növekvő szemcseátmérőknél a kifúvás veszélye csökken (2-3 mm - általában - a felső határ), kis szemcseátmérők esetében pedig az egyéb jellemzők (növekvő kolloidtartalom, adhézió, kapilláris tapadás stb.) miatt csökken a szélerózió lehetősége (szelektív denudáció). A kifúvás és a lerakódás között többszáz, esetleg több ezer km is lehet - a szélerózió felszínformáit (szélfodrok, szélbarázdák, garmadák, buckák, lepelhomok stb.) másutt részleteztük.

A defláció jelentős károkat okoz a lepusztult talajból fakadó **termékenységcsökkenés**, valamint a mozgó szemcsék ütóhatása következtében fellépő fizikai növénykárosodás (**homokverés**) és a **kifúvás** (támaszvesztés, gyökérkiszáradás) révén. A deflációs veszély/károk hazai megoszlását az **1.18. ábra** ismerteti.

A szél kb. másfél millió hektáron pusztít, elsősorban a homokos szerkezetű és a láptalajokat rombolva. Néha jelentős károkat okoz kötöttebb (pl. csernozjom) talajokon is. Általában a talajpusztulás hazai típusainak elterjedését a 18. ábra mutatja.



1.19./a ábra A deflációnak erősen kitett homokterületek



1.19./b Talajpusztulás Magyarországon (Stefanovits P. (1981.) szerint)

Defláción tágabb értelemben a szél felszínalakító munkáját értik. Kapcsolódó fogalmak: denudáció → letarolás, abláció → lehordás, korrózió → koptatás.

A **védekezés** lehetőségei elsősorban agrotechnikai jellegűek a szélsébség és a ráfutási hossz révén (mezővédő erdősávok, fasorok, ligetek → növényborítottság). A talajtakarás, szerkezetjavító műanyagok, kismértékű esőtető öntözés stb. alkalmazása többnyire a gazdaságosságot meghaladó költségekkel jár.

1.11. A talajpusztulás mértéke, okai, védekezési módok

A természetes körülmények között globális értelemben "dinamikusan állandó" talajmennyiség **fogyása** egyértelműen az emberi tevékenység következménye. A természeti környezetet megváltoztató egyik ősi módszer az 5000 évre visszanyúló **földművelés**, amelynek a kívánt kultúrnövények termesztése a célja. Ennek érdekében az eredeti vegetáció többnyire megsemmisül az erdőirtás, zárt gyepek feltörése stb. során. A "beavatkozás" mértékét, jellegét és ezek folytán kialakuló vagy kialakult, a természetes ütemnek mintegy 10-100-szorosán fokozott ("gyorított") erózió összetett mechanizmusát a szabályozott növénytermesztés műveletsora önmagában is érzékelteti: lazítás - porhanyítás - tömörítés - forgatás - keverés - felszínegyengetés - érdes felszín kialakítása - gyomirtás. (Az egyes műveletek talajtulajdonságokkal való összefüggéseinek részletei már a mezőgazdaságtudományokhoz tartoznak, mindamellett jó részük - elviekben - az eddigiek alapján is végiggondolható.)

Az általános talajvesztés becslésére pl. a Wischmeier-Smith-féle egyenlet használható:

$$A \text{ (t/ha/év)} = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \text{ ahol}$$

A az évi átlagos talajvesztés

R a csapadék eróziós potenciálja (t/ha/év)

K a talaj erodálhatósági tényezője (viszonyszám)

L a lejtő hosszát kifejező tényező (viszonyszám)

S a lejtő meredekségét kifejező tényező (viszonyszám)

C a vetésszerkezetnek és a növényi maradványok kezelésének tényezője

P az alkalmazott talajművelési mód tényezője

A képlet a "független változók" (egy részének) megnevezése folytán érdemel figyelmet.

Magyarországon a lejtős területek 63%-a erősen vagy közepesen erodált (az "A" szint teljesen lepusztult). Az erősen erodált területek zöme $\varepsilon > 17^\circ$ -os meredekség mellett alakult ki - a talajleemosódás mértéke

30 t/ha/év körüli, (országosan)

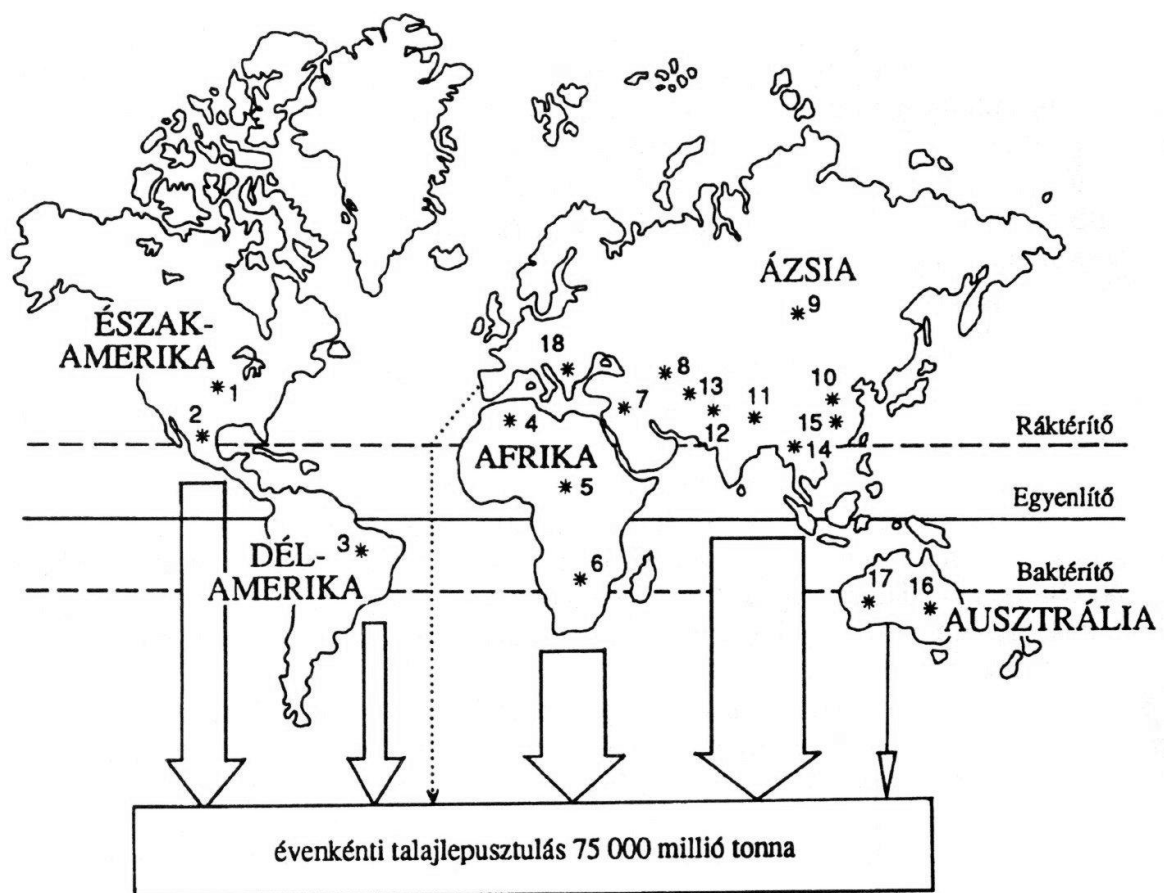
összesen 70 millió t/év, vagy

65-100 millió $\text{m}^3/\text{év}$.

Az évi humuszvesztés $1,43 \cdot 10^6$ t, ami átszámítva 20,3 t/ha istállótrágya szerves anyagának felel meg. (Ez átlagosan 2 mm-es talajréteg eróziójával egyenértékű.)

Az okok összevonásával, a nemzeti vagyon mintegy 20%-át kitevő termőföldnek fogyasztási üteme 50 évenként kb. Fejér megye területével azonos. Nem túlzó, inkább szokatlan megállapítás csupán, hogy hazánk legfontosabb természeti energiaforrása változatlanul a növények által transzformált sugárzó napenergia.

Világviszonylatban sem kedvezőbb a helyzet. Az egyes kontinensekről lepusztult talajvesztés (összesen 75 milliárd t/év) az 1.20. ábra tünteti föl.

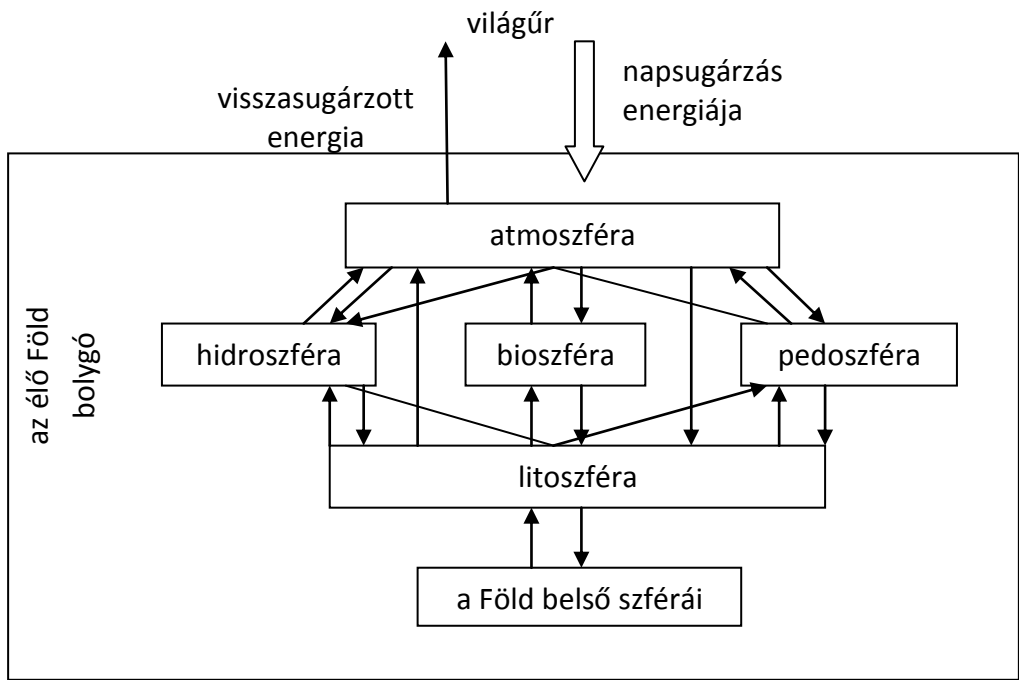


1.20. ábra A kontinensekről lepusztult talaj viszonylagos mennyisége (ld. a nyilak vastagságát) Myers, N. (1985) nyomán, több módosítással

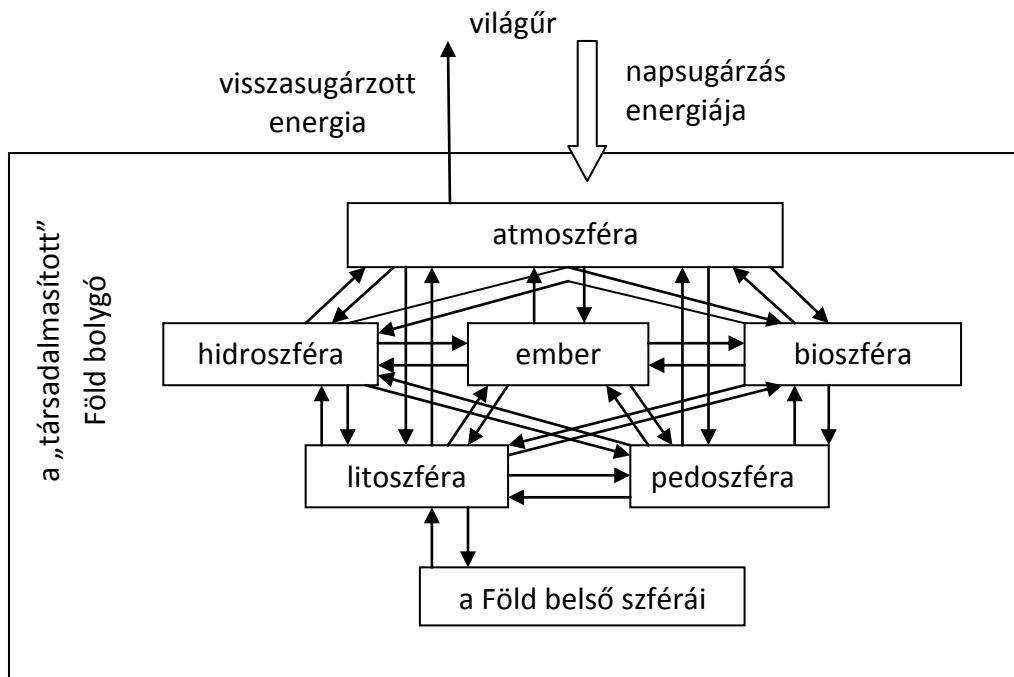
A kontinenseken belül az erős erózió és/vagy defláció helyeit csillaggal jelöltük.

1. Egyesült államok gabonatermő területei, 2. Mexikó, 3. ÉK-Brazília, 4. É-Afrika, 5. Száhel-öv, 6. Botswana-Namíbia, 7. Közép-Kelet, 8. Közép-Ázsia, 9. Mongólia, 10. Sárga-folyó, 11. Himalája hegylábi területe, 12. Radzsasztán, 13. Beludzsisztán, 14. Hátsó-India, 15. D-Kína, 16. K-Ausztrália, 17. Ny-Ausztrália, 18. Dél-Európa

Az ábrán összefoglalt súlyos, helyenként (Etiópia, India, Brazília) katasztrofális talajvesztések okai természeti és társadalmi jellegűek, amelyek általában összefonódnak. Kiemelkedő jelentőségű a talajművelés kapcsán már említetteken kívül az **erdőirtás** (nemcsak az ún. trópusi esőerdők területén), az öntözött területeken az ún. **másodlagos szikesedés**, a **túllegeltetés** (és **tiprás** → erózió/defláció), a **földhasználat-váltás** (erdő → szántó) és az **antropogén kéregmozgások** (víztározók többletterhe, földcsuszamlások stb.).



1.21. ábra Az élő Föld homomorf rendszermodellje



1.22. ábra A társadalmasított Föld homomorf rendszermodellje

Természetesen a talajjellemzők **negatív** változását generálják a környezet egyéb elemeiben bekövetkező változások (üvegházhatás → sivatagosodás, savas esők, kemizáció, motorizáció stb.) is.

A(z antropogén) sivatagosodás az arid, demiarid és szubhamid területeken főként az emberi tevékenység következménye, beszűkítve a földhasználati lehetőségeket, sokszor teljesen alkalmatlanná téve talajt a mezőgazdasági használatra.

Óriási területeket vonnak el a **közlekedéshez** (út-vasút, repülés) és az **urbanizációhoz** kapcsolódó létesítmények, a **bányászat** (elsősorban a külszíni, de a meddőhányók révén a felszín alatti is) és a szintén növekvő **hulladékmennyiség helyigénye**. 1965-ben a biológiailag aktív talaj területéből 500 000 km²-t építettek be.

A kontinensek területének 13%-át művelik. Kb. 15% a kedvezőtlen adottságok folytán nem művelhető. A megművelhető összes területnek 3%-át "takarták be" (semmisítették meg) az építési tevékenység során, ugyanakkor a Földfelszín mintegy 2%-át tették emberi munkával termékenyvé.

A természetes mértéket meghaladó talajpusztulás áttekintett okaiból következik, hogy a **védekezés** elvi lehetőségei szintén sokrétűek. Köztük olyanok is vannak, amelyek belátható időn belül a szó szoros értelmében csak elvi jelentőséggel bírnak - pl. a nooszféra területigényét nem lehet rövid időn belül látványosan korlátozni. Ehelyütt - közvetlen talajtani vonatkozásai révén - az erózió elleni védekezés módjait tekintjük át.

A **kiváltó tényezők** közül a csapadék közvetlenül nem befolyásolható, a lejtő(hossz és meredekség) viszont a műszaki talajvédelem eszközeivel módosítható.

A **sánc** a lejtő vízvisszatartásra vagy vízelvezetésre alkalmas hullámosítása és tagolása. Ennek következtében csökken a felületi lefolyás sodróereje, valamint a sáncban gyűjtött vizek a (felületi) lefolyás csökkentése révén a talajba szivárognak. A sánc lehet **vízszintes** és **lejtős** (3-5%). A sáncvégek akár részleges elgátolásával a vízvisszatartás szabályozható.

A **terasz** a lejtő hajlásszögét jelentősen csökkentő mesterséges tereplépcső. A vízszinteshez közeli, akár vízszintes rész a teraszlap, amelyet vagy **támfal** (beton, kő), vagy rézsű biztosít. Geometriai jellemzőik szerint lehetnek **folytonosak** és **megszakításosak**, **vízartóak** (a teraszlap ellenesésű), **víz nem tartók**, és **vízvezetők** (hosszirányban lejtősek, a teraszlapjuk pedig ellenesésű).

Övások. A felületén lefolyó vizeket vezeti el. Majdnem szintvonalas esésűek, végeik gyepes, vagy burkolt vízlevezetőbe csatlakoznak.

Az agronómiai talajvédelem módszerei közül az alábbiakat emeljük ki:

Művelési ág változtatása

Pl. 25%-nál meredekebb lejtőn szőlőt vagy gyümölcsöst telepítenek műszaki talajvédelemmel, 40% fölött pedig az erdőt.

Táblásítás

A táblákat - dombvidékeken - hosszirányukkal a lejtőre merőlegesen igyekeznek kialakítani (lásd pl. úthálózat).

Talajvédő fasorok és erdősávok (tábla- és útszegélyeken).

Talajművelési mód

Kontúrszántás. A csapás- vagy szintvonalakat lehetőség szerint közelíti.

Szalagos vetés. Két növényállomány váltakozik 3-20 m-es sávonként - az egyik talajvédelmi szempontból kedvezőbb.

Talajvédő növényrend.

Az egyes módszerek hatékonysága a természeti viszonyoktól, a termelés céljától és a gazdaságossági mutatóktól függ.

A természeteshez legközelebb álló eljárás a **növényfedettség** biztosítása, amely - lehetőség szerint - a talajfelszínen és közvetlenül a felszín alatt egyaránt nemeszerűen **összefüggő** (pl. lucerna, vörös here). Ez a takaró csökkenti a **csepperóziót**, lassítja a **lefolyást** (ha az egyáltalán kialakul) és növeli az **intercepció tározóképességet**.

Összességében: A hatékony talajvédelem nem egy-egy, többnyire elszigetelten alkalmazott módszerhez kötött, hanem azoknak a pozitív társadalmi és környezetpolitikai szemlélettel ötvözött **kombinációiban** rejlik, amelyek a talajt - mint pl. a levegőt és a vizet - távlatokban is globálisan megóvandó természeti erőforrásként kezelik.

Irodalomjegyzék az 1. részhez

A geotechnika legújabb eredményei. (Világszínvonal-vizsgálat, SZIMF, Győr, Geotechnika Tanszék, 1990)

A környezetvédelem talajtani vonatkozásai. (Szerző: Dr. Győri Dániel, BME Továbbképző Intézete (4964), Bp. 1975)

A magyarországi természet- és környezetvédelem földrajzi vonatkozásai. (Szerk.: Dr. Bodnár László. Egységes jegyzet - J 11-1139, Tankönyvkiadó, Bp. 1990)

Általános természeti földrajz. (Szerk.: Szabó László, Tankönyvkiadó, Bp. 1968)

Bácskai Gyula: Talaj okozta korrózió (Veszprémi Vegyipari Egyetem, korróziós szakmérnöki szak, kézirat, Tankönyvkiadó, Bp. 1967)

Bán Mihály: A talajjavítás módszerei és eredményei. (Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 1967)

Földünk élete. (A Föld Enciklopédiája Sorozat, Helikon Kiadó, 1986)

Dr. Kerényi Attila: Környezetvédelem földrajz szakos hallgatók számára. (Egységes jegyzet - 73-1404, Tankönyvkiadó, Bp. 1990)

Dr. László Ferenc: A hatékony környezetvédelem eszközei. (Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 1984)

Dr. Móser - Dr. Pálmai: A környezetvédelem mérnöki alapjai (vízminőségvédelem, talajszennyezés, hulladékkezelés). BME-TI (5043), Bp. 1977, kézirat)

Dr. Thyll - Fehér - Dr. Madarassy: Mezőgazdasági talajcsövezés. (Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 1983)

Dr. Varga L. - Dr. Szalay Z.: A környezetvédelem alapjai. (jegyzet, 1993)

Filep György: Talajkémia. (Akadémiai Kiadó, Bp. 1988)

Juhász József: Hidrogeológia. (Akadémiai Kiadó, Bp. 1976)

Juva - Cablik: Erózió - Talajvédelem (Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 1959)

Kárelhárítási Kézikönyv kézírata. (a Programbizottság 1989-91 a felszín alatti vizek olajszennyeződésével kapcsolatos Megelőzés-Észlelés-Minősítés-Kárelhárítás témakörben végzett munkáiról, Bp. 1991)

Károsodott és technogén területek rekultivációja és hasznosítása. (Szerk.: Dr. Tóth Sebestyén, ERTI-GATEKI, Budapest-Kompolt, 1985)

Kerényi Attila: Általános környezetvédelem - Globális gondok, lehetséges megoldások. (Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1995)

Kerényi Attila: Talajerózió - térképezés, laboratóriumi és szabadföldi kísérletek. (Akadémiai Kiadó, Bp. 1991)

Környezetvédelmi lexikon I-II. (Akadémiai Kiadó, Bp. 1993)

Moser Miklós - Pálmai György: A környezetvédelem alapjai. (Tankönyvkiadó, Bp. 1992)

Németh Tamás: Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. (MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Bp. 1996)

Papp Sándor - Rolf Kümmel: Környezeti kémia. (Tankönyvkiadó, Bp. 1992)

Rudolf Engelsmann: Talajcsövezés. (Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1987)

Stefanovits Pál: Magyarország talajai. (Akadémiai Kiadó, Bp. 1963)

Stefanovits Pál: Talajtan. (Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 1981)

Szesztay Károly - Sz. Gábor Margit: Bolygónk véges türelme - Meddig terhelhető a bioszféra? (Akadémiai Kiadó, Bp. 1992)

Vízminőségi kárelhárítás kézikönyve

* * *

Népszerűsítő művek

Fülek György: A talaj (Gondolat Zsebkönyvek, Bp. 1988)

Havasi János: Izotópfalu. (Kossuth Könyvkiadó, 1989)

Moldova György: Magyarország szennybemenetele.

2. A talajszennyezés

2.1. Fogalma

Az előzőekben a talaj és a környezet egyensúlybomlásait / zavarait a talajréteg részbeni, esetleg a teljes talajszelvény **elmozdulása** (lepusztulása) vagy a földkéreggel helyhez kötött kapcsolatban álló létesítmények **területigénye** folytán a **letermelés** (= elpusztítás + elmozdítás) uralta. Amennyiben a (helyben maradó - in situ) talajba **közvetlenül**, vagy a **levegővel** és/vagy a **vízzel közvetítve** a talaj termőképességét csökkentő **idegen** (szennyező) anyagok jutnak és ezek, illetőleg a belőlük másodlagosan keletkezett (átalakult) anyagok mennyisége (koncentrációja) meghaladja a talaj elbontó-képességét (pufferkapacitását), **talajszennyezésről** van szó.

A közvetlenül bevitt szennyeződések csaknem kizárólag antropogének és lokális jellegűek, míg a lég- és vízkörzésen át csatolódo szennyezések a természeti és antropogén folyamatok összefonódásával regionálisak, sőt hemiszférikusak is lehetnek (pl. savasodás). A talaj lepusztulásához képest **nagyon lényeges eltérés**, hogy a szennyeződés nem korlátozódik a földkéreg többnyire szemmel látható, közvetlenül vagy műszeresen detektálható felszínére, ezért annak mértéke (térben, jellegben és időben) csak a (már létező) szennyeződés bizonyos fokú kifejlődését követően érzékelhető.

Azaz, számos talajszennyezés **volt és következik be jelenleg is**, amelyek sem helyüket, sem a veszélypotenciáljukat illetően ma (még) **nem ismertek**.

Részben a "rejtett" jellegből adódik, hogy a talajszennyezések felderítésének, feltárásának és elhárításának még viszonylag kevés gyakorlati múltja van (ugyanakkor az őket generáló ipar, hulladékképződés stb. - idevágó szóhasználattal élve - sosem látott mértékű).

A természeti erőforrások közül egyértelműen a talajszennyezés elhárítása a **legköltségesebb**, azért is, mert a talajszennyezés többnyire kiterjed a kontakt fázisokra is (talaj- és/vagy felszíni víz, levegő, talajlevegő), azon felül a szennyeződés terjedési mechanizmusának, idő- és térbeli eloszlásának törvényszerűségei fázisonként **alapvetően** eltérőek.

A "rejtett" jelleg kettős: Egyrészt a hagyományos indirekt kutatási módszerek jó részével nem és érzékszervileg sem átlátható / átvilágítható közegről (talajról) van szó, másrészt a szennyezés lehet **öröklött**, amelynek körülményeiről még kevesebbet lehet tudni, ad abszurdum, a még létező információk **sem hozzáférhetők** (eltitkoltak) - lásd pl. az atomhulladék vagy a radioaktív anyagokkal történt balesetek / bűnügyek témaköreit.

2.2. A határérték (-elv)

Az elvileg korlátlan számú és minőségű szennyezőanyagok talajban, vízben és levegőben megengedhető határértékeire vonatkozóan minden szempontból elfogadott / elfogadható számszerűsített értékek ma sincsenek - a lehetséges kombinációk számát tekintve, talán nem is lehetnek. Ezért a mindenkori közeg (fázis) terhelését - praktikusán - a különféle szabványok, irányelvek, törvények, előírások stb. kritériumainak mérlegelésével kialakított számértékeihez kötik, bár ezeket többnyire nem az adott (szennyezett) területre (helyesebben: térfogatra) határozták meg. Nyilvánvaló, hogy pl. a talajvízszennyezéskor a mérlegelés egyik nézőpontja a vízhasznosítás módja - eszerint az (elfogadható) határérték szigorúbb (ivóvíz), vagy kevésbé szigorú (pl. öntözővíz).

A határértékek az alábbi kategóriákba rendezhetők:

- a, **alap-** vagy **referenciaérték** → a szennyeződésmentes területre jellemző átlagérték;
b, **irányszám** (orientáló érték) → nem kötelező hatályú, csupán összehasonlítást céloz;
c, **küszöbérték** → (tájékoztató) irányérték, e fölött további vizsgálatok kellenek;
d, **határérték** → (jogilag is) egyértelmű, a még megengedhető maximum.

A talajra vonatkozó szennyezőanyag-határérték általában (is) ritka. Hazai előírás nincs - a már létező tervezet még (1997) nem hatályos. Az egyik széleskörűen elfogadott határérték-rendszer a "Holland jegyzék" vagy "Holland lista", amelynek a régi (háromas határértékek) és az új változata (itt a B értéket nem közlik, ehelyett az (A+C)/2 értéket vezetik be) egyaránt használatos. A kettő kombinációjából (nincs minden esetben elfogadott új érték) adódó listát a **2.1. táblázat** ismerteti. **Az előző bekezdés óta eltelt időszakban kettő jogszabály (miniszteri rendelet) készült a földtani közegekre és a felszín alatti vizekre vonatkozóan:**

10/2000 (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM e.r.: A felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről

6/2009. (IV.14.) KvVm-EüM-FVM együttes rendelet: A földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről
Az alábbi táblázatokban a két rendelet által meghatározott határértékek szerepelnek.

2.1.a: 10/2000. rendelet: Anyagcsoportonként (A) háttér koncentráció talajra és határértékek földtani közegekre

1. Fémek ("összes" kioldható) és félfémek

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
7440-47-3	Króm összes	30	75	150	400	800	K2
	Króm VI.	*k	1	2,5	5	10	K1
7440-48-4	Kobalt	15	30	100	200	300	K2
7440-02-0	Nikkel	25	40	150	200	250	K2
7440-50-8	Réz	30	75	200	300	400	K2
7440-66-6	Cink	100	200	500	1000	2000	K2
7440-38-2	Arzén	10	15	20	40	60	K1
7782-49-2	Szelén	0,8	1	5	10	20	K2
7439-98-7	Molibdén	3	7	20	50	100	K2
7440-43-9	Kadmium	0,5	1	2	5	10	K1
7440-31-5	Ón	5	30	50	100	300	K2
7440-39-3	Bárium	150	250	300	500	700	K2
7439-97-8	Higany	0,15	0,5	1	3	10	K1
7439-92-1	Ólom	25	100	150	500	600	K2
7440-22-4	Ezüst	0,3	2	10	20	40	K2

MSZ 21470-50: AAS, ICP

2. Szervetlen vegyületek

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
----------	--	---	---	----	----	----	----

	Cianid, 4,5 pH	0,2	2	5	10	20	K1
	Cianid összes	2	20	100	300	650	K1
	Tiocianátok	*k	1	3	5	20	K1

MSZ 21470-83:

titrálás, spektrofotometria,

tiocianátok: MSZ 260-33: spektrofotometriás (talajkivonat készítésével)

3. Szénhidrogének

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

	A	B	C1	C2	C3	Ki
Összes alifás szénhidrogén (TPH) C5-C40	50	100	300	3000	5000	K1

Metodika készül az ISO TR 11046 szabvány alapján (IR+GC-FID)

MSZ 21470-94: GC-FID

4. Benzol és alkilbenzolok (BTEX)

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
71-43-2	Benzol	0,1	0,2	0,5	3	5	K1
108-88-3	Toluol	0,05	0,5	5	15	25	K1
100-41-4	Etil-benzol	0,05	0,5	1	15	25	K1
1330-20-7	Xilolok	0,05	0,5	5	15	25	K1
98-82-8	i-propil-benzol						
103-65-1	n-propil-benzol						
108-67-8	1,3,5-trimetil-benzol						
98-06-6	terc.butil-benzol						
95-63-6	1,2,4-trimetil-benzol						
135-98-8	sec.butil-benzol						
526-73-8	1,2,3-trimetil-benzol						
99-87-6	i-propil-toluol						
141-93-5	m-dietil-benzol						
105-05-5	p-dietil-benzol						
104-51-8	n-butil-benzol						
99-62-7	1,3-diizopropil-benzol						
102-25-0	1,3,5-trietil-benzol						
611-14-3	1,2-metil-etil-benzol						
620-14-4	1,3-metil-etil-benzol						
622-96-8	1,4-metil-etil-benzol						

	Egyéb alkilbenzolok össz.	0,05	0,5	5	30	50	K1
--	------------------------------	------	-----	---	----	----	----

MSZ 21470-92: GC-FID, GC-MS

5. Fenolok

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
108-95-2	Fenol	0,05	1	10	30	50	K1
1319-77-3	Krezol	0,05	0,5	1	3	5	K1
120-80-9	Katechol	0,05	0,5	4	10	20	K1
108-46-3	Rezorcin	0,05	0,5	1	3	10	K1
	Összes fenol	0,1	1	12	35	60	K1

MSZ 21470-96: GC-MS

6. Policiklikus aromás szénhidrogének (PAH)

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
91-20-3	Naftalinok	0,03					K1
208-96-8	Acenaftilén	0,03					K1
83-32-9	Acenaftén	0,03					K1
86-73-7	Fluorén	0,04					K1
85-01-8	Fenantrén	0,04					K1
120-12-7	Antracén	0,04					K1
206-44-0	Fluorantén	0,05					K1
129-00-0	Pirén	0,02					K1
56-55-3	Benz(a)antracén	0,02					K1
218-01-9	Krizén	0,02					K1
205-99-2	Benz(b)fluorantén	0,02					K1
207-08-9	Benz(k)-fluorantén	0,01					K1
192-97-2	Benz(e)pirén	0,01					K1
50-32-8	Benz(a)pirén	0,02					K1
193-39-5	Indenol(1,2,3-cd)-pirén	0,025					K1
191-24-2	Dibenz(a,h)-antracén	0,01					K1
191-24-2	Benz(g,h,i)perilén	0,002					K1
	Összes PAH	0,5	1	5	25	40	K1

naftalinok: MSZ 21470-92: GC-FID;

MSZ 21470-84: GC-MS

7. Halogénezett aromás szénhidrogének

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
108-90-7	klórbenzol	0,01					K1
	diklórbenzolok	0,01					K1
95-50-1	1,2-DCB						
541-73-1	1,3-DCB						
106-46-7	1,4-DCB						
	triklórbenzolok	0,01					K1
120-82-1	= 1,2,4 TCB						
87-61-6	= 1,2,3 TCB						
108-70-3	= 1,3,5 TCB						
634-66-2	1,2,3,4-tetraklórbenzol	0,01					K1
95-94-3	1,2,3,5-TeCB						
608-93-5	pentaklórbenzol	0,01					K1
118-74-1	hexaklórbenzol	0,001					K1
90-13-1	klórnaftalin	0,01					K1
108-86-1	bróm-benzol	0,01					K1
	Összes halogénezett aromás szénhidrogén	0,01	1	5	10	30	K1

MSZ 21470-93: GC-ECD, GC-MS; MSZ 21470-95: GC-ECD, GC-MS

8. Halogénezett alifás szénhidrogének

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
75-35-4	1,1-diklór-etilén	0,001					K1
75-09-2	diklór-metán	0,001					K1
76-13-1	1,1,2-triklór-trifluor-etán	0,001					K1
540-59-0	1,2-diklór-etilén	0,001					K1
75-34-3	1,1-diklór-etán	0,001					K1
67-66-3	kloroform	0,001					K1
107-06-2	1,2-diklór-etán	0,001					K1
107-07-3	2-klór-etanol	0,001					K1
56-23-5	széntetraklorid	0,001					K1
78-87-5	1,2-diklór-propán	0,001					K1
78-88-6	2,3-diklór-propilén	0,001					K1
75-27-4	bróm-diklór-metán	0,001					K1
79-01-6	triklór-etilén	0,001					K1
106-89-8	epiklórhidrin	0,001					K1
110-75-8	2-klóretil-vinil-éter	0,001					K1
542-75-6	1,3-diklór-propilén	0,001					K1
1061-01-5	cisz-1,3-diklór-propilén						

10061-02-6	transz-1,3-diklór-propilén						
79-00-5	1,1,2-triklór-etán	0,001					K1
124-48-1	dibróm-klór-metán	0,001					K1
106-93-4	1,2-dibróm-etán	0,001					K1
127-18-4	tetraklór-etilén	0,001					K1
79-34-5	1,1,2,2-tetraklór-etán	0,001					K1
	Összes halogénezett alifás szénhidrogén	0,001	0,1	2	10	25	K1
75-01-4	vinil-klorid	*k	0,001	0,01	0,05	0,01	K1

MSZ 21470-93; GC-ECD, GC-MS

9. Klórfenolok

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
	Monoklórfenolok	0,002					K1
95-57-8	2-MCP						
108-43-0	3-MCP						
106-48-9	4-MCP						
	Diklórfenolok	0,002					K1
120-83-2	2,4-DCP						
576-24-9	2,3-DCP						
583-78-8	2,5-DCP						
87-65-0	2,6-DCP						
	Triklórfenolok	0,002					K1
933-78-8	2,3,5-TCP						
933-75-5	2,3,6-TCP						
95-95-4	2,4,5-TCP						
88-06-2	2,4,6-TCP	0,001					
609-19-8	3,4,5-TCP						
	3,4,6-TCP						
	Tetraklórfenolok TeCP	0,001					K1
58-90-2	2,3,4,6-						
935-95-5	2,6,5,6-						
4901-51-3	2,3,4,5-						
87-86-5	Pentaklórfenol	0,002					K1
	Összes klórfenol	0,003	0,01	1	3	10	K1

MSZ 21470-97: GC-ECD, GC-MS

10. Poliklórozott bifenilek (PCB)

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
1336-36-3	7 PCB összesen (28,52,101,118,138,153,180)	0,02	0,1	0,2	1	5	K1

MSZ 21470-98: GC-MS

11. Poliklórozott-dibenzo-dioxinok és dibenzo-furánok (PCDD/F)

(ng/kg TEQ-ban)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
	PCDD/F* (ng/kg TEQ-ban)	0,5	5	10	100	1000	K1

TEQ = "Toxicitási Egyenérték"

MSZ 21470-100: GC-MS

12. Növényvédő szerek

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
50-29-3	DDT	*k					K1
6088-51-3	DDD	*k					K1
53-19-0	o,p-D						
72-54-8	p,p'-DDD						
72-55-9	DDE	*k					K1
	DDT/DDD/DDE	*k	0,2	0,3	0,5	4	K1
309-00-2	Aldrin	*k					K1
57-74-9	Klórdrin	*k					K1
60-57-1	Dieldrin	*k					K1
72-20-8	Endrin	*k					K1
	Összes drin	*k	0,1	0,3	0,5	4	K1
319-84-6	alfa-HCH	*k					K1
319-85-7	béta-HCH	*k					K1
319-86-8	delta-HCH	*k					K1
58-89-9	gamma-HCH	*k					K1
608-73-1	Összes HCH (1)	*k	0,01	0,02	0,2	2	K1

MSZ EN ISO 6468 csak vízvizsgálatokra

290-87-9	1,3,5-Triazin	*k	0,1	0,5	1	6	K1
	Foszforsavészterek	*k	1,0	2	5	10	K1
	Fenoxi karbonsav származékok	*k	1	2	3	10	K1
	Karbamátok	*k	1	5	10	20	K1

Minta-előkészítés: MSZ 21470-4-től 25-ig, 29, 37, 39, 40, 44, 46, 48, 57, 63, 65-74.

Mérés egyedi módszerrel, amely megfelel az EPA 8270A módszernek: GC-MS

Lindán MSZ 21470-3: GC-ECD; Triazinok MSZ 21470-25, 33, 38, 39: GC;

Foszforsavészterek MSZ 21470-16, 34, 35, 40, 62, 63: GC;

Fenoxi karbonsav származékok: MSZ 21470-8, 9, 20, 27, 46, 73: GC;

Karbamátok MSZ 21470-45, 54, 58: GC

13. Egyéb vegyületek

(mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		A	B	C1	C2	C3	Ki
110-86-1	Piridin	0,01	0,1	0,2	0,3	1	K2
109-99-9	Tetrahydro-furán	0,1	0,5	2	5	20	K2
110-01-0	Tetrahydro-tiofén	0,1	0,5	4	10	40	K2

Minta-előkészítés: MSZ 21470-92.

Mérés egyedi módszerrel, amely megfelel az EPA 8020A: GC, illetve az EPA 8260A: GC-MS módszernek.

A talajok mintavételezését az MSZ 21470-1 sz. szabvány szerint kell végezni.

2.1.b táblázat: 6/2009. rendelet: Anyagcsoportonként (B) szennyezettségi határértékek földtani közegre.

1. Fémek („összes” kioldható) és félfémek (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K _i
7440-47-3	Króm összes	75	K2
	Króm VI.	1	K1
7440-48-4	Kobalt	30	K2
7440-02-0	Nikkel	40	K2
7440-50-8	Réz	75	K2
7440-66-6	Cink	200	K2
7440-38-2	Arzén	15	K1
7782-49-2	Szelén	1	K2
7439-98-7	Molibdén	7	K2
7440-43-9	Kadmium	1	K1
7440-31-5	Ón	30	K2
7440-39-3	Bárium	250	K2
7439-97-8	Higany	0,5	K1
7439-92-1	Ólom	100	K2
7440-22-4	Ezüst	2	K2

2. Szervetlen vegyületek (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K _i
	Cianid 4,5 pH	2	K1
	Cianid összes	20	K1
	Tiocianátok	1	K1

3. Alifás szénhidrogének (TPH) (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

		B	K _i
	Összes alifás szénhidrogén (TPH) C ₅ -C ₄₀	100	K1

4. Benzol és alkilbenzolok (BTEX) (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K _i
71-43-2	Benzol	0,2	K1
108-88-3	Toluol	0,5	K1
100-41-4	Etil-benzol	0,5	K1
1330-20-7	Xilolok	0,5	K1
	Egyéb alkilbenzolok összesen	0,5	K1

98-82-8	i-Propil-benzol
103-65-1	n-Propil-benzol
108-67-8	1,3,5-Trimetil-benzol
98-06-6	terc. Butil-benzol
95-63-6	1,2,4-Trimetil-benzol
135-98-8	sec. Butil-benzol
526-73-8	1,2,3-Trimetil-benzol
99-87-6	i-Propil-toluol
141-93-5	m-Dietil-benzol
105-05-5	p-Dietil-benzol
104-51-8	n-Butil-benzol
99-62-7	1,3-Diizopropil-benzol
102-25-0	1,3,5-Trietil-benzol
611-14-3	1,2-Metil-etil-benzol
620-14-4	1,3-Metil-etil-benzol
622-96-8	1,4-Metil-etil-benzol

5. Fenolok (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K _i
108-95-2	Fenol	1	K1
1319-77-3	Krezol	0,5	K1
120-80-9	Pirokatekol	0,5	K1
108-46-3	Rezorcín	0,5	K1
	Fenolok összesen	1	K1

6. Policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K ₁
91-20-3	Naftalinok*		K1
208-96-8	Acenaftilén		K1
83-32-9	Acenaftén		K1
86-73-7	Fluorén		K1
85-01-8	Fenantrén		K1
120-12-7	Antracén		K1
206-44-0	Fluorantén		K1
129-00-0	Pirén		K1
56-55-3	Benz(a)antracén		K1
218-01-9	Krizén		K1
205-99-2	Benz(b)fluorantén		K1
207-08-9	Benz(k)fluorantén		K1
192-97-2	Benz(e)pirén		K1
50-32-8	Benz(a)pirén		K1
193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pirén		K1
191-24-2	Dibenz(a,h)antracén		K1
191-24-2	Benz(g,h,i)perilén		K1
	PAH-ok összesen	1	K1

* Naftalinok: Naftalin + 1-Metil-naftalin + 2-Metil-naftalin

7. Halogénezett aromás szénhidrogének (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K ₁
108-90-7	Klórbenzol		K1
	Diklórbenzolok		K1
95-50-1	1,2-Diklórbenzol		
541-73-1	1,3-Diklórbenzol		
106-46-7	1,4-Diklórbenzol		
	Triklórbenzolok		K1
120-82-1	1,2,4-Triklórbenzol		
87-61-6	1,2,3-Triklórbenzol		
108-70-3	1,3,5-Triklórbenzol		
	Tetraklórbenzolok		K1
634-66-2	1,2,3,4-Tetraklórbenzol		
634-90-2	1,2,3,5-Tetraklórbenzol		
95-94-3	1,2,4,5-Tetraklórbenzol		
608-93-5	Pentaklórbenzol		K1
118-74-1	Hexaklórbenzol		K1
90-13-1	Klórnaftalinok		K1
108-86-1	Bróm-benzol		K1
	Halogénezett aromás szénhidrogének összesen	1	K1

8. Halogénezett alifás szénhidrogének (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K ₁
	Diklór-etilének		K1
75-35-4	1,1-Diklór-etilén		
540-59-0	1,2-Diklór-etilén		
75-09-2	Diklór-metán		K1

76-13-1	1,1,2-Triklór-trifluor-etán	K1
	Diklór-etánok	K1
75-34-3	1,1-Diklóretán	
107-06-2	1,2-Diklóretán	
67-66-3	Kloroform	K1
107-07-3	2-Klór-etanol	K1
56-23-5	Széntetrazklorid	K1
78-87-5	1,2-Diklór-propán	K1
78-88-6	2,3-Diklór-propilén	K1
75-27-4	Bróm-diklór-metán	K1
79-01-6	Triklór-etilén	K1
106-89-8	Epiklórhidrin	K1
110-75-8	2-Klóretil-vinil-éter	K1
542-75-6	1,3-Diklór-propilén	K1
10061-01-5	cisz-1,3-Diklór-propilén	
10061-02-6	transz-1,3-Diklór-propilén	
79-00-5	1,1,2-Triklór-etán	K1
124-48-1	Dibróm-klórmetán	K1
106-93-4	1,2-Dibróm-etán	K1
127-18-4	Tetraklór-etilén	K1
79-34-5	1,1,2,2-Tetraklóretán	K1

	Halogénezett alifás szénhidrogén összesen	0,1	K1
75-01-4	Vinil-klorid	0,05	K1

9. Klórfenolok (mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K ₁
	Monoklórfenolok		K1
95-57-8	2-Klórfenol		
108-43-0	3-Klórfenol		
106-48-9	4-Klórfenol		
	Diklórfenolok		K1
120-83-2	2,4-Diklórfenol		
576-24-9	2,3-Diklórfenol		
583-78-8	2,5-Diklórfenol		
87-65-0	2,6-Diklórfenol		
95-77-2	3,4-Diklórfenol		
591-35-5	3,5-Diklórfenol		
	Triklórfenolok		K1
933-78-8	2,3,5-Triklórfenol		
933-75-5	2,3,6-Triklórfenol		
95-95-4	2,4,5-Triklórfenol		
88-66-2	2,4,6-Triklórfenol		
609-19-8	3,4,5-Triklórfenol		
17700-93-3	2,3,4-Triklórfenol		
	Tetraklórfenolok		K1
58-90-2	2,3,4,6-Tetraklórfenol		
935-95-5	2,3,5,6-Tetraklórfenol		
4901-51-3	2,3,4,5-Tetraklórfenol		
87-86-5	Pentaklórfenol		K1

	Klórfeholok összesen	0,1	K1
--	----------------------	-----	----

10. Poliklórozott bifenilek (PCB) (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K ₁
1336-36-3	PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180,		K1
	a 7db PCB összesen	0,1	K1

11. Poliklórozott-dibenzo-dioxinok és dibenzo-furánok (PCDD/F) (mértékegység: ng/kg TEQ-ban szárazanyagra)

CAS szám		B	K ₁
	PCDD/F (ng/kg TEQ-ban*)	5	K1

* TEQ = Toxicitási Egyenérték

12. Növényvédő szerek (mértékegység: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K ₁
50-29-3	DDT		K1
53-19-0	o,p'-DDD		K1
72-54-8	p,p'-DDD		K1
72-55-9	DDE		K1
	DDT/DDD/DDE	0,1	K1
309-00-2	Aldrin		K1
57-74-9	Klórdán		K1
60-57-1	Dieldrin		K1
72-20-8	Endrin		K1
	Összes drin	0,1	K1
319-84-6	α-HCH		K1
319-85-7	β-HCH		K1
319-86-8	δ-HCH		K1
58-89-9	γ-HCH		K1
608-73-1	Összes HCH	0,1	K1
	Triazinok	0,1	K1
	Foszforsavészterek	0,1	K1
	Fenoxi karbonsav származékok	0,1	K1
	Karbamátok	0,1	K1
	Egyéb * Növényvédő szerek aktív hatóanyagai	0,1	K1
	** Növényvédő szerek aktív hatóanyagai, beleértve azok bomlástermékeit és reakciótermékeit összesen	0,5	K1

* Növényvédő szerek: az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről szóló törvény szerint.

** Összes: minden egyes a nyomon követési eljárás során kimutatott és számszerűsített növényvédő szer összege, beleértve az anyagcseretermékeket, a lebontási termékeket és a reakciótermékeket.

13. Egyéb vegyületek (mértékegysége: mg/kg szárazanyag)

CAS szám		B	K _i
110-86-1	Piridin	0,1	K2
109-99-9	Tetrahidro-furán	0,5	K2
110-01-0	Tetrahidro-tiofén	0,5	K2

Az alábbi magyarázat a szövegben eredetileg szerepeltetett „Holland jegyzék” és „Holland lista” táblázatához tartozik.

Az értelmezéshez: A alatt : a tiszta talaj referenciaértéke (alapérték)

A-B : kissé szennyezett talaj, további vizsgálatokat általában nem igényel, tűrhető érték (küszöbérték)

B-C : szennyezett talaj, további vizsgálatok szükségesek, a beavatkozás mérlegelhető (határérték)

C fölött : súlyosan szennyezett talaj, a beavatkozás megvalósítási tanulmánya elkészítendő.

A németországi ún. "Berlini jegyzék" sokban hasonlít a bemutatottra (egyébként három kategóriát állapít meg talajra és talajvízre egyaránt).

Az itthoni gyakorlatban - indokolatlanul - szokás (volt) alkalmazni a 9003/1983./MÉM É.11./MÉM-Eü.M.-OVH. sz. közlemény (Szennyvízelhelyezési szabályzat) 4. táblázatának határértékeit. Ezek **nem vonatkoz(hat)nak** talajra és talajvízre, mivel a **szennyvíziszap** mezőgazdasági hasznosításának esetére születtek, hasonlóan a MI-08-1735-1990 Ágazati Műszaki Irányelvnek (Szennyvizek és szennyvíziszapok termőföldön történő elhelyezése) a 14. táblázatban szereplő határértékeihez.

Magyarországon a **vizek és vízkészletek** állami tulajdonban vannak - a **vízvédelemre** vonatkozó szabályokat a környezetvédelmi és vízügyi törvény írja elő. A különféle szennyezőanyagokra vonatkozó határértékek a vízhasznosítás céljától függenek, az alábbiak szerint:

a, a vízi ökoszisztéma zavartalan fenntartása

b, az ivóvíz-felhasználás

c, az üdülési célú vízhasznosítás

d, a mezőgazdasági célú vízhasznosítás (öntözés, állattartás) és

e, az iparágak vízfelhasználása.

A részleteket lásd a hivatkozott szakirodalomban és a **Vízminőségvédelem** c. tárgyban.

2.3. A környezet / talajszennyezés forrásai

A különös figyelmet érdemlő, a környezetre meglévő vagy potenciális veszélyt jelentő területek, tevékenységek csoportosítása nem egységes. A lehetőségek egyfajta felsorolása (Ruppe-Lindemann nyomán, 1991) a következő:

1. Régebbi lerakók:

- depóniák, vadlerakók,
- meddőhányók,
- ülepítő medencék,
- völgy-, gödör-, bányagödör feltöltések,
- nyelető kutak.

2. Potenciálisan környezetszennyező tevékenységek területei:

- ipari és üzemi területek,
- vegyipari gyárak,
- kokszolók, kátrányfeldolgozók,

- gázművek,
- agrokémiai centrumok,
- töltőállomások, üzemanyagtárolók,
- vasúti átrakóhelyek,
- műtrágya tárolók, átrakóhelyek,
- mezőgazdasági repülőterek,
- felületkezelő üzemek,
- lakk- és festékgyárak, festőüzemek,
- vágóhidak.

3. Nagyterjedésű talajszennyezések területei:

- légi úton, immisszió révén terhelt felületek (nehézfémek, radioaktív anyagok),
- talajszennyezés elárasztás révén,
- nem megfelelő területhasználat (pl. mezőgazdasági művelés),
- szennyvíz, szennyvíziszap és trágyázás okozta szennyezés (pl. hígtrágya-elhelyezés, öntözés stb.),
- felszínalatti tartályok, vezetékek sérülése (pl. olajvezeték),
- szállítási balesetek,
- nagy területeken végzett tűzoltás,
- vasútvonalak.

4. Háborús maradványok, katonai területek:

- lerombolt üzemek területe,
- hadianyag, lőszer és hajtóanyag telepek,
- lőterek,
- eltemetett lőszer és harci anyagok.

A lehetőségek sokrétegűségét - és nem az elriasztást - pl. a két és fél oldalnyi 7.7. táblázat Ulrich Försner Környezetvédelmi Technika c. könyvében (Springer Hungarica K. Kft, 1993). Innen származik a **2.2.** és a **2.3.** táblázat is.

2.2. táblázat: A talaj szempontjából legjelentősebb szennyező anyagok és ezek potenciális veszélye az emberre (táplálékkal történő felvétel)

Szennyező anyagok	Felvétel a táplálékkal (heti átlagértékek)	Tartósan tolerálható heti bevitel*	Hatások (sajátosságok)
ólom	0,91 mg	3,5 mg	gyermekeknél fokozott felszívódás
kadmium	0,284 mg	0,525 mg	vas-, D-vitamin és kalcium-hiánnyal együtt
réz	700 mg-ig	15 mg*	halálos adag (rézszulfátból): >8g/fő
nikkel	2-4 mg	nincs adat	szájon keresztül, szervesen; mérgezési eset nem ismert
higany	0,063 mg	0,35 mg	metil-higanyra: 0,23 mg
tallium	nincs adat	0,1 mg*	halálos adag: 8mg/testsúlykg
arzén	0,2-0,3 mg	1 mg	halálos adag: 100-300 mg; rákkeltő
poliklórozott bifenilek	ca. 0,04 mg	0,5 mg	felhalmozódás a zsírszövetben, tejben, májban
tetraklór-dibenzo-dioxin-ekvivalens	140-1400pg	500 pg	kézről szájba jutás, gyerekeknél
para/deiquat	nincs adat	0,5 mg*	(paraquat); deiquat-ra: 4 mg*

γ-hexaklór-ciklohexán	2,6 µg	4,2 mg	súlyos mérgezés: 10-20 mg/testsúlykg fölött
hexaklór-benzol	0,2 µg	0,25 mg	felvétel az anyatejjel

*A napi bevihető mennyiségekből számítva

2.3. táblázat: A nyomelem-tartalom nem szennyezett talajokban és a talajszennyezést okozó anyagokban(mg/kg szárazanyag). A kritikus értékeket dőlt számok jelzik

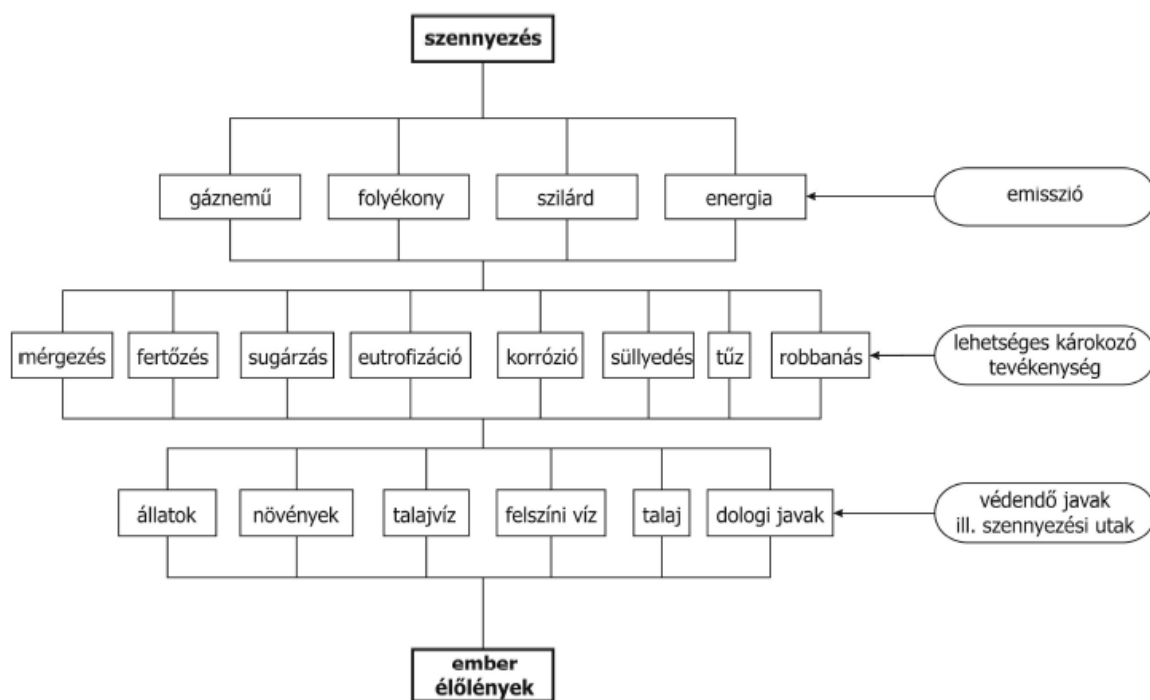
	Talajra jellemző érték	EK-irány-értékei (86)	Trágya ^a	Szennyvíz -iszap	Házt. komposzt	Pernye	Csapadék ^b
B	10 (0,9...1000)	-	P(30)	50	-	200	5,5
Be	6 (0,5...30)	-	csekély	3	15	23	-
Cd	0,4 (<0,01...8)	1...3	P(50)	12	10	10	0,25
Co	8 (0,3...200)	-	csekély	12	30	-	1,6
Cr	50 (0,9...1500)	-	P(200)	250	120	280	1,4
Cu	12 (<1...390)	50...140	Ist(20)	800	800	320	8,8
Hg	0,06 (>0,01...5)	1...1,5	csekély	4,4	-	-	0,05
Mn	450 (<1...18 300)	-	M(500)	400	500	640	4,9
Mo	1,5 (0,1...28)	-	P(4)	5	8	60	0,14
Ni	25 (0,1...1520)	30...75	csekély	80	120	270	7,3
Pb	15 (<1...890)	50...300	P8100)	700	1200	330	11,0
V	90 (0,8...1000)	-	P(40)	60	100	360	2,3
Zn	40 (1,5...2000)	150...300	P(150)	3000	2000	360	29

^a műtrágya legmagasabb legmagasabb hatóanyag-tartalommal;

p – foszfátműtrágya, Ist – istállótrágya, M – mészkő vagy dolomit, normál hatóanyag-tartalom zárójelben

^b atmoszferikus csapadék, 100 éves időszakra becsült fémfeldúsulás a talaj 20 cm-es mélységéig (mg csapadék/kg talaj)

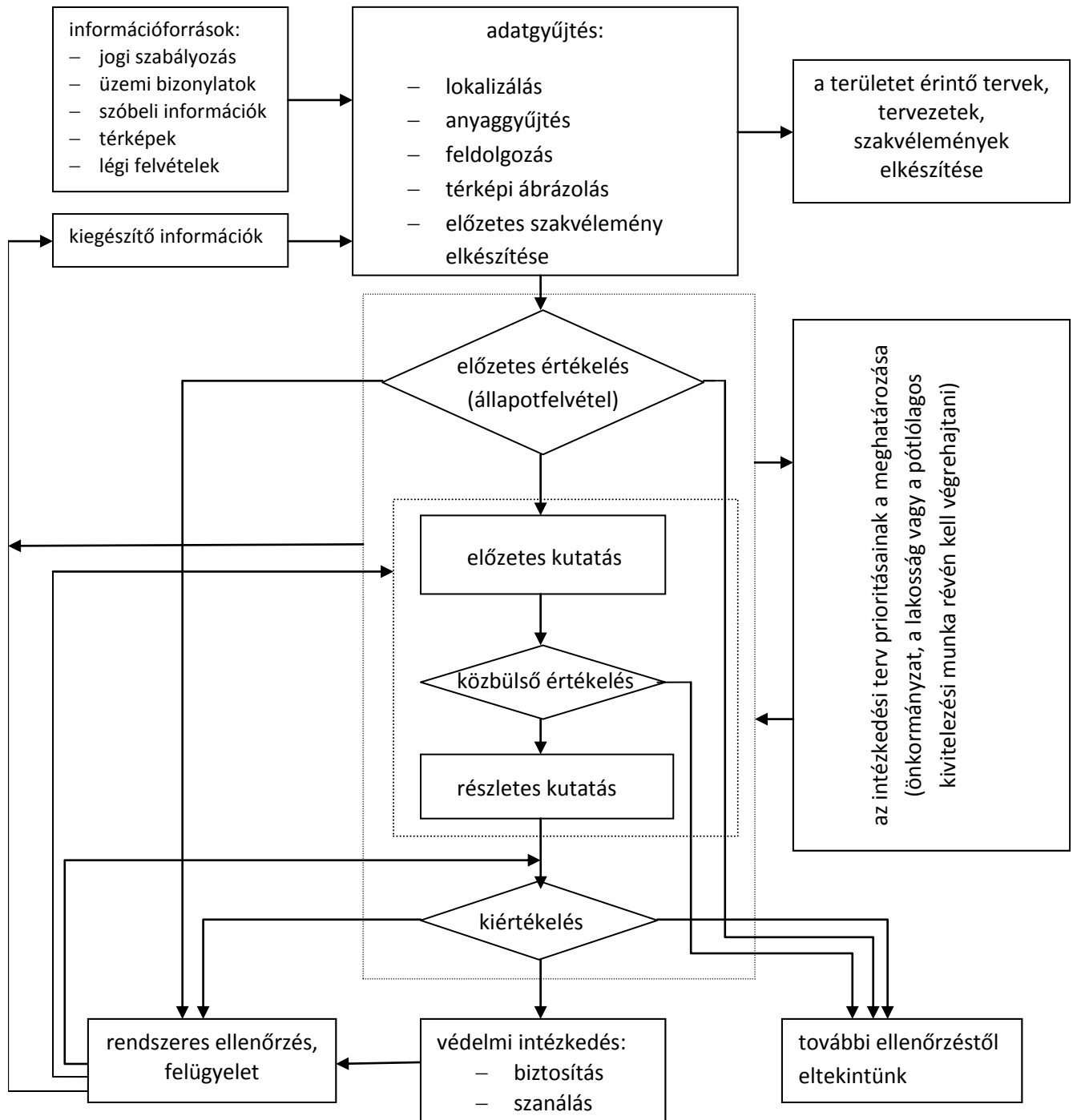
A szennyezésnek a környezeti elemek közvetítése során lehetséges, az emberig vezető útjait a **2.4. ábra** ismerteti.



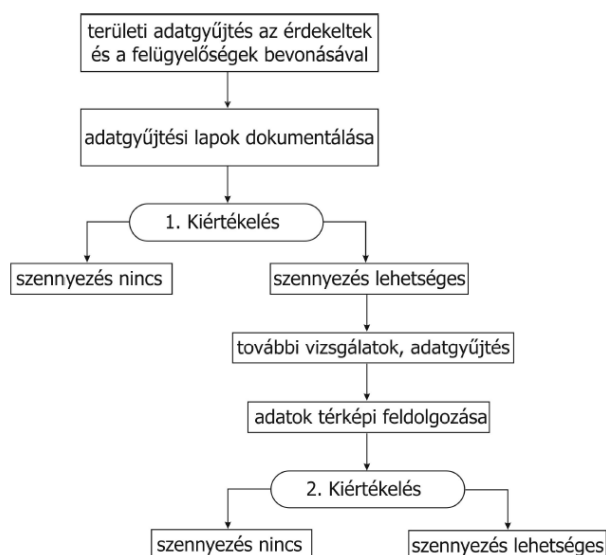
2.4. ábra: A szennyezések környezetbe való kijutásának és továbbterjedésének, illetve az élőlényekhez és az emberhez való eljutásának lehetőségei (Ruppe-Lindemann, 1991.)

2.4. A szennyezett terület (térfogat) feltárása, körülhatárolása, értékelése

Az **adatgyűjtés** és az **állapotfelvétel** elkészítése a **veszélyeztetési potenciál** megítéléséhez szükséges **kataszter** összeállításához vezető (kutató) munka első lépése. A teendők folyamatát, logikáját a **2.5.**, az adatgyűjtés vázlatát pedig a **2.6. ábra** mutatja.



2.5. ábra A szennyezett területek kutatása és értékelése (FEHLAU, 1987.)



2.6. ábra Az adatgyűjtés vázlata

Az adatgyűjtés során mérlegelendők:

- a szennyezett lerakó, terület helyi és térbeli lehatárolása, elsősorban térképek, légi felvételek, írásos dokumentumok alapján, amihez segítséget kaphatunk az illetékes hivatalok dokumentumaiból, a helyi lakosságtól, a helyszíni bejárás révén stb.;
- a szennyezett területen lévő anyagok összetételének becslése (pl. a területen egykor működő, tevékenykedő cég(ek) termelési programja, üzemi naplók, egykori alkalmazottak, lakosok információi, az alkalmazott szállítóeszközök stb. alapján);
- a termelési folyamat és tevékenység nyomon követése (az alkalmazott, felhasznált vegyszerek és alapanyagok mennyisége, fajtája, közbenső és végtermékek, amelyeket a vizsgált területen átraktak, tároltak vagy termeltek);
- az időszak meghatározása (amikor a lerakás vagy a termelés folyt);
- a tevékenységet engedély alapján vagy anélkül végezték-e;
- a jelenlegi, a korábbi és a tervezett területhasznosítás, ill. a tulajdonviszonyok;
- a környező területek analízise (lakott terület, lakótelep, iparterület stb.);
- a regionális és lokális földtani és hidrogeológiai viszonyok tisztázása a rendelkezésre álló adatok alapján;
- a lerakónak vagy a területnek a környezetre gyakorolt hatása a közvetlenül látható, érzékelhető hatások alapján;
- a korábbi vizsgálatok és szakvélemények kiértékelése (pl. ipari és ivóvíztermelő kutak, a felszíni vizek és a talajvíz minőségének elemzési adatai stb.).

A fentiekhez kapcsolódó **állapotfelvétel** nyomán annak eldöntése a cél, hogy a terület **biztosan szennyeződésmentes-e, valószínűleg szennyezett-e** vagy **egyértelműen szennyezett**. Az utóbbi két esetben van szükség a **kutatási fázis** megtervezésére, amelynek alapkérdései:

- milyen feltárásokra van szükség a szennyezett terület lehatárolásához;
- milyen legyen a feltárások sűrűsége, figyelembe véve a feltárás során is a fokozatos megismerés elvét;
- eredményesen alkalmazhatók-e a közvetett feltárási, kutatási módszerek (geotechnikai, geokémiai kutatás, távérzékelés, bioindikációk stb.);

- a mintavételezés sűrűsége, minősége (zavart-zavartalan), milyensége (talaj, víz, levegő, szennyező anyag);
- milyen laboratóriumi vizsgálatokra van szükség;
- mely területeken van szükség új, ill. további kémiai elemzésekre;
- milyen komponensekre, ill. elemekre koncentráljon az elemzés;
- a várható költségkihatás.

Az első értékelés "valóságtartalma" szélsőséges (lehet). A munka (pl. feltárás) közben szerzett ismeretek, tapasztalatok a tervezett munkákat **akár visszamenőleg is jelentősen módosíthatják**.

2.4.1. A kutatás stratégiája

Többnyire háromféle:

- hierarchikus (screening),
- célirányos (target) és
- a kettő kombinációja.

Az elsónél a szennyezőanyagok jellemzői a kutatás végére válnak ismertté - a kiindulást a pontosításhoz nyújthatja (pl.) valamiféle, az adott szennyezőanyag(csoport)hoz kötődő **indikátor**.

Kellő (előzetes) információk esetében (üzemanyagtartálynál pl. kőolajszármazékok) a kutatás a második változat szerinti - tehát ismert komponens(ek)re irányul.

2.4.2. Kutatási módszerek, eszközök

Függetlenül a jellegétől, az archív anyagok **mindegyike** lehet döntő jelentőségű. Feltétlenül szükségesek a földtani, víz- és mérnökföldtani térképek, (ha van) légifelvétel, topográfiai térkép, az antropogén tevékenységhez kapcsolódó forma- és egyéb jegyek stb.

A szennyezés helyére, jellegére a növényvilág szemmel látható változásai (bioindikátorok) is utalhatnak. Pl. vadlerakók gázképződését jelezheti a cérna tippán, fehér libatop, keserűfű stb. Az elv a **mérnökbiológiából** (lásd az alkalmazott földtani ismereteket) az Olvasó számára már ismert.

A közvetett geofizikai kutatás módszereit - áttekintés céljából - a **2.7. táblázat** mutatja be.

2.7. táblázat A különböző geofizikai módszerek alkalmazhatósága a szennyezett területek kutatása során (Vogelsang, 1991.)

A terület jellege	A szennyezett terület			A vízföldtani felépítés jellege			Megjegyzések
A alkalmazott módszer	Háztartási hulladéklerakó	Ipari hulladéklerakó	Ipari terület	Karsztos terület, repedezett kőzetek	Magas talajvízállású terület (szilárd kőzet, laza üledékek)	Mélyfekvésű talajvizes terület (szilárd kőzet, laza üledékek)	
Földmagnetika	1	2	*	-	-	-	1. Csak lokalizáláshoz 2. Egyes objektumok helymeghatározása
Geoelektromos térképezés	+	+	+	*	+	+	
Ellenállásmérés	+	+	-	*	+	+	
Indukált polarizáció	*	*	*	*	+	*	további kutatás szükséges
Saját potenciál mérések	*	*	*	*	*	*	
Elektromágneses térképezés	+	+	*	+	+	+	
VLF	+	+	*	+	+	+	
Földradar	*	*	+	-	-	*	kis behatolási mélység > 50m
Refrakció-szeizmika	*	+	+	+	+	+	
Reflexió-szeizmika	-	-	-	*	*	*	kutatási mélység > 50m
Gravimetria	*	*	-	-	-	-	
Geotermika	*	*	*	-	-	-	további kutatás szükséges

Relatív olcsóságok és gyorsaságok mellett nagy előnyük, hogy szelvényezésre - interpoláció nélkül - alkalmasak és nem zavarják meg az eredeti (bár szennyezett) talajállapotot. Hátrány viszont, hogy közvetlen talaj/talajszennyezés-mintát nem szolgáltatnak. Alkalmazásuk célja

- a földtani / vízföldtani / szerkezeti viszonyok pontosítása;
- a szennyezett vagy szennyeződés-gyanús területek körülhatárolása;
- a szennyeződés nyomonkövetése;
- adatszolgáltatás a (közvetlen) feltárások optimális telepítéséhez.

A műszaki földtanban már említett **szondázásoknak** többnyire a **mérnökgeofizikai mérésekkel** (természetes gamma-sugárzás mérése, térfogatsűrűség mérése, szivárgási tényező stb. mérése a szonda által kialakított furatban) **kombinált** változatai informatívak.

A közvetlen (talaj) feltárási módszerek (közvetlen) talaj- és (ha van) vízmintát szolgáltatnak. A mintavétel **árkolással, fúrással és szondázással** történik. Átmérőjük szerint kis- és nagyméretű, a meghajtás jellegét tekintve kézi, ill. gépi fúrásról beszélnek. Ezek révén (geotechnikai értelemben) zavart és zavartalan minták egyaránt nyerhetők. Alapvető, hogy a fúrás technika a szennyeződést ne közvetítse, ne vigye pl. lejjebb (a szennyezőanyag jellegétől is függően van, amikor a szerszámok minden egyes fogást / mintavételt - tehát az időközönkénti kiépítést - tisztítófürdőben "elmosandók"). Keserves tapasztalatok születtek pl. a nehézfémek közül a Hg-szennyezés feltárásakor - a hagyományos fúrás technika során a szennyezés még mélyebbre került (a magas fajsúly és folyékony halmazállapot következtében). Talajmintavételre - értelemszerűen - csak az ún. **száraz** fúrási eljárások alkalmasak.

Speciális technikák is vannak, amelyeket többnyire a geotechnikából vettek át - ilyen az Auger-fúrás technika, amelynek során a talajból folyamatos, összefüggő, zavartalan hengert emelnek ki, vagy - emberre veszélyes körülmények esetében - rádiótávírányítású fúróberendezést alkalmaznak. Speciális talajvízminta (talajoldat) vételére szolgál pl. az USA-ban tesztelt B.A.T.-rendszer, amely egy, a talajba helyezett szűrőfejjel ellátott figyelőcső segítségével, egy gumimembrán átszúrásával a vízmintát önzáró, ismert térfogatú kapszulába juttatja (a kapszula részleges vákuuma biztosítja a "szívást", a telítődés időtartalmából mindjárt számítható a szivárgási tényező...). Óriási a fejlődés a vízmintavételi (szivattyú- és egyéb) technikák, valamint a helyszíni gyorsvizelések, tesztek tekintetében is. Általánosságban a környezetvédelmi feltárások és mérések szükségessége kedvező hatással van a fúrás- és műszertechnika fejlődésére, a gyártókra, aktív és passzív környezetvédelemmel foglalkozó cégekre, intézményekre is - jó és rossz értelemben egyaránt.

A feltárások / felderítő módszerek szükséges **menyisége és helye** előre - adekvátan - nem vagy csak kivételesen határozható meg, mivel függ a feladat jellegétől, céljától, a rendelkezésre álló időtartamtól, pontossági kívánalmaktól stb. A felszínközeli lehetséges szennyezés esetére vonatkozó **ajánlást a 2.8. táblázat** mutatja.

2.8. táblázat Az előkutatási fázis során ajánlott fúrásszám és mintavételi gyakoriság (Weber, 1990.)

Felület nagysága (ha)	Fúrásszám (db)			Mintaszám (db)		Talajminta	Talajvíz	
	0-0,5 (m)	0,5-2 (m)	Kút (db)	0-0,5 (m)	0,5-2,0 (m)	elemzés (db)		
						0-0,5 (m)	0,5-2,0 (m)	
0,2	12	3	1	12	9	2	1	1
1	20	6	2	20	18	3	2	2
2	30	9	3	30	27	4	3	3
n	10+10n	3+3n	1+1n	10+10n	9+9n	2+1n	1+1n	1+1n

A feltárások egy részét célszerű mindjárt (ideiglenes és állandósított) észlelőkúttá kiképezni (→ talajvíz-rétegvíz, áramlási irány, sebesség, áteresztőképesség, koncentrációviszonyok stb.). A szennyezőanyag és a kőzettest(ek) vagy porózus közegek **kölcsönhatása** (szűrődés, kicsapódás, szorpció, diffúzió, viszkozitás stb.) **újabb szempontokat** vethet föl. A (példa kedvéért a) hidrogeológiai vizsgálatok szükségszerűen kiterjednek az alábbiakra:

- vízvezető / vízzáró réteglapok térbeli helye / helyzete;

- közetfizikai jellemzők rétegenként;
- talajvíz / rétegvíz térbeli helyzete, áramlási igény / sebesség;
- vízháztartási jellemzők (csapadék, beszivárgás, párolgás, készlet, elfolyás, hozzáfolyás, hidraulikai kapcsolat);
- talaj- és rétegvízjárás és egyéb szint/nyomásváltozások;
- vízkémiai összetétel.

A kémiai vizsgálatokkal kapcsolatos ismereteket a következő (komplex gyakorlati) félévben tárgyaljuk.

2.4.3. Az előzetes kutatási fázis értékelése

Az előzetes kutatási fázis befejeztével az alábbi kérdésekre kell tudnunk választ adni:

- a szennyezés gyanús területen, amennyiben az nem szennyezett, megengedhető-e a további tevékenység, ill. a terület hasznosítása?
- amennyiben a környezetre gyakorolt szennyező hatás jelentéktelen, de nem állapítható meg biztosan, hogy a lerakó csak a környezetére veszélyt nem jelentő anyagokat tartalmaz, további hosszabb idejű megfigyelés szükséges-e?
- amennyiben a gyanús területen bizonyítottan nagyobb mennyiségben található mobilizálható toxikus anyagok, nagy valószínűséggel szükséges-e a felszámolása?
- szükség van-e további vizsgálatokra a végső megítélés szempontjából?
- azonnali beavatkozás (pl. az emberi élet veszélyeztetettsége miatt) szükséges-e?

2.4.4. A részletes kutatás

A részletes kutatási fázis célja a **mennyiségi jellemzés**, ami:

- a szennyezőanyagok minősége, mennyisége, ill. a koncentrációértékek meghatározása;
- a szennyezett terület pontos térbeli lehatárolása és
- a környező terület szennyeződésmentességének az igazolása.

A kutatási fázis során alkalmazott **módszerek** lényegében nem különböznek az előzőekben leírtaktól.

Ezen fázis befejezése után már nem maradhat megválaszolatlan nyitott kérdés sem a földtani, vízföldtani viszonyokat, sem pedig a szennyezőanyag minőségét és mennyiségét illetően. A fentiek ismeretében meg kell tudnunk határozni a lehetséges szennyeződésterjedési utakat és azoknak az emberre gyakorolt veszélyeztető hatását. A szennyeződés a következő közvetlen vagy közvetett módon juthat el legrövidebb úton az emberi szervezetekhez:

talaj → ember;

talaj → növényzet → ember;

talaj → levegő → ember;

talaj → talajvíz (ivóvíz) → ember.

A fentiek közül a talaj → levegő és a talaj → talajvíz rendszer megfelelő alapadatrendszer ismeretében matematikailag is jól modellezhető, az alapadatok "előállítás" úgyszintén a részletes kutatási fázis feladata.

A részletes kutatási fázis végén

- össze kell állítanunk a szennyezett területek kataszterét;
- meg kell határoznunk a szennyezett területnek a környezetére gyakorolt hatását és annak várható folyamatát;
- meg kell határoznunk a további teendőket. Ezek:
 - szükséges-e azonnali beavatkozás?
 - elegendő-e a terület biztosítása, amikor csak a további szennyezőanyag bejutást és továbbterjedést akadályozzuk meg?
 - szükség van-e a terület megtisztítására valamely szanálási eljárással?
 - javaslatétel a szanálási eljárásokra, esetleges alternatívákra;
 - a szanálási eljárásoknak a környezetre gyakorolt hatása és a
 - várható költségek.

2.4.5. A szennyezett-terület kataszter összeállítása

A szennyezett-terület kataszter összeállításának a céljai (Ruppe-Lindemann, 1991.):

- a szennyezett, ill. szennyezés gyanús területek rendelkezésre álló és szükséges adatainak egységes szempontok szerinti, lehetőleg teljes és szisztematikus összefoglalása;
- az adatbank folyamatos kiegészítése és aktualizálása;
- problémák felmerülése esetén (pl. friss szennyeződés) a szükséges adatok gyorsan és áttekinthetően álljanak rendelkezésre.

Különösen nagy értéket és jól használható információrendszert jelentene egy olyan **adattár**, amely az egyes **szennyezett területek katasztereinek a gyűjteményéből** állna és az érintettek számára hozzáférhető lenne. Egy, az adott terület **környezeti állapotára vonatkozó adatbank** - melybe a szennyezett területekről készült kataszterek is bekerülnének - előnyei:

- friss szennyezés esetén az adatgyűjtési fázisban igen gyorsan juthatunk új információkhoz;
- vitás helyzetek tisztázása: korábbi vagy új-e a szennyezés?
- a területre vonatkozó alapérték(ek) ismerete;
- a korábbi feltérképezési és szanálási eljárások tapasztalatai segítenék a kárelhárítás hatékonyságát.

Egy **adott területről készített kataszter** az elő- és részletes kutatási fázisban nyert információk alapján a következő adatokat kell hogy tartalmazza:

- a szennyezés térbeli helyzete, területi lehatárolása,
- a szennyezés jellege (egykori depónia, vadlerakó, üzemi terület stb.),
- a lerakott vagy kikerült anyagok specifikációja,
- a szennyezés "gazdája", a szennyezésért felelős intézmény, vállalat stb.
- a szennyezés időpontja, időtartama, mennyisége, intenzitása,
- a földtani, vízföldtani, hidrológiai, mérnökgeológiai viszonyok,
- a vízgazdálkodási jellemzők,
- a szennyezett terület jelenlegi és tervezett hasznosítása,
- a szennyezett terület ható- és hatásterülete, azok időbeli alakulása,
- a szennyezett terület tulajdonviszonyai,
- az elvégzett kutatások, elemzések, szakvélemények eredményei,

- az eddigi események, intézkedések,
- a jelenlegi és várható ökológiai hatások.

2.4.6. A terület veszélyeztető potenciáljának megállapítása - alapelemek

Mint az előzőekben láttuk, a részletes kutatási fázis végén meg kell határoznunk a szennyezett területnek a környezetére gyakorolt hatását és annak várható folyamatát, azaz meg állapítanunk a **szennyezett terület veszélyeztető potenciálját**.

A tényleges veszély, amit egy szennyezett terület jelent, egyrészt a kimutatott és felderített **szennyező anyagok minőségétől és mennyiségétől**, másrészt az **ökotoxikológiai helyzettől** függ, amit

- a szennyezőanyag kémiai jellege, oldhatósága és párolgó képessége,
- az emberi szervezetre gyakorolt hatása és feldolgozhatósága,
- a szennyező anyagok közötti kölcsönhatások és lehetséges reakciók,
- a talaj és altalaj adottságok,
- a terület és a környező tér hasznosítása, valamint
- a talaj és a felszíni víz kapcsolata stb.

jellemez (Barkowski, 1987.)

A veszélyeztető potenciál vizsgálatokor, megállapításokor a fentieket figyelembe kell venni, általános séma azonban itt sem adható, hiszen minden egyes szennyezett vagy "gyanús" terület egyedi eset, ami egyedi elbírálást kíván. Ugyanakkor az is kívánatos, hogy az értékelő eljárások valamelyest egységes elvek alapján történjenek, mert csak ekkor van meg a lehetősége a veszélyeztető potenciál becslése összehasonlíthatóságának és a reális értékelési sorrend kialakításának.

Számos értékelési eljárást dolgoztak ki, azonban ezek mindegyike alapvetően **három**, egymással szoros kapcsolatban lévő **alapelem értékelésére épül**.

1. alapelem

A lerakott, illetve a bejutott/kijutott anyagok mennyisége, minősége és hatása:

A szennyezett területre esetleg kijutott anyagok körének meghatározásában mint már említettük jó segítséget nyújthat a ? táblázat. Az utóbbi táblázat tartalmazza a mobilitás, toxicitás, bioakkumulációs hajlam, lebomlási tulajdonságok és a hosszú ideig tartó veszélyeztető potenciál alapján a környezetükre különösen veszélyes releváns anyagok és vegyületek jegyzékét.

2.9. táblázat Környezetszennyezés szempontjából különösen „gyanús” területek és a lehetséges releváns anyagok (Ruppe-Lindemann, 1991.)

Iparág, tevékenység, szolgáltatás	Jellemző környezetszennyező anyagok
Elem és akkumulátorgyártás	As, Cd, Cr, Cu, fluoridok, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, savak, lúgok
Szervetlen vegyipari termékek előállítása	As, Be, Cd, Cr, Cu, CN, Zn, dinitro-fenol, fluoridok, fluoro-szilikátok, Hg, NH ₄ , Ni, nitro-benzol, Pb, pentaklór-fenol, savak/lúgok, Sb, Se, tetraklór-metán, TI, tiocianát, vanádium
Műtrágyagyártás	As, Cd, Cu, fluoro-szilikátok, NH ₄ , savak/lúgok, TI
Szerves vegyipar, gyógyszeripar	A releváns anyagok köre igen széles, közelebbi információt az üzemi tevékenység nyújthat.
Műanyaggyártás	Akril-nitril, benzol, Pb, Cd, Cr, cianidok, dibrom-etán, Zn,

	diklór-etán, diklór-etilén, diklór-propán, dinitro-toluol, Se, epiklór-hidrin, fluoridok, krezol, fenol, ftalátok, policiklusos aromás szénhidrogének, savak/lúgok, tetraklór-metán, toluol, triklór-metán, vinil-klorid
Festék- és lakkgyártás	Antracén, As, ásványolaj, benzin, benzol, Cd, cianidok, Cr, Cu, diklór-metán, dinitro-fenol, dinitro-toluol, etil-benzol, fenol, fluoridok, ftalátok, Hg, kátrányolaj, krezol, mezitilén, naftalin, nitro-benzol, policiklusos aromás szénhidrogének, Pb, PCB, savak/lúgok, Sb, Se, tetraklór-etán, tetraklór-etilén, tetraklór-metán, toluol, triklór-metán, triklór-etilén, xilol, Zn
Növényvédőszer-, rovarirtók, stb. előállítása	As, aldrin, benzol, cianidok, Cr, Cu, DDT, dibrom-etán, Mg, diklór-fenol, diklór-propán, dinitro-fenol, epiklór-hidrin, Se, febol, fluoridok, fluoro-szilikátok, hexaklór-benzol, TCDD, hexaklór-hexán, kátrányolaj, klór-benzol, klór-fenol, xilol, Zn, triklór-metán, triklór-etán
Lőszer és robbanóanyag gyártás	Aromás aminok, As, Cu, dinitro-benzol, dinitro-fenol, fenol, dinitro-toluol, Cr, Hg, metil-amin-nitrát, nitro-fenol, toluol, Pb, savak/lúgok, Sb, trimetilén-trinitro-amin, trinitro-toluol
Szénbányászat, gázgyártás, koksizálás	Antracén, As, ásványolaj, benzo[a]pirén, benzol, cianidok, Cr, etil-benzol, fenol, flour, kátrányolaj, krezolok, naftalin, mezitilén, Pb, policiklusos aromás szénhidrogének, toluol, savak/lúgok, Sb, tiocinát(ok), xilol, Zn
Ércbányászat	Cd, cianidok, Cu, fenol, Hg, krezolok, Sb, savak, lúgok, Zn
Fafeldolgozás, impregnálás	As, ásványolaj, benzin, Cr, Cu, DDT, diklór-metán, diklór-fenol, fenol, fluorantén, fluoridok, fluoro-szilikátok, xilol, Hg, kátrányolaj, krezolok, naftalin, Ni, PCB, PCN, toluol, savak/lúgok, 2,3-7,8-tetraklór-dibenzo-p-dioxin, pentaklór-fenol, tetraklór-metán, triklór-etilén, Zn
Papír, karton, textíliák, előállítása/feldolgozása	As, ásványolaj, benzol, cianidok, Cr, Cu, epiklór-hidrin, Hg, kátrányolaj, PCB, pentaklór-fenol, Pb, savak/lúgok, Sb, Zn, tetraklór-etilén, TI, triklór-benzol, triklór-etán, triklór-etilén
Gumi, műanyag, azbeszt-feldolgozás	Azbeszt, akril-nitril, benzin, benzol, benzo[a]pirén, Cd, Cr, cianidok, Cu, diklór-etilén, diklór-propán, dinitro-toluol, Zn, epiklór-hidrin, kátrányolaj, fenol, fluoridok, ftalátok, Hg, Sb, nitro-benzol, policiklusos aromás szénhidrogének, PCB, Se, tetraklór-metán, toluol, triklór-etán, triklór-etilén
Bőrgyártás és kidolgozás	As, Cr, fluoridok, Hg, krezolok, naftalin, fenol, pentaklór-fenol, tetraklór-metán
Étolaj- és élelmiszeripari zsír előállítás	Benzin, benzol, Cr, diklór-etán, diklór-metán, savak/lúgok, Ni, tetraklór-etilén, tetraklór-metán, triklór-etilén, triklór-metán
Vegyztisztítás	Benzin, benzol, diklór-etán, tetraklór-etilén, tetraklór-etán,

	triklór-etilén, triklór-etán, triklór-metán
Ásványolaj feldolgozás és olajtárolás (fáradt olaj is)	Ásványolaj, antracén, As, benzín, benzol, Cu, Cr, dibrómetán, diklór-etán, diklór-propán, etil-benzol, fenol, naftalin, Ni, ólom-tetraetil, policiklusos aromás szénhidrogének, Pb, PCB, PCN, pentaklór-fenol, savak/lúgok, TCDD, toluol, Se, kátrányolaj, tetraclór-etán, triklór-etán, V, xilol, Zn
Vas és acélgyártás	As, ásványolaj, Cd, cianidok, Cr, fenol, fluoridok, Hg, Ni, Pb, savak/lúgok, V, Zn
Fémkohászat	As, Be, Cd, cianidok, Cr, Cu, fluoridok, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, TI, V, Zn, savak/lúgok,
Fémöntödék	As, Cd, cianidok, Cu, Hg, fenol, Ni, Pb, savak/lúgok, Sb, Zn
Fémolvasztók	Fluoridok, Ni, Pb, savak/lúgok, Sb, Zn, fenol, Hg, Cu, Cr, Cd, cianidok, Be, ásványolaj, As
Fémek felületkezelése és edzése	As, ásványolaj, benzín, benzol, Cd, cianidok, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, diklór-metán, fluoridok, savak/lúgok, tetraclór-etilén, tetraclór-metán, triklór-etilén, triklór-metán, Zn

2.10. táblázat Környezetszennyezések releváns anyagai

acenaftén	2,4-dinitro-fenol	ólom és vegyületei
akril-nitril	2,4-dinitro-toluol	ólom-tetraetil
aldrin	epiklór-hidrin	policiklikus aromás szénhidrogének
ammóniumvegyületek	etil-benzol	(PAH)
ásványolaj	fenantrén	PCN
antracén	fenol	pentaklór-fenol
antimon és vegyületei	fluorantén	savak/lúgok
arzén és vegyületei	fluorén	szelén és vegyületei
azbeszt	fluoridok	2,3,7,8 –TCDD
benzín	fluoro-szilikátok	1,1,2,2-tetraclór-etán
benzo[a]pirén	ftalátok	tallium és vegyületei
benzol	hexaklór-benzol	tetraclór etilén
berillium és vegyületei	hexaklór-ciklo-hexán	tetraclór-metán
cianidok (komplexek is)	higany és vegyületei	tiocianát
DDT	kadmium és vegyületei	toluol
1,2-dibrómetán	kátrányolaj	1,2,4-triklór-benzol
1,1-diklór-etán	klór-benzol	1,1,1-triklór-etán
1,2-diklór-etán	klór-fenolok	1,1,2-triklór-etán
1,1-diklór-etilén	króm és vegyületei	triklór-etilén
1,2-diklór-etilén	mezitilén	triklór-metán
diklór-metán	metán	2,4,5-triklór-fenol
2,4-diklór-fenol	naftalin	vanádium és vegyületei
1,2-diklór-propán	nikkel és vegyületei	vinil-klorid
diklór-benzol	nitro-benzol	xilol
		cink és vegyületei

A szennyező anyagok tulajdonságainak a **megítélésénél** figyelembe kell venni a környezeti elemekbe való kijutás és szétterjedés hatását. Ezen belül:

- **a fizikai tulajdonságokat:** szerkezet, halmazállapot, sűrűség, gőznyomás, konzisztencia, szorpcióképesség, oldhatóság, gyulladási hőmérséklet, valamint olyan származtatott jellemzőket mint a mobilitás, a kilúgozhatóság, a keveredőképesség stb.;
- **a kémiai tulajdonságokat:** reakcióképesség, stabilitás, komplexképződési hajlam, kémiai és biológiai lebomlási hajlam, perzisztencia, metabolit képződés stb.;
- **a toxikológiai és higiéniai tulajdonságokat:** humántoxikus hatások, beleértve a rákkeltő hatást, organoleptikus és ökotoxikus hatást, antagonizmust és szinergizmust, a bioakkumulációs hajlamot, perzisztenciát stb.

2. alapelem

A térbeli és időbeli ki/szétterjedés lehetősége és valószínűsége:

Az 1. alapelem elsősorban az **anyagspecifikus jellemzőkből, tulajdonságokból** épül fel, míg a 2. alapelemben a **közegspecifikus tulajdonságok és jelenségek** értékelése tartozik, azaz értékeljük a szennyezőanyagok a továbbjutási, szétterjedési lehetőségét, ami egyaránt történhet a levegőben, a talajban és a vízben. Az utóbbi két közegben való **szennyezésterjedés sajátosságaival, modellezésével külön fejezet foglalkozik** részletesen.

3. alapelem

A szennyezett terület és a területhasználat/hasznosítás expozíciója:

A harmadik alapelem tartalmazza mindazokat a természeti és emberi javakat, amelyeknek a használatát és hasznosítását a szennyezett terület közvetlenül vagy közvetve veszélyezteti, vagy veszélyeztetheti. A veszélyeztetést itt természetesen nemcsak a terület értékének és érzékenységének figyelembevételével, hanem a területhasználók, -hasznosítók, a területtel kapcsolatban lévők, vagy majdan kapcsolatba kerülők érdekei, tűrőképessége, érzékenysége szempontjából is értékelni kell.

A legfontosabb területhasználati és -hasznosítási jellemzőket, ill. a védendő értékeket a **2.11. táblázat** foglalja össze.

2.11. táblázat Területhasználati és területhasznosítási jellemzők és védendő értékek (Ruppe-Lindeman, 1991.)

Talajvíz	Felszíni víz	Talaj	Levegő
		Lakásépítkezés Építési terület	Beépítés, építési terület
ivóvízbeszerzés, gyógyforrások és védőterületeik	Szabadidő-hasznosítás, fürdés, vízisport	Üdülőövezetek, zöldterületek, parkok, játék-, sport- és szabadidő terek	Üdülőövezetek, zöldterületek, parkok, játék-, sport-, és szabadidő terek
	Partiszűrészű ivóvízkivétel Talajvíz-dúsítás		
Kerti- és mezőgazdasági hasznosítású területek öntözéséhez szükséges vízkivétel	Haltenyésztés, halászat, önitató, öntözési célból történő vízkivétel	Élelmiszergyártás, mezőgazdaság, kiskertek, házi kertek, erdőgazdaság	
Ipari célra történő üzemi vízkivétel	Ipari célra történő üzemi vízkivétel	Közlekedési területek, repülőterek, parkterületek, raktár- és rakodóterületek	
Védett és védendő biotópok	Védett és védendő biotópok, pl. tavak, kiszivők	Védett és védendő biotópok	Védett és védendő biotópok
		Ipari parlag	

Az utóbbi négy alfejezet Dr. Szabó Imre: Hulladék-elhelyezés III. című, 1995-ös kiadású könyvéből került átvételre.

Ellenőrző kérdések a 2. rész anyagához

1. Nevezze meg a talajszennyezés forrásait, megjelölve a lehetséges csoportosítás elveit is!
2. Foglalja össze az adatgyűjtés jelentőségét, elveit!
3. Gondolja át és foglalja rendszerbe a talajfelderítési és feltárási módszereket!

3. A kárelhárítás

3.1. Alapelvek

A **szennyeződött** (kontaminált) talaj kármentesítési / kárelhárítási technológiájának kiválasztásának, tervezésének a részfeladatai a következők:

- a jövőbeni hasznosítás tisztázása
- a szennyezés okozta kockázat becslése,
- a megtűrt maradék-szennyezés nagyságának (határértékének) a meghatározása,
- a kármentesítési technológia kiválasztása,
- a végrehajtás.

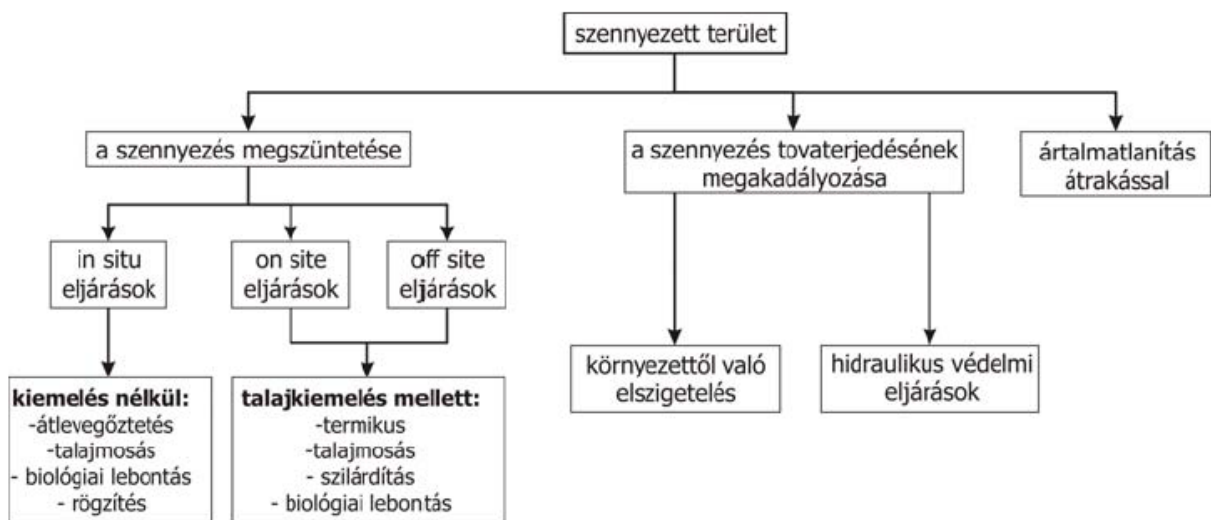
Száz százalékos hatékonyságú, egyetemes - vagyis mindenütt és mindenkor sikerrel alkalmazható - talaj/talajvíztisztítási módszer (jelenleg) nincs. Ezért az elérendő cél a mindenkori technikai/jogi/gazdaságossági szempontok mérlegelésével határozandó meg, figyelembe véve a terület tervezett hasznosítását és megszerezve az illetékes hatóság (pl. Környezetvédelmi Felügyelőség) előzetes hozzájárulását is. Vizsgálandók:

- a szennyezés anyaga, mennyiségi-minőségi jellemzői,
- a területi adottságok,
- a kármentesítés célja,
- a munkavédelmi körülmények,
- a jogi szabályozás,
- a közvélemény reagálása,
- a rendelkezésre álló eljárások,
- az egyes eljárások technológiai (elő)feltételei,
- a visszamaradó anyag ártalmatlanítása,
- az időigény és
- a gazdaságosság.

A fentiekén túlmenően gondolni kell a vállalkozó (mentesítést végző) referenciáira, az alkalmazandó módszer(ek) várható környezeti hatásaira, a munkafázisok (eredmények) megbízható dokumentálására, azok ellenőrizhetőségére (pl. reprezentatív mintavételre), az esetleges további ellenőrző mérésekre (monitoring) és ezek anyagi ráfordításaira egyaránt.

Elvileg négy lehetőség van (**3.1. ábra**):

- a) A **kontaminált talaj** helyszínen hagyása a használat valamiféle korlátozásával,
- b) Lefedni, ill. "bedobozolni" (kapszulázni) a szennyezett tömböt (vízzáró módon), akár termőtalajjal letakarva,
- c) A **kiemelt** - szennyezett - tömböt (pl. veszélyes) hulladéklerakóba **szállítani** és **őrizni ismert / szabályozott feltételek között**,
- d) **Megtisztítani** (dekontaminálni) a szennyezett térrészt "in situ" (tehát az eredeti helyen / fekvésben) vagy "off site" módon (azaz egy másik helyen lévő technológiával). A tisztítás során a káros anyagkoncentráció(ka)t a megkívánt, előírt **határérték alá** kell csökkenteni adott időtartamon belül.



3.1. ábra A szennyezett területek kárelhárításának módszerei

Az "on site" és "off site" eljárások az ún. "ex-situ" módszerek - az előbbi során a szennyezett talajt ugyan kitermelik, de a kármentesítés a **helyszínen történik**. A "bedobozolás" és az átrakás módszerei (b,c) - közös elnevezéssel - a **biztosítási módszerek**.

A kezelt talajra ható beavatkozás mértéke az alábbi sorrend szerint nő:
 biológiai módszerek → mosási eljárások → termikus talajkezelés

Nyilvánvaló, hogy elsősorban az (eredeti) talaj **fizikai** jellemzői mondhatnak változatlanok, leginkább a **biológiai** adottságok érzékenyek (változékonnyak) és erősen **variábilisek** a **kémiai** tulajdonságok is. A tisztított talaj **biológiai** regenerációjának foka és időtartama **igen széles sávban mozog**. Az előreláthatóan mezőgazdasági / kertészeti hasznosítású területeken a legegyszerűbb megoldás általában a "kultúrtalajjal" ("virágfölddel", előregyártott gyep takaróval stb.) való **befedés**. A kérdéskör a technogén területek **rekultivációjáig** vezet (lásd az irodalomjegyzéket).

3.2. Talajkiemelés nélküli mentesítési módszerek

Előnyeik, alkalmazásuk feltételei és hátrányaik a következők:

Előnyeik:

- ellentétben a kitermeléses eljárásokkal, kizárható a kitermelés, szállítás és kezelés során eset-

legesen okozott környezeti és egészségügyi kár kockázata;

- a szennyezésmentesítéshez nincs szükség további területre;

- nincs tárolótér igény;

- a megtisztított talaj az eredeti helyén marad;

- a költségek általában kedvezőbbek a talajkitermeléssel járó eljárásokénál.

Alkalmazási feltételek:

- a szennyezett terület határainak pontos ismerete;

- a szennyezőanyag homogén eloszlása;

- a terület földtani felépítésének pontos ismerete;

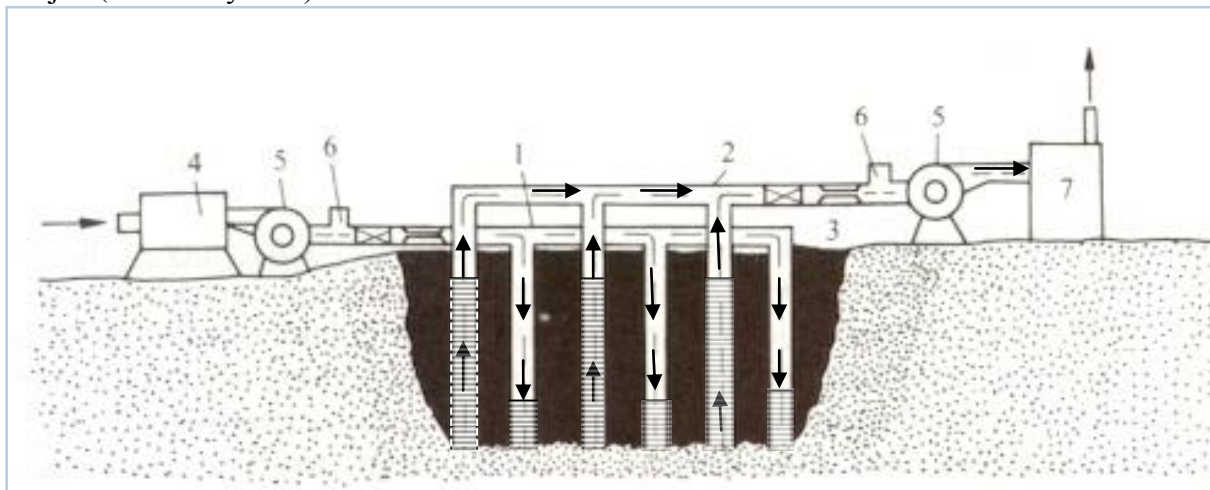
- a tisztítandó terület hidrogeológiai viszonyainak pontos ismerete (szivárgáshidraulikai paraméterek előzetes meghatározása laboratóriumban és a helyszínen);
- kedvező szivárgású tényezőjű talaj;
- előzetes transzportmodellezés;
- a szennyezőanyagoknak a talajból mobilizálhatónak és/vagy biológiailag lebonthatóknak kell lenniük.

Hátrányaik:

- a tisztítandó területtel szemben támasztott nagyobb követelmények;
- a folyamat csak részbeni kormányozhatósága és ellenőrizhetősége;
- a tápoldatok és a közbenső termékek újabb szennyezési veszélyt jelentenek.

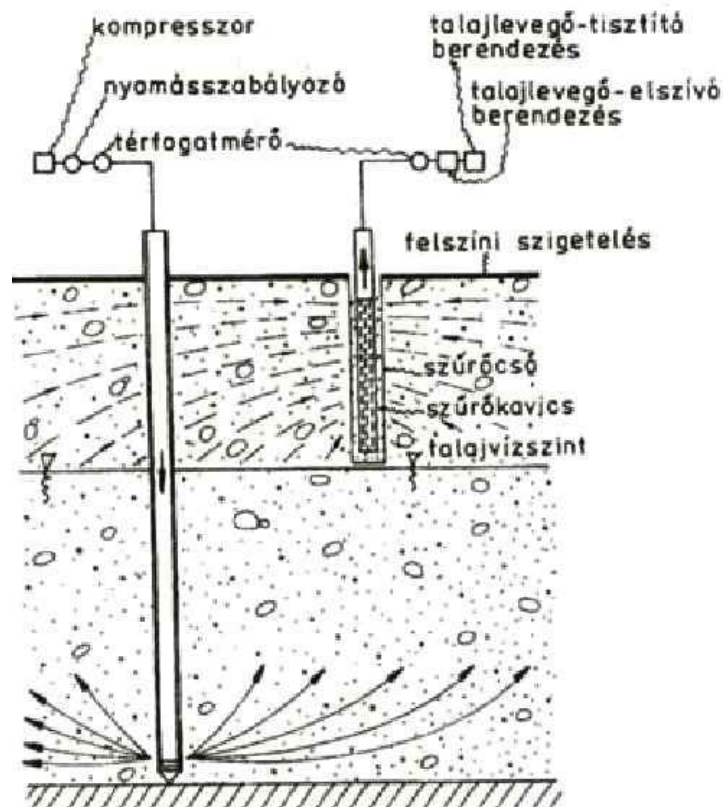
3.2.1. Átlevégőztetés

A könnyen illó és az alifás szénhidrogének eltávolításának egyik módszere (3.2. és 3.3. ábra). Az illékony szennyezőket a (szennyezett) talajrétegen (tömbön) átszívott vagy átnyomott, megfelelő hőmérsékletű, nedvességtartalmú és sebességű légáram révén vonják el, leválasztva belőle a szennyezőanyagokat. A megtisztított levegőt többnyire visszavezetik a talajba (→ körfolyamat).



3.2 ábra Az átlevégőztetési eljárás elve

(1-injektáló csőhálózat, 2-elszívó csőhálózat, 3-szennyezett talaj, 4-levegőhevítő,5-ventilátor, 6-mintavétel és szabályozás, 7-aktív szenes adszorber)



3.3. ábra Talajvíz-levegőztetés

Tiszta kemikális szennyezőanyag esetében a talaj vákuumextrakciója csak akkor (lehet) eredményes, ha a szennyező agens tenziója 20°C-on nagyobb 1866 kPa értéknél (a sikeresség feltétele a Henry-állandó 0,01 fölötti értéke is). A **csak szívással** működő rendszerek is lehetnek hatékonyak. Eredményesebb a **meleg** levegő alkalmazása. A levegő kompressziójával szemben a szíváson alapuló rendszerek pontosabban vezérelhetők, és a kísérő folyamatok is jól kontrollálhatók.

Henry-féle állandó:

A folyadékban (vízben) való (gáz-)oldhatóság (c_g) kis gázkoncentrációnál, az adott gázra jellemző kritikus hőmérséklet és nyomás alatt a

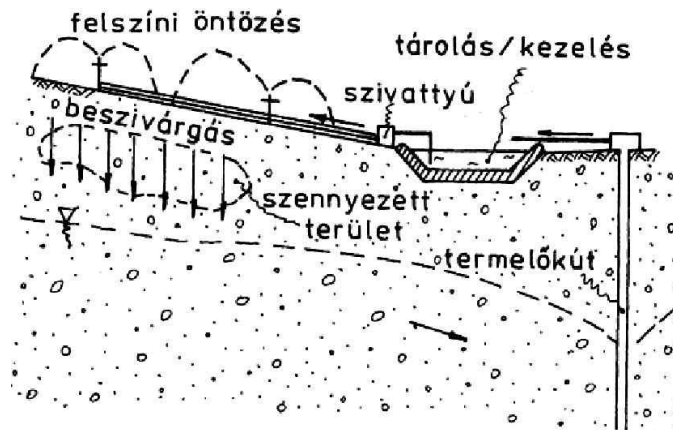
$$P = k_H \cdot c_g$$

törvény szerinti, tehát a **nyomással (P) arányos** (k_H a Henry-állandó).

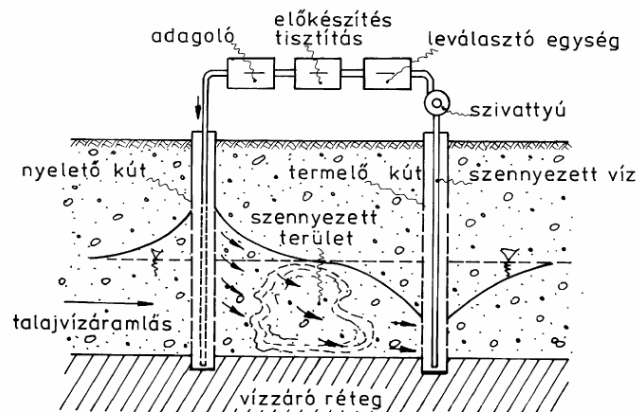
3.2.2. Talajmosás

A szennyezett talajtömböt felületaktív és/vagy oldószert tartalmazó **oldattal** mossa át (v.ö. az előző módszerrel), amely így legalább kétféleképpen szennyeződött, ezért **tisztítják, utókezelik**.

Az oldatot (esetleg magát az oldószert) a talajra/talajba juttatják, kiszivattyúzza megtisztítják, és visszavezetik a talajba. A beszivárgásos bejuttatás nyilván felszínközeli hatékonyabb - történhet elárasztással, öntözéssel, árkos, medencés beszivárogtatással is. Mélyebbre a mosóoldat nyeletéssel vagy injektálással juttatható be (galéria, kút). Két lehetséges elrendezést mutat a 3.4. és 3.5. ábra.



3.4. ábra Talajmosás felszíni öntözéssel



3.5. ábra Talajmosás kutas injektálással

A módszercsoport **előnye** a viszonylag egyszerű megépíthetőség és a mérsékelt költségek, **hátrány** viszont:

- a kezelés lassúsága
- a viszonylag nagy szennyvízmennyiség
- az üzemközbeni ellenőrzés / szabályozás nehézkessége, korlátai
- a felületaktív oldat drága tisztítása
- komplex szennyezés esetében nem hatékony.

3.2.3. Biológiai lebontás

Az egyik intenzíven fejlesztett módszercsoport. Lényege, hogy a talajban élő (akár mesterségesen bevitt) mikroorganizmusokat "használják" az adott szennyezőanyagok részbeni vagy teljes lebontására. A hatékonyság függ az aktív mikroflóra jellemzőitől, a reakciókörülményektől (pl. a szennyezőanyag minőségétől, koncentrációjától) és a földtani adottságoktól (szivárgási tényező) is.

A folyamatok bomlásterméke akár (újra) mérgező lehet **más** élőlények számára. A biológiai lebontás sebességének fokozására a talajba / talajvízbe tápanyagokat (N, P, nyomelemek stb.) és oxigént juttatnak, többnyire a hordozóközeg (víz / oldat) cirkuláltatásával.

Fontos szempont a folyamat ellenőrzése, ami többnyire észlelőkutak segítségével történik.

A technológia előnyei:

- messzemenően környezetkímélő (nincs ökológiai változás autochton mikroorganizmusok alkalmazásakor, nincs hulladék a szennyezőanyag mineralizálásakor);
- alkalmas mind a vízoldható, mind az oldhatatlan szennyezőanyagokra;
- a szanálási intézkedések a szennyezőanyagot a saját terjedési nyomvonalán tudják követni;
- műszakilag és energetikailag kevésbé igényes, ezért viszonylag előnyös a költség szempontjából is.

Hátránya viszont, hogy:

- mérgező anyagoknál hatástalan;
- nagy töménységű szennyezőanyagnál kevésbé hatásos;
- rossz vízvezető talajoknál kevésbé vagy egyáltalán nem hatásos;
- a túladagolt tápanyagoknak mellékhatása lehet (felszíni víz és ivóvíz szennyeződés);
- a mikrobiális biomaszának mellékhatása lehet;
- a mikrobiális anyagcseretermékeknek mellékhatásai lehetnek (íz- és szagrontó anyagok);
- a tartós, hosszú idejű hatások nem pontosan ismertek (az allochton mikroorganizmusok viselkedése még nem teljesen felderített).

3.2.4. Stabilizálási / szilárdítási módszerek

A módszer(csoport) a szennyezőanyag oldhatóságát, mozgékonyágát → szétterülését / kiterjedését akadályozza, valamint a toxicitását csökkenti. A **stabilizálás** - vagy **fixálás** - lényege a szennyezőanyag(ok) átalakítása kevésbé vízoldható vegyületté (ezen eljárások jórészt még kísérleti stádiumban vannak).

A **szilárdítással** végzett kármentesítés során az impregnált talajtömb áteresztőképességének csökkenésével a szennyezőanyag mobilizációjának veszélye drasztikusan csökkenthető.

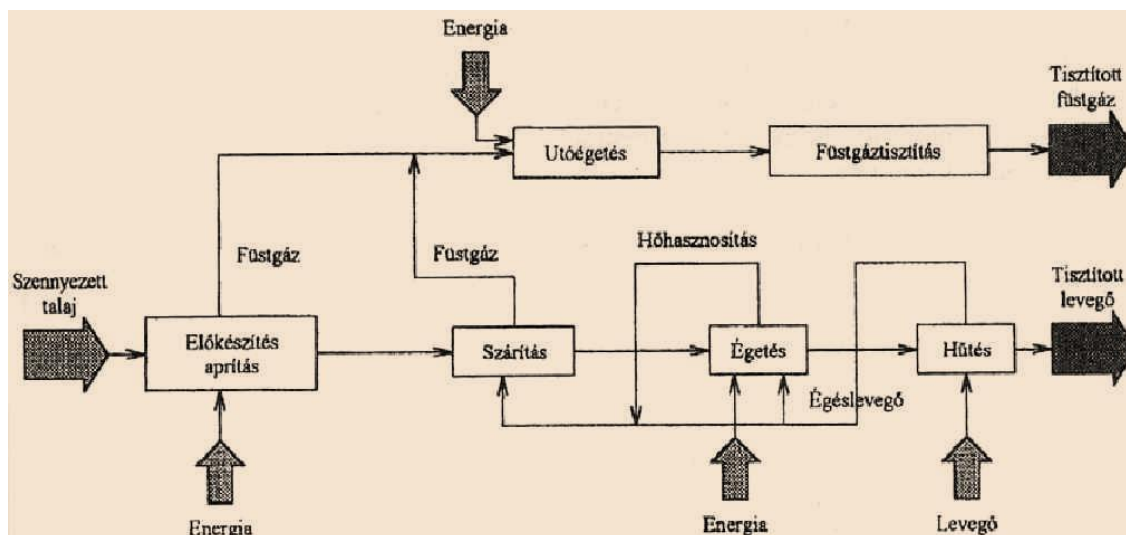
Az alkalmazott kötőanyag többféle lehet: vízüveg (amely szerves és CH-szennyezéseknél egyébként alkalmatlan), cementtej, mésztej, műanyagok stb.

3.3. A talaj kitermelésével járó kárelhárítási módszerek

Ezek a módszerek a földtani inhomogenitásokra és a szennyezőanyagok eloszlási jellemzőire **kevésbé érzékenyek**, viszont a területigény és a költségek magasabbak. A kitermelés-átrakás (-szállítás-deponálás) során újabb szennyeződési lehetőségek nyílnak.

3.3.1. Termikus eljárás

Oxidációval az összes szerves anyagot gázokká és vízgőzzé alakítják, amelyek füstgázként hagyják el a rendszert (3.6. ábra).



3.6. ábra A termikus talajtisztítási eljárás vázlata (Jessberger, 1991.)

Elsősorban a szennyezőanyag fizikai, kémiai és specifikus (pl. fertőző) tulajdonságairól szükséges előzetes ismeret, az **éghetőségi** jellemzőkön túlmenően.

Ilyen módon megnyugtatóan ártalmatlaníthatók az ún. **illékony vegyületek, komplexben kötött cianidok**, részeredmények vannak a **halogénezett szerves vegyületek** (PCB, klórozott növényvédőszer stb.) illetően, többnyire alkalmatlan a módszer a **nem illékony** vegyületek (nehézfémek, szervesetlen anyagok) dekontaminálására.

A berendezések **mobilisak, szemimobilisak** és **stacionerek**, működésük három technológiai fázist tartalmaz:

- talajelőkészítés (osztályozás, aprítás, szétválasztás - mechanikai jellegű);
- termikus kezelés (kiszáritás, szennyezők kiégetése, hűtés);
- füstgázkezelés /emissziós határértékek figyelembevételével - lásd nálunk a 11/1991. (V.16.) KTM. sz. rendeleteket/.

Előnyök:

- a mai technikai színvonal és ismeretanyag mellett a nagyhőmérsékletű elégetés révén a szerves szennyezőanyagoknak gyakorlatilag teljes eliminálása érhető el;
- a szennyezőanyagok nagy része ártalmatlanítódik;
- a módszer gyors és az esetek többségében végleges megoldást ad a veszélyhelyzet megszüntetésében;
- a hőcserélők révén a hulladékhő hasznosítható.

Hátrányok:

- nagyon nagy az energiafelhasználás (pl. 1 g szennyezőanyag elégetéséhez esetenként 999 g talajt kell ugyanolyan magas hőmérsékletre hevíteni);
- a füstgázok nem tökéletes kezelésénél fennáll a veszélye a levegőszennyezésnek;
- a nagy hőmérsékleten a talaj humusztartalma megsemmisül, a kiégett talaj biológiailag halottá válik;
- az eljárás egyike a legdrágábbaknak.

Amíg az égetés során a hőmérséklet általában 600-1200°C közötti, a **pirolízises** (hőbontásos) módszereknél 400-800°C. Ezek során az ártalmatlanító anyagot oxigénszegény - akár oxigénmentes - körülmények között (pl. inert gáz bevezetésével) kémiaiilag bontják le. Az energiaigény és a szükséges hőmérséklet az égetéshez képest **kisebb**, a termékek akár értékesíthetők is lehetnek, és jóval **kisebb** a légszennyezés lehetőségének **mértéke**.

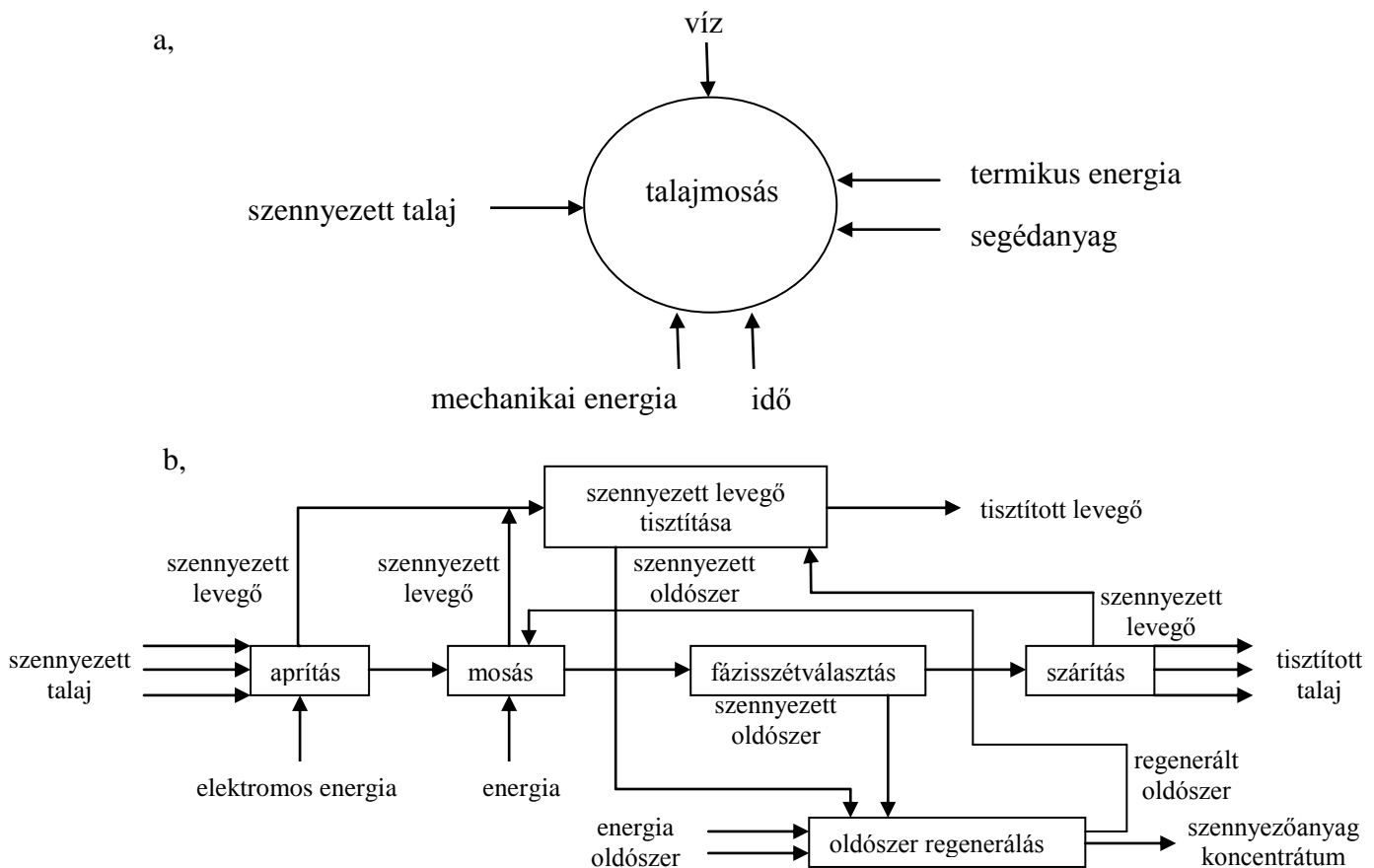
Komplexebb viszont a gáztisztítás, a szennyezett mosóvíz tisztítása és nagyobb lehetőség van a nem tökéletesen lebomlott termékek képződésének.

3.3.2. Talajmosás (extrakció)

Hatékonyságuk - érthetően - a már említett "in situ" alkalmazáshoz mérten a talaj kitermelt állapotában jobb, amelyet főként a fajlagos energiabevitel és a mosóoldat - talajszemcsék viszonylatában elért relatív mozgás határoz meg.

Az adalékanyagokat az adott szennyezőanyag jellemzői függvényében választják ki. A keletkező szennyvíz terhelése pl. a mechanikai energia (pl. nagynyomás vízszugárral történő) növelésével csökkenthető.

Az elv és a műveleti lépcsők a 3.7. ábrán láthatók.



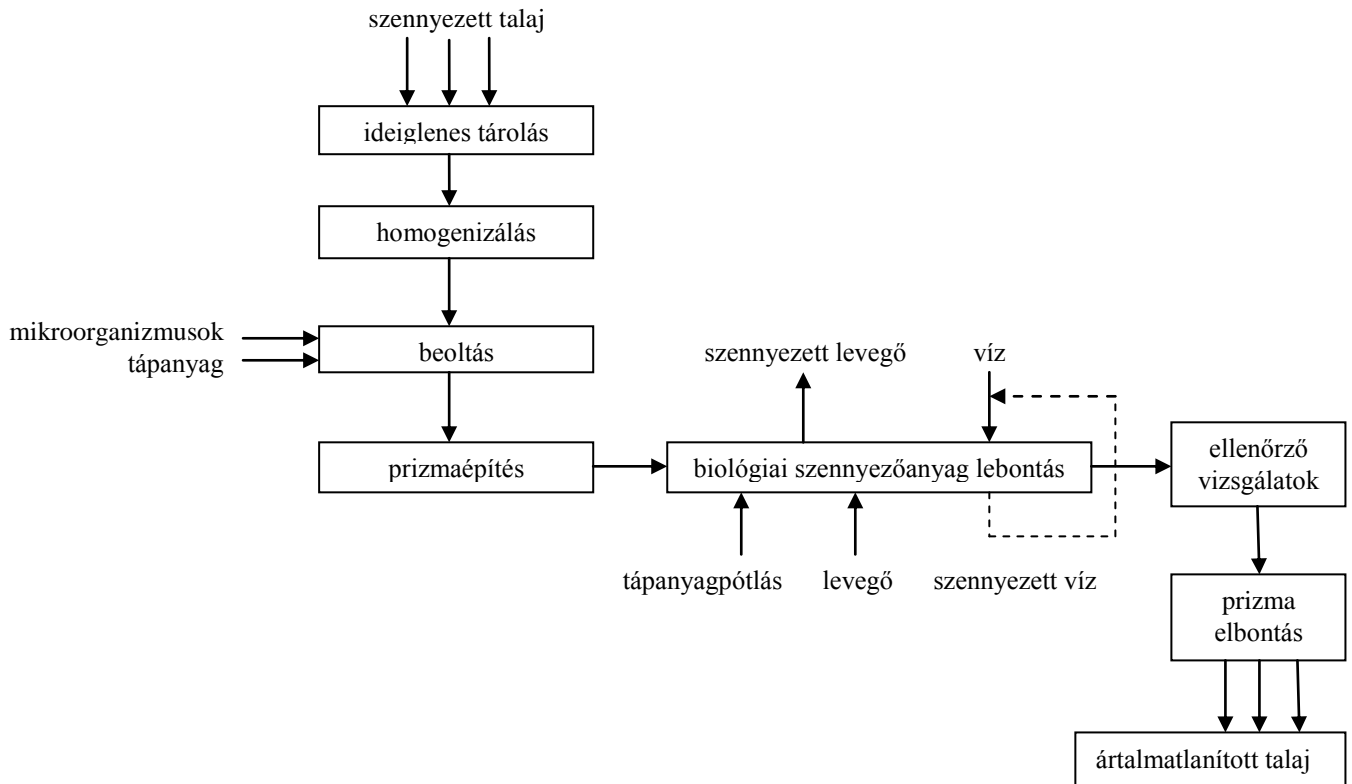
3.7. ábra A talajmosási eljárás elve a – fizikai alapelve, b – folyamatábra (Jessberger, 1991.)

3.3.3. Biológiai lebontás

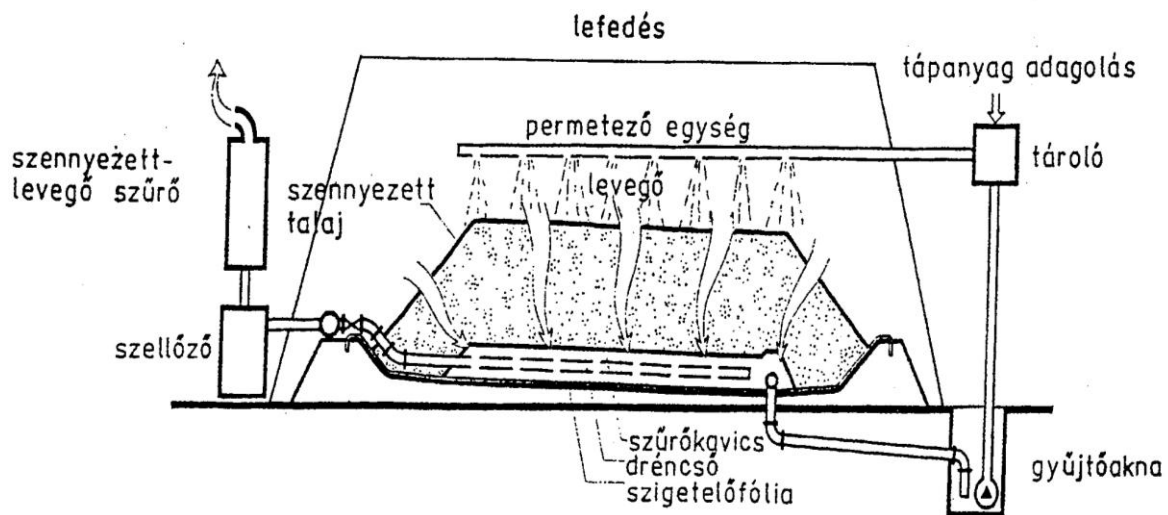
A szóban forgó (on site - off site) eljárásoknál a **kitermelt** szennyezett talajt homogenizálják, mikrobiológiailag kezelik és visszaépítik, deponálják vagy mezőgazdasági területre helyezik. Mivel a (szennyezett) talajt mechanikailag előkészítik, a hatások lényegesen javul, nem kis részben azért (is), mert a mikroorganizmusok aktivitása hatékonyan

kézben tartható, a tápanyagellátás, oxigénellátás szabályozása, valamint a talajnedvesség, pH, hőmérséklet stb. változtatása révén.

Az ilyen típusú kezelés elvi ábráját a 3.8., egy prizmás elrendezésű talajtisztítás elemeit pedig a 3.9. ábra ismerteti.



3.8. ábra Szennyezett talajok kezelésének elvi ábrája (Jessberger, 1993.)



3.9. ábra Prizmás rendszerű mikrobiológiai talajtisztítás (Hochtief-eljárás)

A módszer többnyire olcsó és kevés energiát igényel, a helyi adottságoktól viszonylag független. Ugyanakkor kis szennyezőanyag-koncentrációk mellett alkalmazható, és érzékeny a biotoxikus kísérőanyagokra.

3.3.4. Befoglalási módszerek

Ide értendők a kitermelt talajjal végzett **stabilizálási**, a **szilárdítási** és a **kapszulázási** módszerek egyaránt. A szennyezőanyagokat nem vonják ki a talajból, hanem immobilizálják azokat. Alkalmazásukhoz ismerni kell a szennyezés mértékét, a kísérő- és végreakciókat stb. Kötőanyagként cementet, pernyét, meszet és szerves polimereket használnak.

3.4. Hidraulikus védelmi módszerek

Önmagukban többnyire nem teljes értékűek, ideiglenesen - mint azonnali intézkedés -, vagy más módszerekkel (pl. talajmosás) kombinálva azonban eredményesek. Nem mindig a kármentesítést célozzák, sokszor a szennyezőanyagok továbbterjedésének hidraulikus gátlása, korlátozása a (pillanatnyi) feladat.

Az **aktív** eljárások során a talaj/rétegvíz süllyesztésével a szennyezett talaj/réteg/csurgalékvizet (oldatot) kitermelik, majd tisztítják.

A **passzív** módszerek kedvezőbb hidraulikai helyzet kialakításával a szennyezett talaj/rétegvízzel való szennyeződésterjedést akadályozzák meg vagy késleltetik azt.

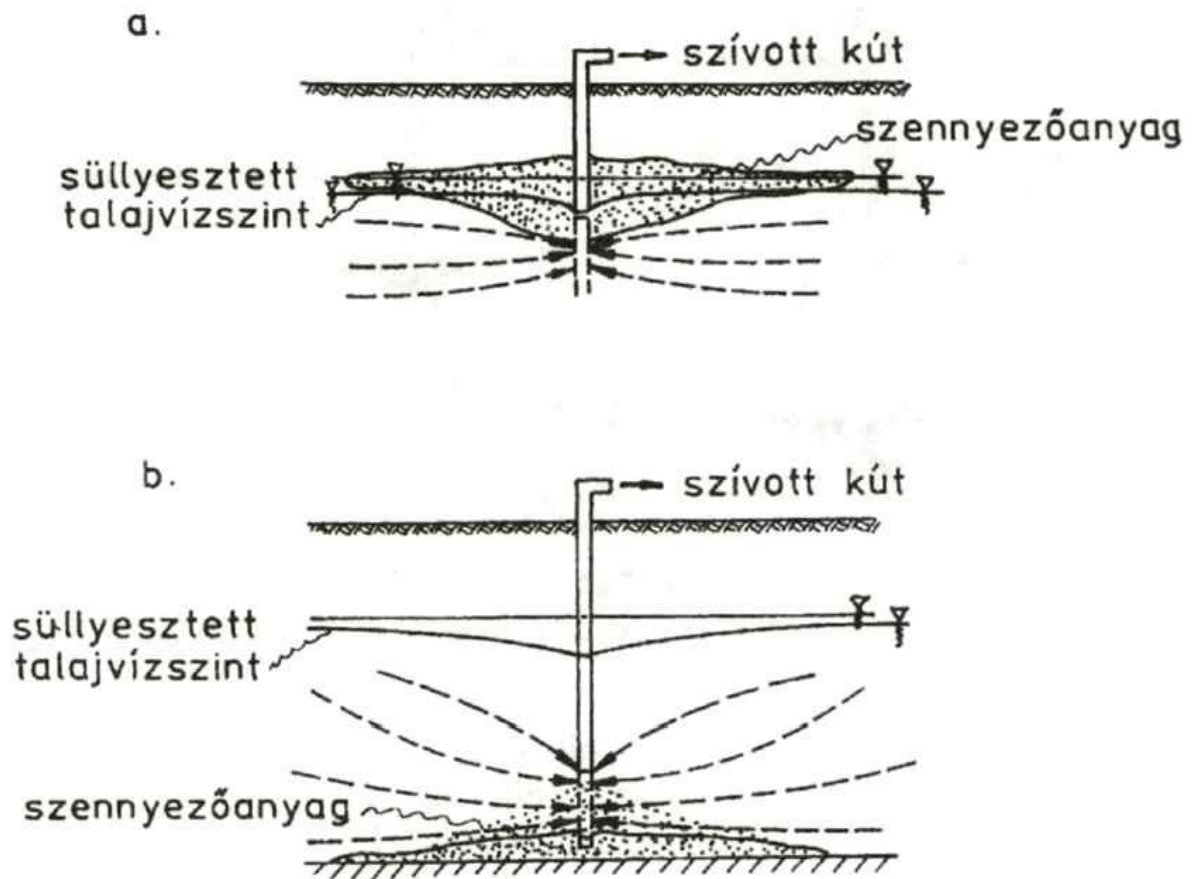
3.4.1. Aktív hidraulikai védelem

Ha a szennyezett talajtér fogat a talajvízszint fölötti, a szóban forgó módszer **csak akkor (lehet) hatékony**, ha a szennyezés a talajvízbe juttatható és azzal együtt mozog - lényegében a talajmosással való egyfajta kombinációjaként.

A szennyezésnek a vízben történő korlátozott (vagy kizárt) oldódásakor ha a szennyezett térfogat a telített zónában van -, két eset lehetséges:

- a szennyezőanyag (fázisban) a talajvíztesten viszik (CH-félék, pl. benzin, kerozin, fűtőolaj stb.);
- a szennyezőanyag - nagyobb sűrűsége folytán - a víztartó fekéjéig süllyed és ott gyűlik föl (pl. klórozott CH-félék).

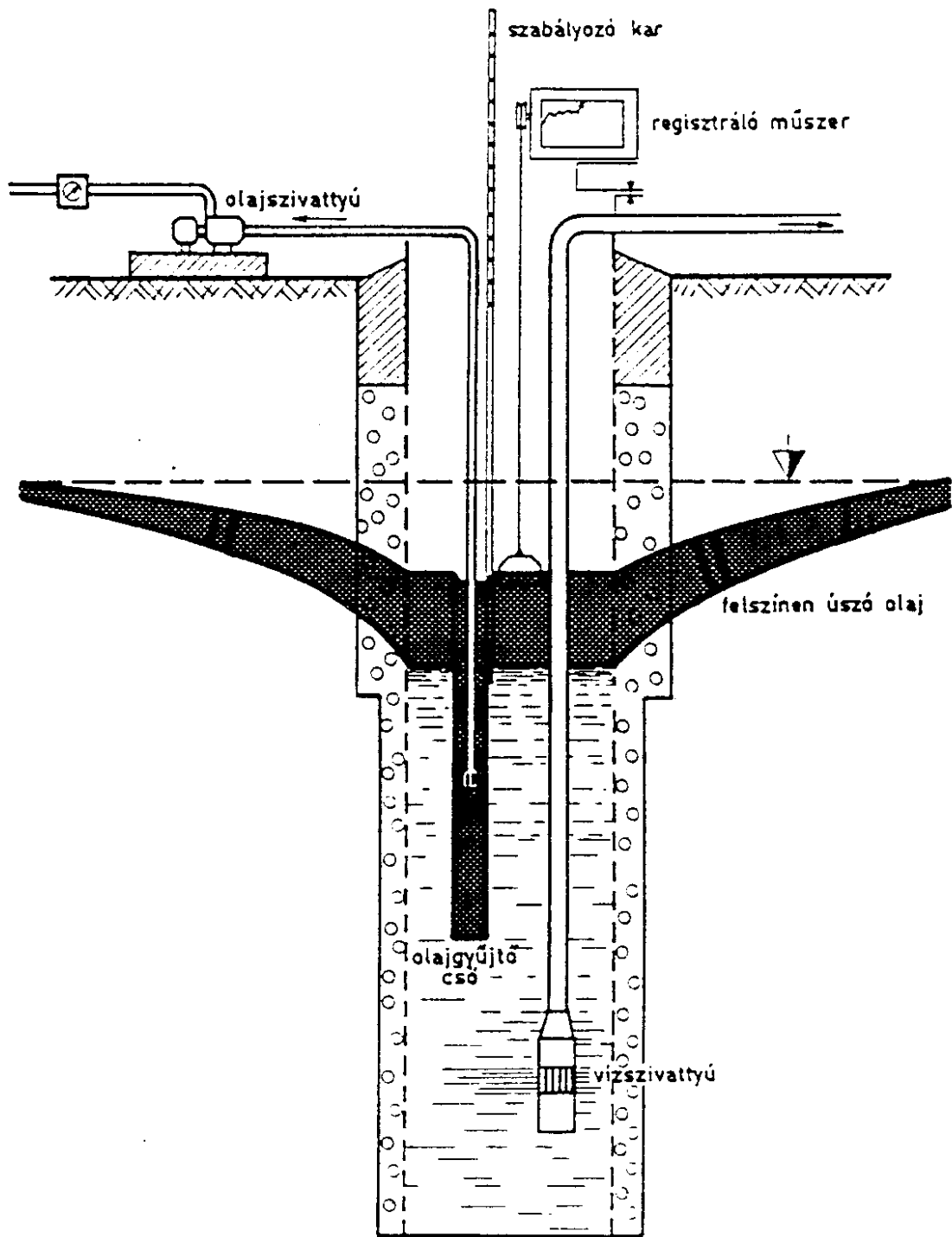
Az elvet és a (vízbányászati) alaplétesítményeket (kutak, szivárgók, galéria, kútcsoportok stb.) a 3.10.-3.11. ábrák szemléltetik.



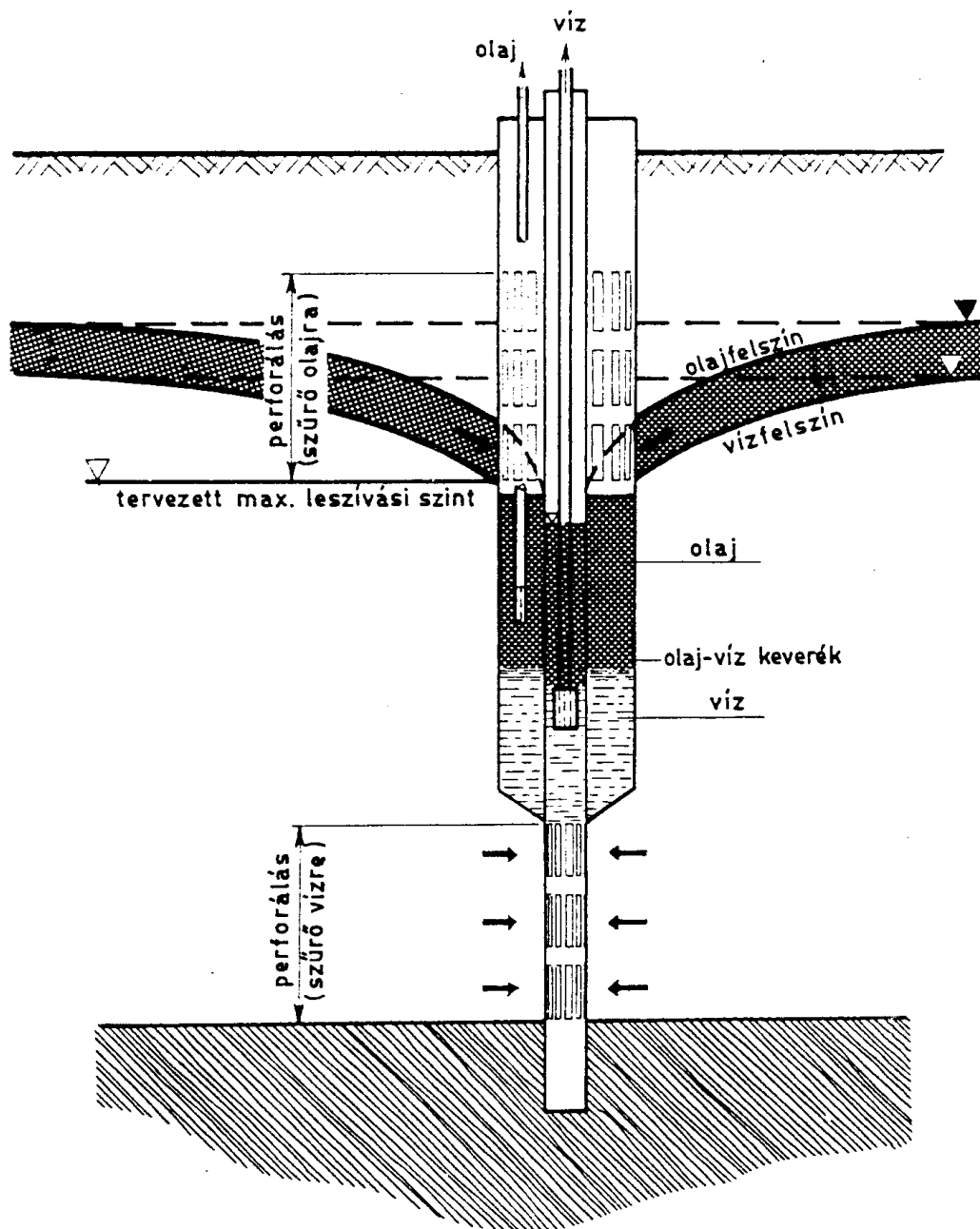
A szűrő helyzete:

- a:* a szennyezőanyag a víz felszínén úszik;
b: a szennyezőanyag nagyobb sűrűségű, mint a víz.

3.10. ábra Aktív hidraulikus védelem



3.11./a ábra A felszínen úszó olaj kitermelésre alkalmazható kút szerkezetének vázlata (V. Pelikán nyomán)



3.11./b. ábra Víz-olaj kitermelésre kiképzett kútszerkezet vázlata

Többnyire az eltávolítandó - úszó vagy alásüllyedt - szennyező folyadék túlzottan **nagy viszkozitása** és/vagy a szemcsékhez való **affinitása** - kötődése - jelent problémát. Amennyiben a szennyezőfolyadékot nem **külön rendszerrel** (pl. úszó fázis esetében akár automatikus lefőlözőkkel, leválasztókkal) emelik felszínre, hanem a vízzel alkotott keverékként, akkor azok **szétválasztásáról** is gondoskodni kell - a szennyezőanyag amúgy is szükséges ártalmatlanításán, és a vízben lévő oldott komponensek kivonásán kívül.

A hatékonyságban döntő szerepe van a vízföldtani viszonyoknak, a szennyezőanyag elhelyezkedésének és tulajdonságainak (fizikai, kémiai).

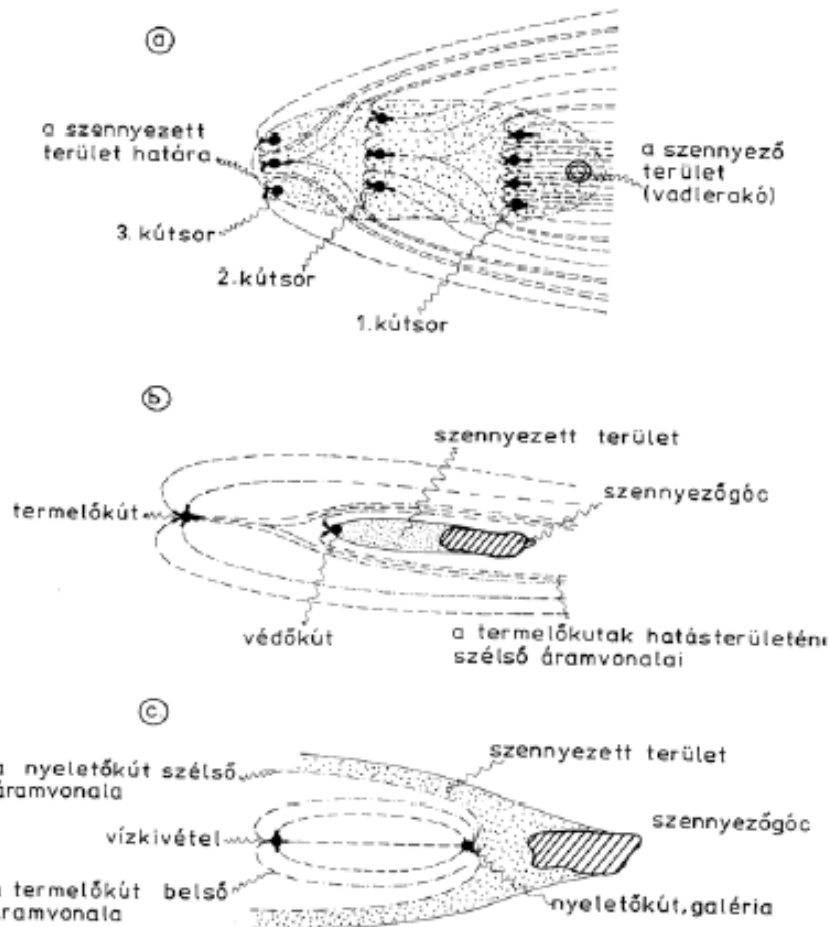
A módszer alkalmazását általában egyéb módszerek **kísérik** vagy **követik** (szétválasztás, szennyezőanyag-adszorpció, teljes vagy részleges körülzárás, permetezés, szennyezett talajtömb kiemelése, ártalmatlanítása stb.).

3.4.2. Passzív hidraulikai védelem

Gyors kivitelezhetősége és viszonylag alacsony költségei folytán többnyire **ideiglenesen** alkalmazzák, **más módszerekkel kombinálva**. Élettartama korlátozott, a kiemelendő vízhozam / mennyiség sok, ezt - esetleg - tisztítani is kell. Károsan befolyásolhatja az adott terület vízháztartását is.

Elsődleges cél a kedvezőbb áramlási irány kialakításával a további területszennyezés egyfajta "terelése", vagy megakadályozása a szennyezett gócban és/vagy annak környékén (védőkút / kútsor / galéria).

Néhány (telepítési) lehetőséget mutat a 3.12. ábra.



3.12. ábra A védőkutak elhelyezési lehetőségei passzív védelmi eljárás során (Weber, 1990.):

- nagy területet érintő szennyezés, intenzív talajvízáramlás, védőkutak a szennyezett területen belül;
- kis területet érintő szennyezés, védőkutak a szennyezett területen kívül;
- intenzív talajvízáramlás, termelő- és nyeletőkút a szennyezett területen kívül

3.5. A szennyezett területnek a környezettől való elszigetelése

A szennyeződés továbbterjedését akadályozzák meg önálló kialakításban, vagy egyéb, in situ-módszerekkel kombinálva. Az alapelv (+ technika) a mélyépítésben régóta ismert, környezetvédelmi alkalmazásuk a lehetőségek egyike. Lényegében a vízzáró (oldal) falat természetes adottságai folytán szintén vízzáró, vagy mesterségesen vízzáróan kialakított "altalajba" (fekübe) kötik - ez a "doboz" alja. Így a szennyezett (talaj)tömb egy önálló vízháztartással rendelkező térben van (marad).

Az elzárás technikai módszerei - részleteikben - már a **mélyépítés** tárgykörébe tartoznak, itt csak kivonatolva ismertetjük őket.

Szádfalak (ideiglenes megoldásként). Visszahúzhatók, a ki- és beépítés viszonylag gyors. Jelentős viszont a korrózióveszély, korlátozott a verési mélység és a(z) oldalirányú) vízzárás mértéke, megbízhatósága is.

Fagyasztott falak. Környezetbarát, relatíve gyors technika, viszont drága és korlátozottan alkalmazható.

Injektált falak. A hagyományos módszerek (pl. cementinjektálás) többnyire nem felelnek meg sem a vízzáróság, sem a gazdaságosság követelményeinek. A speciális, ún. "**jet grouting**" eljárás viszont szinte minden talajtípusban eredményes (jelenleg 40-50 m-es mélységig). A talajszerkezetet ("a fal helyén") **szétromboló** és a talajt (ott) **tömítőanyaggal** átkeverő technológia során 0,15 - 2,5 m közötti vastagságú vízzáró falakat hoznak létre a talajban.

Injektált függönyfalak. A vibrovevőkkel talajba juttatott gerendát visszahúzva, annak helyét - nagy nyomással - **tömítőiszap-szuszpenzióval** töltik ki. A keletkezett fal flexibilis, egyszerűen javítható, gazdaságos és a gázkomponenseket is szigeteli. Korlát viszont a sikeres vibrálási határmélység, a fal lágy talajban való sérülékenysége és a vibrálható talajtípus (szükséges) feltétele.

Résfalak. A talajba mélyített rés (pl. betonnal történő) kitöltésével hozzák létre őket, szakaszonként - kb. 30 cm-es - átfedéssel. Ha a rés állékonyságát biztosító, ún. résiszap megszilárdulva vízzáróságot is biztosít, **egyfázisú**, ha azt valamit más tömítőanyag-suszpenzióra cserélik, **kétfázisú eljárásról** van szó. Az elérhető mélység akár 160-170 m is lehet. A függönyfalnál drágább, és a réskiemelés során szennyezőanyagok juthatnak a felszínre.

Kombinált résfalak. A vízzáró falak építése során a szuszpenzióba a teljes megszilárdulást **megelőzően** szigetelőlemezeket (műanyag, vasbeton stb.) helyeznek. Az elemek közötti vízzárást speciális profilillesztés biztosítja.

A szennyezett terület lefedése / letakarása. Részleteit a **hulladékokkal** kapcsolatosan tárgyaljuk.

3.6. Kárelhárítás átrakással

A szennyezett talajt kitermelik és azt a célszerűen kialakított, biztonságos **lerakóba** helyezik. Ez a megoldás lehet adott esetben a **leggazdaságosabb**, a **leggyorsabb**, esetleg (ott és akkor) az egyetlen módszer. Előnytelen viszont az újabb veszélyforrást jelentő átrakás és szállítás tekintetéből, valamint a biztonsági (monitoring) és higiéniai követelmények oldaláról is.

4. Szennyeződésterjedés

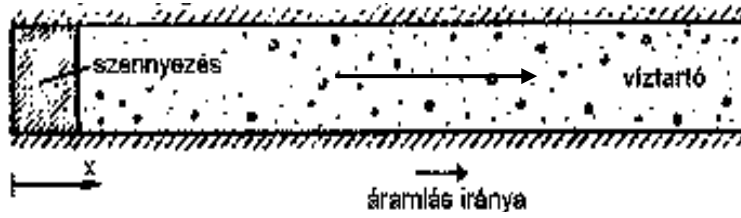
4.1. A (porózus közegben való) szennyeződésterjedésre vonatkozó számítások alapjai

Az akár depónia formáját öltő **potenciális** vagy **meglévő** szennyezőanyag idő- és térbeli koncentrációjának meghatározásához a szennyezőanyag-terjedés törvényeinek ismerete is szükséges. A valódi helyzetet legjobban közelítő transzportegyenletek felírását és azok analitikus vagy numerikus megoldását követően adható érdembeli válasz az előző mondatban felvetett problémára. E számítások használhatók pl. depóniák csurgalékvízeinek hatásszimulációjakor, hatásvizsgálatok során, vagy - bekövetkezett szennyezéseknél - a szennyezőanyagcsóva / pázsma tér- és időbeli alakulásának a meghatározására. Segítségükkel pontosabban és megbízhatóbban körvonalazhatók a szennyezett vagy szennyezésveszélynek kitett térrészek, idő nyerhető a beavatkozásra. Sokszor ez utóbbi dönti el az alkalmazandó technológiát, így e módszerek jelentőségét nehéz lenne túlbecsülni.

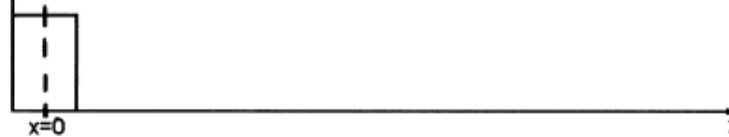
4.1.1. A (szennyező)anyagterjedés folyamatai

A vízben oldható szennyezőanyagok terjedését alapvetően két folyamat "vezérli": az **advekción** (konvekció), ami a fizikailag / kémiaiilag oldott anyagoknak történő tömeges áramlása és a **diszperzió** (a szennyezőanyag térbeli szóródása). Ez utóbbi részben a **diffúzióra** (eltérő töménységű és sűrűségű oldatok között / oldatokban a kiegyenlítődésig tartó mozgás), valamint a **mechanikus diszperzióra** vezethető vissza (amelyet pl. a szivárgási sebesség lokális eltérései válhatnak ki). Bizonyos kísérőfolyamatok **késleltetéshez** vagy a szennyezőanyag **lebomlásához** (degradációjához) vezethetnek. A transzportfolyamatok elemeit a 4.1. ábra ismerteti.

Szennyezőanyag eloszlása a $t=0$ időpontban



c_0 Koncentrációeloszlás a $t=0$ időpontban



Szennyezőanyag eloszlása $t>0$ időpontban

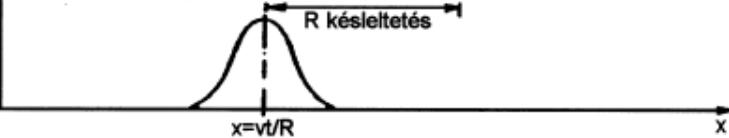
c konvektív transzport



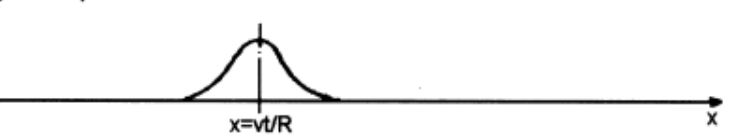
c konvektív-diszperzív transzport



konvektív-diszperzív transzport adszorpcióval



konvektív-diszperzív transzport adszorpciót és bomlást feltételezve

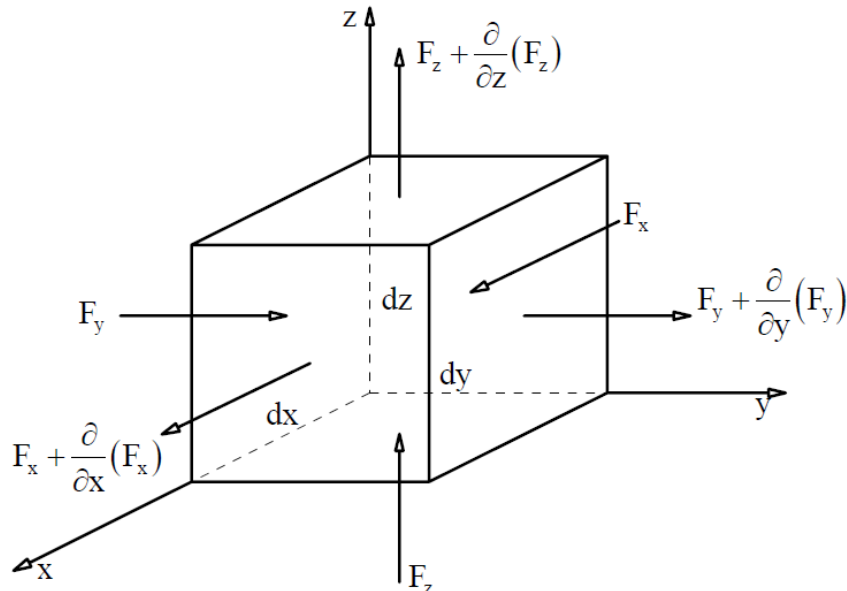


4.1. ábra A transzportfolyamatok jellegzetes elemei (Kinzelbach, 1986.)

4.1.2. Az oldott anyagtranszport mérlege

A szennyezőanyag-koncentráció időbeli alakulását a konvekció, diszperzió, adszorpció és degradáció mértéke szabja meg. Az elemi térfogatban (4.2. ábra) tárolt szennyezőanyag-mennyiség a be- és kilépő fluxusok különbségétől függ. Figyelembe véve az M anyagmennyiség-csökkenést:

$$\begin{aligned}
dM_{\text{tárolt}} &= \\
&= \left[F_x - \left(F_x + \frac{\partial}{\partial x} F_x \right) \right] dydz + \left[F_y - \left(F_y + \frac{\partial}{\partial y} F_y \right) \right] dx dz + \left[F_z - \left(F_z + \frac{\partial}{\partial z} F_z \right) \right] dx dy - M = \\
&= \left[\frac{\partial}{\partial x} (F_x) \right] dydz + \left[\frac{\partial}{\partial y} (F_y) \right] dx dz + \left[\frac{\partial}{\partial z} (F_z) \right] dx dy - M.
\end{aligned}$$



4.2. ábra Az elemi térrész szennyezőanyag-mérlege

A kémiai anyagáramlás meghatározói a **konvektív** anyagáramok, valamint a **diffúzió** és a **mechanikai diszperzió** formájában történő anyagtranszport, amelyeket többnyire az **adszorpció** és a **bojlás** befolyásol(hat). Az egyéb - kísérő - reakciók során bekövetkező változásokat a transzportmodellek általában nem veszik figyelembe.

A lehetséges kombinációkat is tekintve, szilárd-folyékony-légnemű szennyezőanyag háromfázisú (porózus) közegben való terjedésének / szétterülésének lehetőségei közül a legveszélyesebb párosítás a folyékony közegben / közeggel együtt történő mozgás. Ez nem jelenti azt, hogy más mozgástípusok nincsenek. Pl.: mozoghat a szennyeződés a pórusterben páráként (gázfázisként), a szennyező gáz(fázis) talajvízben oldott részeként, sőt még a talajban lévő szilárd szennyezőanyag (pl. hulladék) direkt mozgása is létezik - akár (együtt)szállítás, akár egy szennyezett talajdeponia rézsúcsúsúzása formájában. (A szél által a szeméttelről elsodort papírhulladék vagy pernye már a **levegőben** terjedő szilárd fázisú szennyeződés elsőre talán kissé furcsa példája.)

4.1.3. A konvektív anyagáram

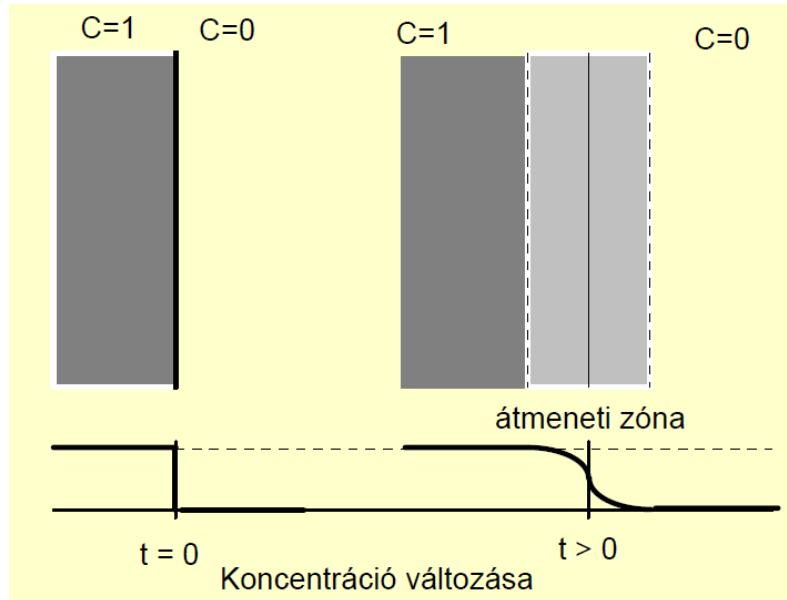
Az oldott anyagnak a (talaj)vízzel való együttes (tömeg)áramlása az **advekciónak**, amely a **potenciális erőtér** által keltett mozgás - a hő kizárásával. (Fizikailag t.i. a **konvekciónak** hőmérsékletkülönbség gerjeszti.)

A konvektív tömegáram a közegben jellemző átlagos szivárgási sebesség (v) és a C (koncentráció) szorzata.

$$\begin{aligned}
F_{x, \text{konvekciónak}} &= v_x \cdot C \\
F_{y, \text{konvekciónak}} &= v_y \cdot C \\
F_{z, \text{konvekciónak}} &= v_z \cdot C
\end{aligned}$$

4.1.4. A diffúzió

A (térbeli) kémiai potenciálkülönbségek hatásaként, izoterm körülmények között kialakuló anyagáram. Ha a potenciálkülönbségek a koncentrációból fakadnak, **közönséges diffúzióról** (4.3. ábra), ha elektromos természetűek, **kényszerdiffúzióról** van szó.



4.3. ábra A koncentráció változása

A Fick I. törvény három komponensre:

$$F_{x, \text{diff.}} = - D_{\text{eff}} \frac{\partial C}{\partial x}$$

$$F_{y, \text{diff.}} = - D_{\text{eff}} \frac{\partial C}{\partial y}$$

$$F_{z, \text{diff.}} = - D_{\text{eff}} \frac{\partial C}{\partial z}, \text{ ahol}$$

D_{eff} : az effektív (látszólagos) diffúziós együttható ($D_{\text{eff}} < D_0 <$ vizes közegben)

A D_{eff} értéke egyenesen arányos a D_0 értékével, a tortuozitással (= tekervényesség) pedig fordítva arányos. **Humble** nyomán

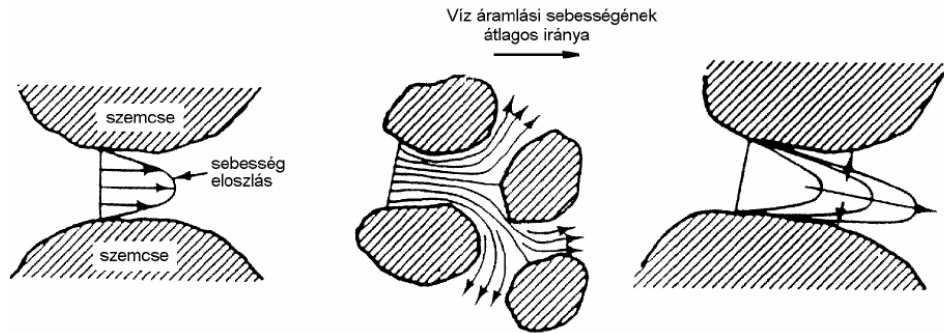
$$\tau = \sqrt{0,62n^{-1,15}} \text{ (Juhász, 1976)}$$

A D_{eff} értékét jelentősen befolyásolja a nedvességtartalom és a szerkezet / pórusméret (eloszlás) is. Modellszámításokban a Gillham-formulát alkalmazzák:

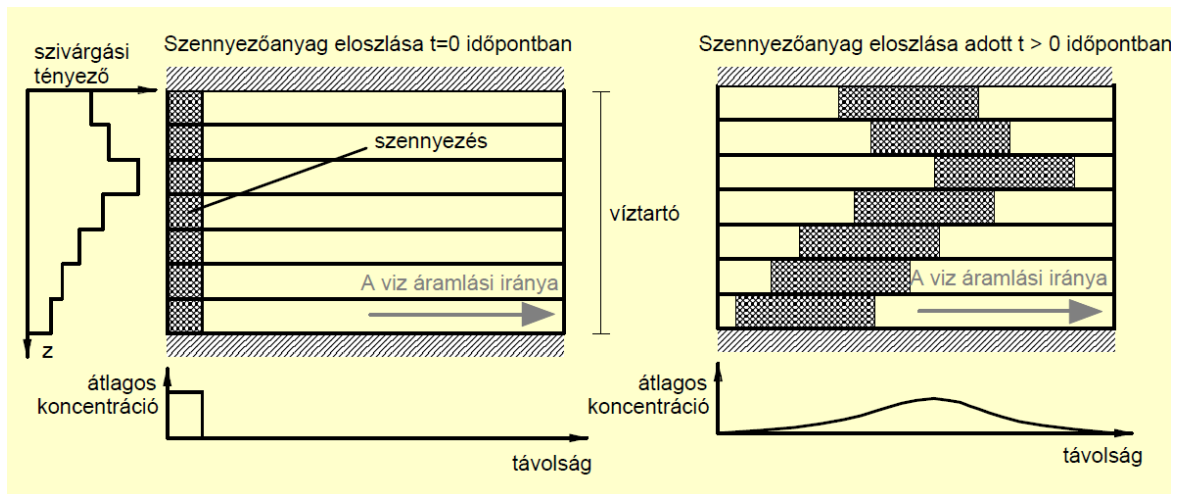
$$D_{\text{eff}} = D_0 \cdot \tau$$

4.1.5. A mechanikai (hidrodinamikai) diszperzió

Okait a 4.4. ábra világítja meg, az egymástól különböző hidraulikai jellemzőjű földtani rendszerekben kialakuló makrodiszperziót pedig a 4.5. ábra szemlélteti.



4.4. ábra A mechanikai diszperziót előidéző jelenségek (Bear-Verruijt, 1987.)



4.5. ábra A szennyezőanyag makrodiszperziójának folyamata (Kinzelbach, 1986.)

Pl.: Háromdimenziós víztároló x irányú szivárgására az alábbi fluxusegyenletek írhatók föl:

$$F_{x, \text{ mech. diszperzió}} = - D_x \frac{\partial}{\partial x} (\theta C)$$

$$F_{y, \text{ mech. diszperzió}} = - D_y \frac{\partial}{\partial y} (\theta C)$$

$$F_{z, \text{ mech. diszperzió}} = - D_z \frac{\partial}{\partial z} (\theta C),$$

ahol $D_x = \alpha_L v_x$; $D_y = \alpha_T v_y$; $D_z = \alpha_T v_x$ és

α_L , α_T pedig a longitudinális és transzverzális diszperzivitás,

θ : a víztartalom tf. százalékban.

Laborvizsgálati eredmények híján a mechanikai diszperziós tényezőre a $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ értéket ajánlják. Empirikusan (Perkins-Johnston, 1963):

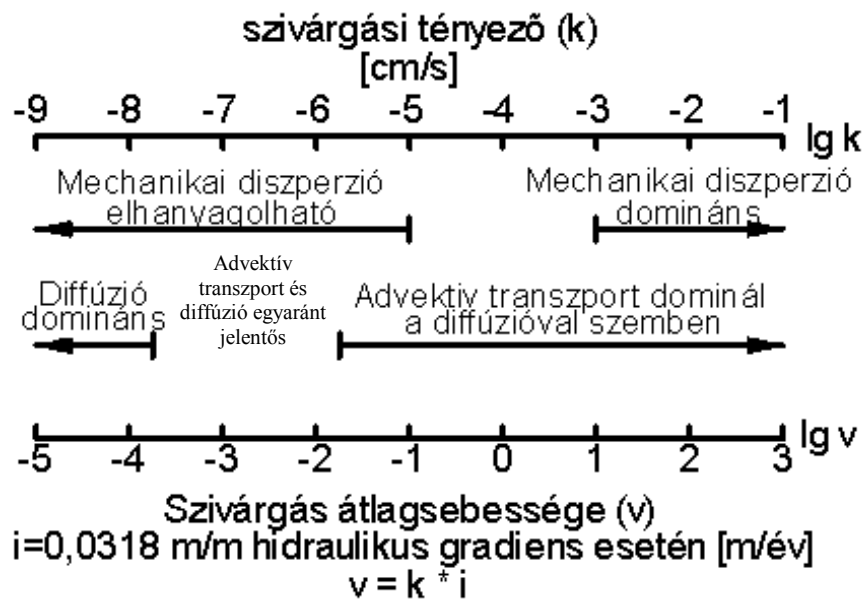
$$D_{\text{mech. diszperzió}} = 1,75 \cdot d \cdot v, \text{ ahol}$$

d : mértékadó szemcseátmérő (m-ben),

v : a szivárgás átlagos sebessége (m/s).

A $D_{\text{mech. diszp.}}$ nomogramokkal is meghatározható (lásd Vízügyi Műszaki Segédlet - VMS 299-83 → 1984).

A jelenség figyelembevételének szükségessége a szivárgási tényezőnek (is) függvénye (4.6. ábra). A további részletek a szakirodalomban hozzáférhetők.



4.6. ábra A konvektív transzport, a diffúzió és a mechanikai diszperzió okozta anyagáramlás összevetése a szivárgási sebesség (szivárgási tényező) függvényében (Rowe, 1987.)

4.1.6. Az adszorpció

A szennyezőanyag felületi (reverzibilis) megkötődését jelenti. Ellentéte a **deszorpció** (oldatba jutás).

Az elemi térfogatban bekövetkező koncentrációváltozás az alábbi:

$$\left. \frac{\partial(\theta C)}{\partial t} \right|_{\text{szorpció}} = -\rho_b K_d \frac{\partial C}{\partial t}, \text{ ahol}$$

ρ_b : a porózus közeg sűrűsége,

K_d : az egyensúlyi folyamat megoszlási együtthatója.

4.1.7. A bomlás

Radioaktív bomlásként leírva a folyamatot:

$$(\theta C + \rho_b \cdot K_d \cdot C)_t = (\theta C + \rho_b \cdot K_d \cdot C) e^{-\lambda t}$$

Baloldal: az oldott anyag mennyisége egy jövőbeli t időpontban, a **jobboldali** t_0 időpontot kiindulásként, C szennyezőanyag-koncentrációt és λ (szennyezőanyag-)bomlási állandót tételezve föl.

Fizikából: Ha a felezési idő T,

$$e^{-\lambda F} = \frac{1}{2}, \text{ azaz}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}$$

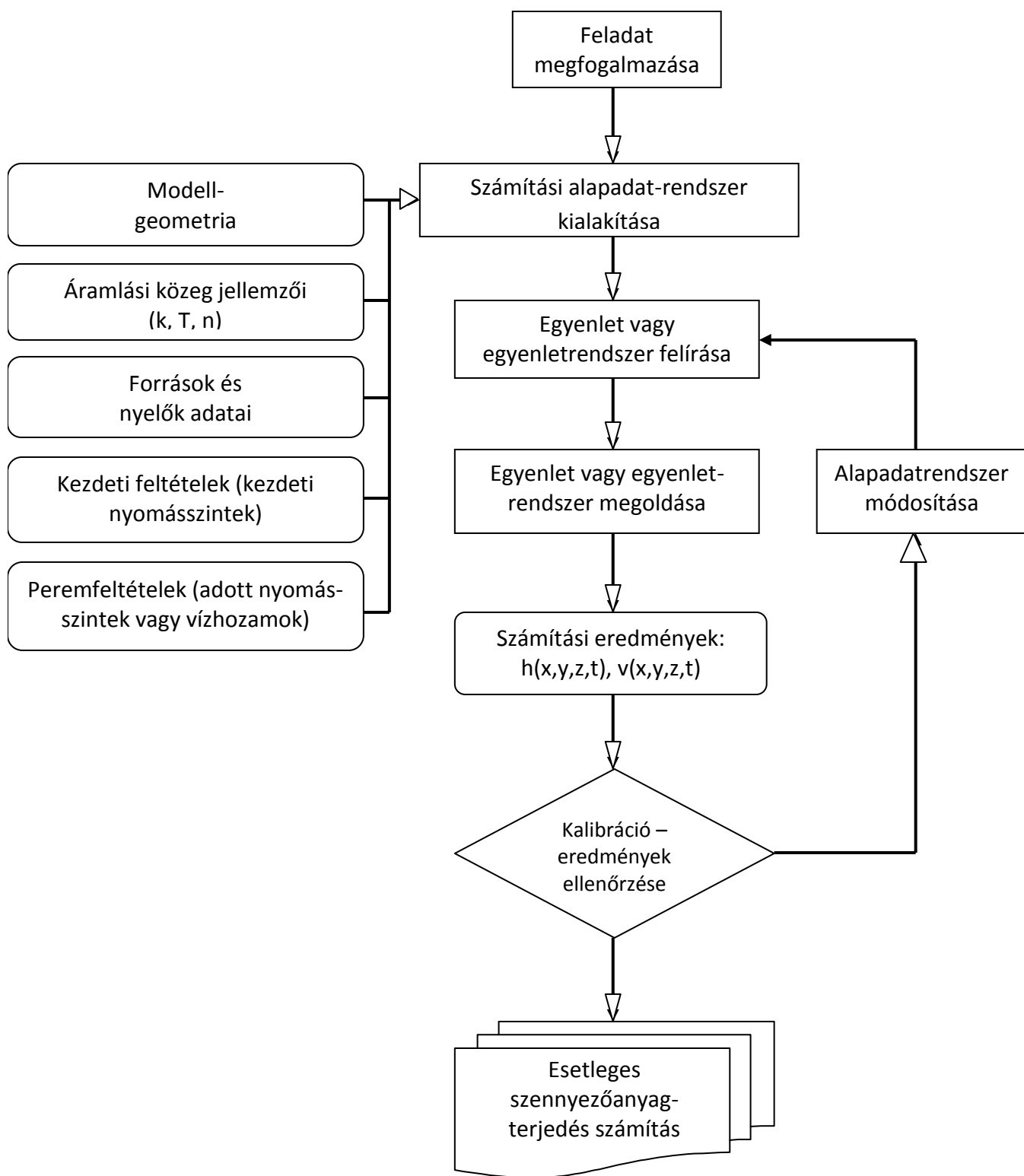
4.1.8. Az általános transzportegyenlet

A tömegmegmaradás feltételezésével, figyelembe véve a szorpciós és bomlási folyamatokat, x-tengellyel párhuzamos (fő) áramlási irányt tekintve, **telített** ($\theta = n$) közegben:

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_x C}{n} \right) - \lambda RC$$

ahol $R = 1 + \frac{\rho_b K_d}{n}$.

Az előbbi egyenlet általános irányú áramlásra felírt alakját itt nem tárgyaljuk. Nem részletezzük a **numerikus** (véges differencia, végeselem) módszereket és **szemianalitikus** (karakterisztika, véletlen bolyongás) megoldások elveit sem. Érzékeltetésül a modellezés lépéseit a 4.7. ábra mutatja.



4.7. ábra A szivárgáshidraulikai modellezés lépései

A számításokhoz szükséges adatbázisnak, a használt modell kalibrációjának, a várható szórásoknak, hibáknak az elemzése, diszkussziója is a feladathoz tartozik. Ezek részletei azonban mesze túlnőnek a tantárgyi követelmények korlátain.

4.2. A talaj(-talajvíz) szénhidrogén-szennyezése

A kőolaj és származékai nemcsak **energiahordozóként**, hanem az ipari tevékenység csaknem teljes körét (gépek, gépgyártás, motorizáció stb.) érintő **kenőanyagként** is az egyik legjelentősebb veszélyforrás a talaj és a talajvíz szempontjából - világméretben ugyanúgy, mint hazánkban. (Becslések szerint nálunk az ebből fakadó, felszín alatti tárolók, tartályok formájában létező potenciális szennyezőforrások száma 300 000 körüli.) Alapvető szempont a már megismert körülményeken kívül a **robbanásveszélyességük** (benzin, nyersolaj, turbinaolaj, kerozin, tolnol, xylol stb.). Óriási károkat okoznak felszíni vizeken is - az óceánokon, tengereken, élővizeken bekövetkezett **haváriák** egy részéről az Olvasó is hallhatott. (Jellemző, hogy az úszó olajréteg szemmel érzékelhető legkisebb vastagsága kb. 4×10^{-5} mm - ezt akár mindössze 40 l olaj is okozhatja, egy hm^2 felületen.) Vízben oldódva - részben a kellemetlen szaghatás folytán - 1 l olaj egymillió liter vizet tesz ihatatlanná.

A talaj a CH-származékok - továbbiakban olajok - egy részét **is** képes visszatartani, lekötni. Irodalmi adatok nyomán a **4.8. táblázat** az egyes talajtípusok olajvisszatartó képességét adja meg l/m^3 -ben, és a relatív olajtartalom (a tényleges olajtartalom és a teljes hézagtérfogat hányadosa) %-ában (r_0).

Talaj	Szivárgási tényező k (m/s)	Hézagtérfogat r_0 (térf. %)	Olajvisszatartó képesség s_0 (l/m^3)
Kavics	10^{-2}	2–3	5
Homokos kavics	10^{-2}	2–3	8
Durva homok	10^{-3}	3–4	15
Közép k. homok	10^{-4}	5–6	25
Finom homok	10^{-5}	6–8	30
Iszap	10^{-6}	10–15	40

4.8. táblázat Az egyes talajok olajvisszatartó képessége

4.2.1. Geometriai jellemzők

Ha a felszínre öntött olaj F területen terjed(t) szét és ezzel azonos felülettel szivárog lefelé, az olajbeszivárgás mélysége közelítően:

$$h \text{ (m)} = \frac{V_0 \text{ (m}^3\text{)}}{F \cdot \left[\text{m}^2 \right] \cdot n \cdot r_0} = \frac{V_0 \text{ (l)}}{F \text{ (m}^2\text{)} \cdot s_0 \text{ (l/m}^3\text{)}}$$

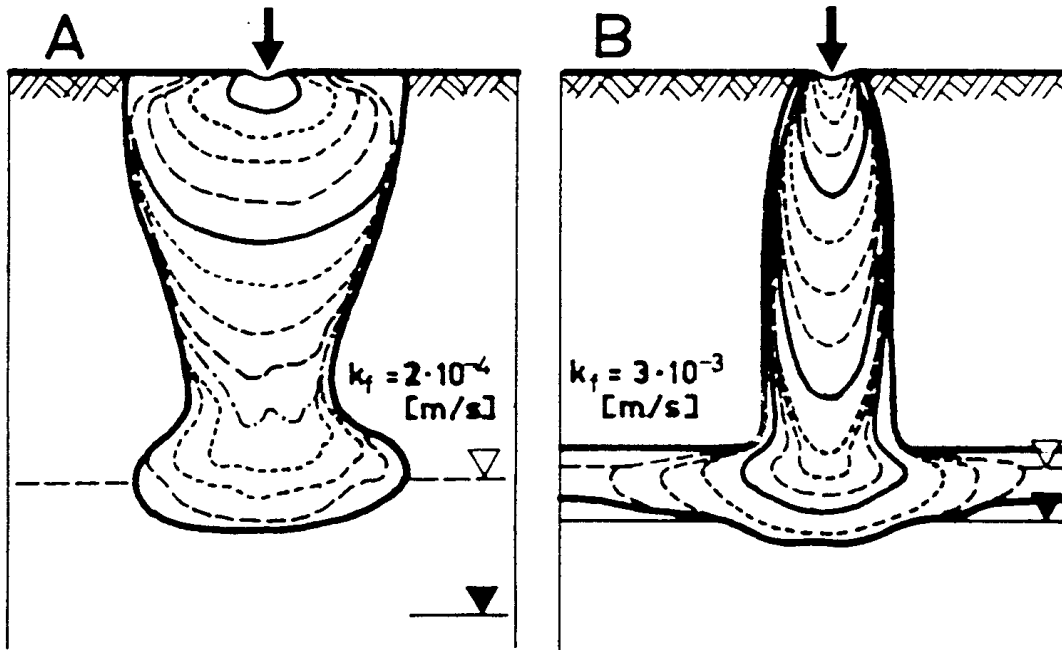
n : a talaj hézagtérfogata

V_0 : a kiömlött olaj térfogata

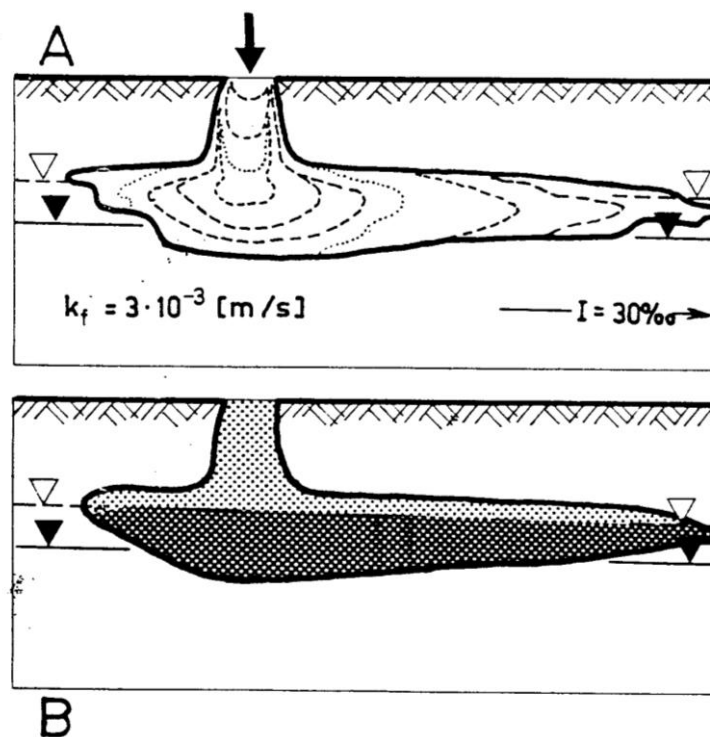
A felszíni szennyeződés után - ha van utánpótlás és a réteg átteresztő - az olaj **beszivárogva** eléri a kapilláris zóna vagy a talajvíz szintjét, amelyen szétterülve ("úszva/lebegve") az esés irányában megindul a **vízzel nem elegyedő fázis** szivárgása (oldalirányban). A vízben oldott rész mozgása a **hidrodinamikus diszperzió** törvénye szerinti.

Ha a talaj visszatartó-képességénél kevesebb olaj(származék) szivárog le, az csak a beszivárgó vízzel közvetítve jut(hat) a talajvízbe, fázisban szivárogva nem. Ellenkező esetben

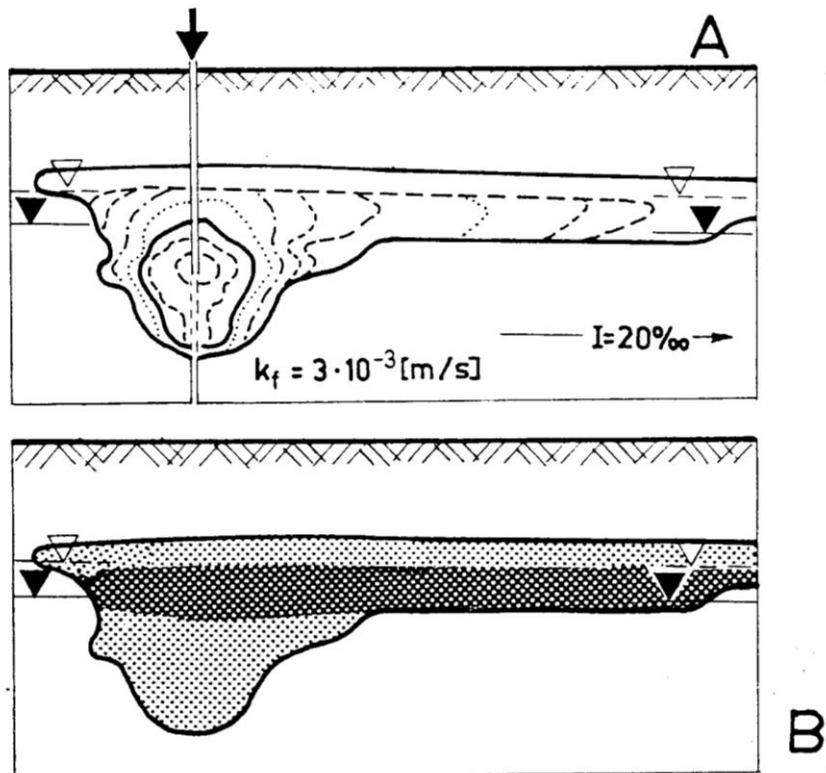
eléri a talajvíztestet. A szivárgó folyadéktest geometriája az adott olajszármazék **viszkozitásának** (így a hőmérsékletviszonyoknak), az **utánpótlás mértékének / jellegének** (felszíni, felszínalatti stb.) és a **talajjellemzőknek** (szemcseátmérők és azok arányai → áteresztőképesség, hidrogeológiai viszonyok stb.) **egyaránt függvénye**. A lehetőségek egy részét a 4.9.-4.10.-4.11. ábrák szemléltetik.



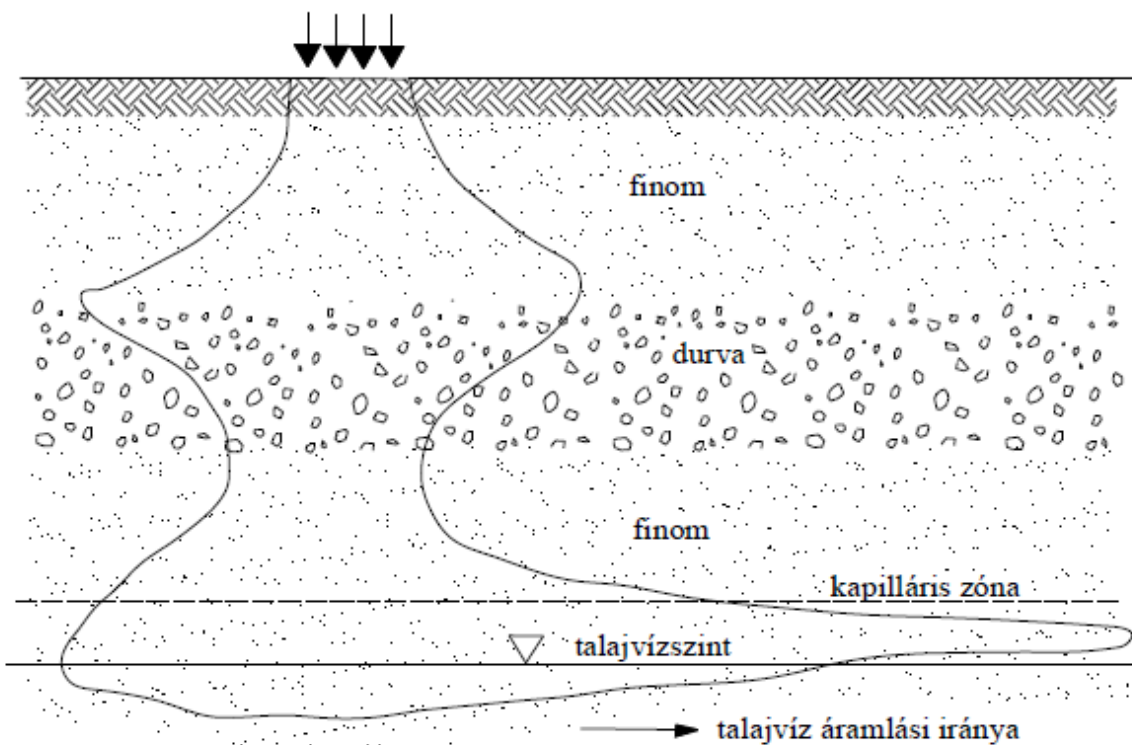
4.9. ábra A beszivárgó olajtest idealizált alakja különböző áteresztő-képességű talajokban (F. Shwille nyomán)



4.10. ábra Esésben levő talajvíz hatása a beszivárgó olajtest eloszlására



4.11. ábra A beszivárgó olajtest alakulása nem a felszínről történő olajbeszivárgás esetében



4.12. ábra A rétegzettség hatása a beszivárgó olaj eloszlására

4.2.2. A talaj CH-re átszámított szivárgási tényezője

Az áteresztőképesség (K) és a szivárgási tényező (k) kapcsolata:

$$K \cdot \frac{g}{v} = k$$

v : kinematikai viszkozitás (m²/s)

Vízre $K = 10^{-7} k_v$

CH-re $k_0 = 10^{-6} \cdot \frac{k_v}{v_0}$ (telített esetben).

Ha a CH-tartalomra nézve a talaj telítetlen, az Irmay-féle összefüggéshez hasonlóan a szivárgási tényező

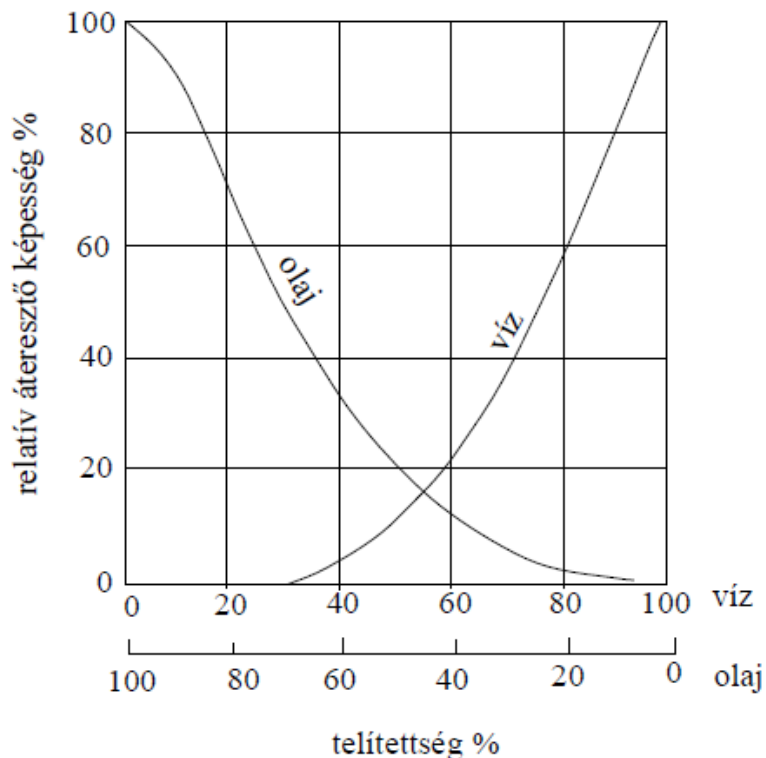
$$k_0' = k_0 \left(\frac{o - o_k}{n - o_k} \right)^{3,5}$$

n : a talaj hézagtérfogata

o : a talaj olajtartalma

o_k : $n \cdot r_0$ (r_0 a 4.8. táblázatból)

Ez a közelítés csak a kedvezőbb áteresztőképességű talajok esetében elfogadott, valójában az eredmény a talaj víztartalmától is erősen függ (4.13. ábra).



4.13. ábra A relatív áteresztőképesség a különböző víz- és olajtelítettség függvényében

4.2.3. Leszivárgás a talajvíz szintjéig (közelítés)

Feltételezve, hogy a felszínen szétterült olaj vastagsága z , az x mélységbe szivárgó olajra az esés (I):

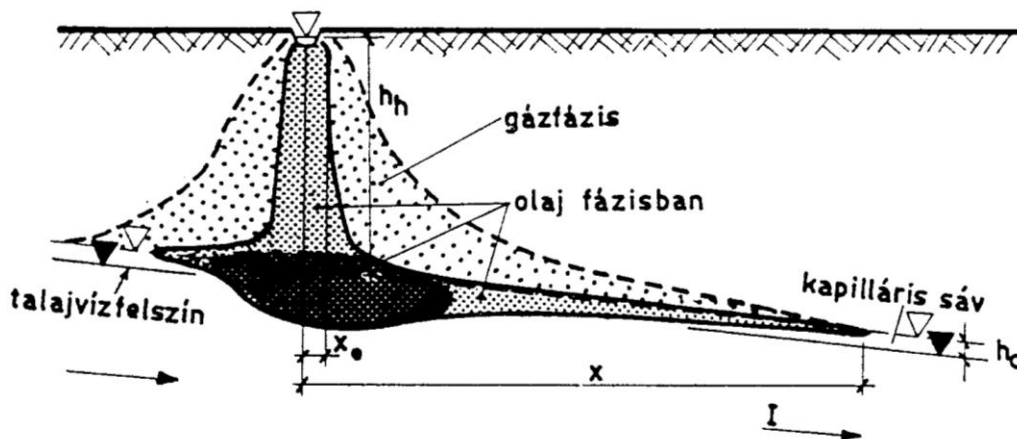
$$I = \frac{z + x}{x},$$

a szivárgási sebesség pedig

$$v_0 = k_0' \cdot I.$$

A lejutáshoz szükséges t idő az x/v_0 arányából számítható. (Beszivárgáskor az olajtelítettséget - esettanulmányok alapján - 70-80%-ban ajánlatos felvenni.)

A természetes (pl. évi vízjárás) vagy mesterséges (pl. szivattyúzás) úton bekövetkező vízszintingadozás az olajlencsét "széthúzza", elteríti - az ingadozási tartományban az olajtelíttség általában az olajvisszatartó képességgel azonos. A helyzet bonyolultságát (akár olaj + gáz + víz + levegő + talaj ötfázisú rendszerét) a 4.14. ábra érzékelteti.



4.14. ábra Az olaj, ill. a gázfázis elhelyezkedése, felszínről beszivárgó olaj esetében

4.2.4. A fázisba történő vízszintes áramlás sebessége

Homogén és izotróp talajadottságok mellett a legnagyobb talajvízesés irányában

$$v_0 = k_0 \left(I + \frac{h_h + h_c}{x \ln \frac{x}{x_0}} \right), \text{ ahol}$$

x_0 : a beszivárgási forrás sugara

I : a talajvíz(szint) esése

x : a CH által az esés irányában megtett út

Az áramlással szemben

$$v_0 = k_0 \left(I - \frac{h_h + h_c}{x \ln \frac{x}{x_0}} \right)$$

A számítások az oldalirányban szivárgó olaj szétterülési szögét (függőleges értelemben) 10^0 körülnek fogadják el.

Az oldott állapotban diszperzió hatására történő koncentrációs számítások (a koncentráció mint hely és idő függvénye) összefüggései jóval összetettebb jellegűek. Ehelyütt mindössze ezek egyik közelítő számításokra alkalmas változatát említjük:

$$l^{(+)} = \frac{q}{4Dc\pi}, \text{ ahol}$$

$l^{(+)}$: az a távolság az áramlás irányában, amelyen belül az adott koncentrációnál (c) csak nagyobbak fordulnak elő;

q : az olajutánpótlás (olajhozam) l/min-ben, vagy m³/sec-ban;

D : a diszperziós tényező.

A vízben oldott CH általában gyorsan lebomlik, ugyanez nem mondható el a fázisban lévő olajlencsére. Tapasztalatok szerint esetenként több mint három évtized sem elegendő a teljes lebontáshoz (feltételezve, hogy egyéb módszereket - pl. lefölközés - nem alkalmaznak).

* * *

Irodalomjegyzék a 2-4. részhez

Felszín alá süllyesztett CH-tartályok - mint potenciális talaj- és talajvízszennyező források - szivárgásvédelmére vonatkozó technológiák. (Diplomaterv, kézirat, SZIF, Környezetmérnöki Tanszék, 1996)

Hulladékgyűjtés. (SZIF, Környezetmérnöki Tanszék, Győr, 1995)

Hulladéklerakók építése, tervezése. (SZIF, Környezetmérnöki Tanszék, Győr, 1995)

Olajkár a talajban. Kézikönyv a talaj, talajvíz CH-szennyezésének elhárítására. (Kézirat, KGI, Bp. 1992)

Szabó Imre(- Kovács Balázs): Hulladékelhelyezés I-IV. (Kiadó: Ipar a környezetért Alapítvány, 1995)

Szlabóczky Pál: Új, korszerű geológiai vizsgálati módszerek a mélyépítésben I-II-III. (Műszaki fejlesztési kiadvány, MELYEPTERV, 1989-1990, 1992)

Ulrich Förstner: Környezetvédelmi technika. Springer Hungarica Kiadó Kft. 1993)

Ábrajegyzék

1.1. ábra A talajmechanikai, mérnökgeológiai és kőzetmechanikai feladatok színtere a földkéregben	8
1.2. ábra A feltalaj abiotikus és biotikus komponenseinek relatív mennyisége, Jackson és Tischler nyomán ...	9
1.3. ábra A talaj abiotikus alrendszere	9
1.4. ábra Négy gyakran használt szemcsefrakció-beosztás összehasonlítása	10
1.5. ábra A fizikai talajféleség megjelölése a szemcseösszetétel százalékos értékei alapján.....	11
1.6. táblázat A talajok osztályozása a szemcseösszetétel alapján (Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete alapján)	12
1.7. ábra A morfológiai szerkezet elemei.....	13
1.8. ábra A talajok alapvető vízgazdálkodási típusai.....	14
1.9. ábra Különböző mechanikai összetételű talajok pF-görbéi és az azokról leolvasható jellemzők	15
1.10. ábra A talaj vízgazdálkodásának jellemzői	16
1.11. ábra A talaj nedvességforgalmának tényezői.....	17
1.12. táblázat Néhány anyag fajhője és hőkapacitása	20
1.13. ábra A genetikai és talajföldrajzi talajosztályozás fő típusainak kapcsolata	22
1.14. ábra A főbb talajtípusok elterjedése hazánkban.....	24
1.15. ábra A fotoszintézis vázlata (ATP: adenzin-trifoszfát, NADPH ₂ : redukált piridin-nukleotid)	28
1.16. ábra A természetes és gyorsított letarolás, valamint a felszínformáló közegek vázlata Schmidt, R. G. (1979) szerint	29
1.17. ábra Az erózió tényezői	31
1.18. ábra A levegőmozgás által „görgetve” szállított szemcse sík lapon	33
1.19./a ábra A deflációnak erősen kitétt homokterületek	35
1.19./b Talajpusztulás Magyarországon (Stefanovits P. (1981.) szerint	36
1.20. ábra A kontinensekről lepusztult talaj viszonylagos mennyisége (ld. a nyilak vastagságát) Myers, N. (1985) nyomán, több módosítással	38
1.21. ábra Az élő Föld homomorf rendszermodellje.....	39
1.22. ábra A társadalmasított Föld homomorf rendszermodellje	39
2.1.a: 10/2000. rendelet: Anyagcsoportonként (A) háttér koncentráció talajra és határértékek földtani közegre	44
2.1.b táblázat: 6/2009. rendelet: Anyagcsoportonként (B) szennyezettségi határértékek földtani közegre. ..	50
2.2. táblázat: A talaj szempontjából legjelentősebb szennyező anyagok és ezek potenciális veszélye az emberre (táplálékkal történő felvétel)	56
2.3. táblázat: A nyomelem-tartalom nem szennyezett talajokban és a talajszennyezést okozó anyagokban(mg/kg szárazanyag). A kritikus értékeket dőlt számok jelzik.....	57
2.4. ábra: A szennyezések környezetbe való kijutásának és továbbterjedésének, illetve az élőlényekhez és az emberhez való eljutásának lehetőségei (Ruppe-Lindemann, 1991.).....	57
2.5. ábra A szennyezett területek kutatása és értékelése (FEHLAU, 1987.).....	58
2.6. ábra Az adatgyűjtés vázlata	59
2.7. táblázat A különböző geofizikai módszerek alkalmazhatósága a szennyezett területek kutatása során (Vogelsang, 1991.).....	61
2.8. táblázat Az előkutatási fázis során ajánlott fúrásszám és mintavételi gyakoriság (Weber, 1990.).....	62
2.9. táblázat Környezetszennyezés szempontjából különösen „gyanús” területek és a lehetséges releváns anyagok (Ruppe-Lindemann, 1991.).....	65
2.10. táblázat Környezetszennyezések releváns anyagai	67
2.11. táblázat Területhasználati és területhasznosítási jellemzők és védendő értékek (Ruppe-Lindeman, 1991.).....	68
3.1. ábra A szennyezett területek kárelhárításának módszerei	71
3.2. ábra Az átlevegőztetési eljárás elve	72
3.3. ábra Talajvíz-levegőztetés	73
3.4. ábra Talajmosás felszíni öntözéssel	74
3.5. ábra Talajmosás kutas injektálással.....	74
3.6. ábra A termikus talajtisztítási eljárás vázlata (Jessberger, 1991.)	76
3.7. ábra A talajmosási eljárás elve a – fizikai alapelv, b – folyamatábra (Jessberger, 1991.).....	77
3.8. ábra Szennyezett talajok kezelésének elvi ábrája (Jessberger, 1993.).....	78
3.9. ábra Prizmás rendszerű mikrobiológiai talajtisztítás (Hochtief-eljárás).....	78
3.10. ábra Aktív hidraulikus védelem	80

3.11./a ábra A felszínen úszó olaj kitermelésre alkalmazható kút szerkezetének vázlata (V. Pelikán nyomán)	81
3.11./b. ábra Víz-olaj kitermelésére kiképzett kútszerkezet vázlata	82
3.12. ábra A védőkutak elhelyezési lehetőségei passzív védelmi eljárás során (Weber, 1990.):	83
4.1. ábra A transzportfolyamatok jellegzetes elemei (Kinzelbach, 1986.)	86
4.2. ábra Az elemi térrész szennyezőanyag-mérlege	87
4.3. ábra A koncentráció változása	88
4.4. ábra A mechanikai diszperziót előidéző jelenségek (Bear-Verruijt, 1987.)	89
4.5. ábra A szennyezőanyag makrodiszperziójának folyamata (Kinzelbach, 1986.)	89
4.6. ábra A konvektív transzport, a diffúzió és a mechanikai diszperzió okozta anyagáramlás összevetése a szivárgási sebesség (szivárgási tényező) függvényében (Rowe, 1987.)	90
4.7. ábra A szivárgáshidraulikai modellezés lépései	92
4.8. táblázat Az egyes talajok olajvisszatartó képessége	93
4.9. ábra A beszivárgó olajtest idealizált alakja különböző áteresztő-képességű talajokban (F. Shwille nyomán)	94
4.10. ábra Esésben levő talajvíz hatása a beszivárgó olajtest eloszlására	94
4.11. ábra A beszivárgó olajtest alakulása nem a felszínről történő olajbeszivárgás esetében	95
4.12. ábra A rétegzettség hatása a beszivárgó olaj eloszlására	95
4.13. ábra A relatív áteresztőképesség a különböző víz- és olajtelítettség függvényében	96
4.14. ábra Az olaj, ill. a gázfázis elhelyezkedése, felszínről beszivárgó olaj esetében	97