



„FŐNIX ME” – Megújuló Egyetem felsőoktatási intézményi fejlesztések a felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása érdekében

EFOP 3.4.3-16-2016-00015

Tananyag

„A környezetvédelem alapjai” című tárgyhoz

Szerkesztette: Zákányi Balázs

Miskolc, 2019

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Tartalom

1.	A KÖRNYEZETVÉDELEMBEN HASZNÁLATOS FONTOSABB ALAPFOGALMAK	4
1.1.	KÖRNYEZETI ELEMEL, KÖRNYEZET, KÖRNYEZETVÉDELEM, FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS	4
1.2.	A KÖRNYEZETVÉDELEMMEL KAPCSOLATOS FONTOSABB ALAPFOGALMAK	9
2.	A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI víz VÉDELMÉNEK ALAPJAI.....	16
2.1.	A FÖLDTANI KÖZEG, A TALAJ SZEREPE A FELSZÍN ALATTI VIZEK MINŐSÉGÉNEK VÉDELMÉBEN	19
2.2.	A FELSZÍN ALATTI VIZEK VESZÉLYEZTETETTSÉGE	22
2.2.1.	Felszín alatti vizekbe történő beavatkozások	23
2.2.2.	A felszín alatti vizek érzékenysége és sérülékenysége	24
2.2.3.	A felszín alatti vizeket veszélyeztető területhasználatok és emberi tevékenységek.....	27
2.3.	A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI VIZEK LEGGYAKORIBB SZENNYEZŐANYAGAI	30
2.3.1.	A szennyezőanyagok csoportosítása	30
2.3.1.	A leggyakrabban előforduló szennyezőanyagok.....	30
2.3.2.	6/2009. (IV. 14.) KVV-M-EÜM-FVM EGYÜTTES RENDELET SZERINTI SZENNYEZŐANYAGOKRA VONATKOZÓ HATÁRÉRTÉKEK.	34
2.3.3.	A SZENNYEZŐANYAG CSOPORTOK RÉSZLETEZŐ BEMUTATÁSA	37
3.	A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI víz KÁRMENTESÍTÉSE	86
3.1.	TÉNYFELTÁRÁS	87
3.2.	A TÉNYFELTÁRÁS LÉPÉSEI	89
3.2.1.	Adatgyűjtés	89
3.2.2.	Mintavétel, mintavizsgálat	89
3.2.3.	Földtani, vízföldtani és kioldódási vizsgálatok	93
3.2.4.	Érzékenységi besorolás	94
3.2.5.	Terjedési modellezés.....	94
3.2.6.	Kockázatelemzés	94
3.2.7.	Ökotoxikológiai vizsgálatok	98
3.2.8.	A tényfeltárás folyamatának és eredményeinek dokumentálása	99
3.3.	A (MŰSZAKI) BEAVATKOZÁS MEGINDÍTÁSA.....	100
3.4.	A (MŰSZAKI) BEAVATKOZÁS SORÁN ALKALMAZHATÓ TECHNOLÓGIÁK BEMUTATÁSA	103
4.	A FELSZÍNI VIZEK VÉDELME	112
4.1.	VÍZTERHELÉS - VÍZSZENNYEZÉS, VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK.....	112
4.1.1.	Felszíni vizeket terhelő, illetve szennyező anyagok csoportosítása	113
4.2.	A FELSZÍNI VIZEK VÉDELMÉNEK JOGI ALAPJAI	118
4.2.1.	A felszíni vízvédlem alapelvei	118
4.2.2.	Határértékekhez kapcsolódó szabályozás	120
4.2.3.	Szankciórendszer és egyéb gazdasági eszközök	122
4.3.	RENDKÍVÜLI VÍZSZENNYEZÉS.....	122
4.4.	A VÍZSZENNYEZÉSEK ÉSZLELÉSE, FELDERÍTÉSE	123
4.4.1.	Vízminőségi figyelőszolgálat.....	123
4.4.2.	Vízminőségi monitoring	123
4.5.	EGYES VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK VISELKEDÉSE ÉS HATÁS-MECHANIZMUSA	124
4.5.1.	Mechanikai (úszó, lebegő) szennyezések viselkedése, hatásmechanizmusa	125
4.5.2.	Oldott szennyezések viselkedése, hatásmechanizmusa	125
4.5.3.	Mérgező anyagok viselkedése És hatásmechanizmusa	126
4.6.	Védekezési technológiák	127
4.6.1.	Szennyezett víz levonultatása	127
4.6.2.	Kárelhárítás vízkormányzással	128
4.6.3.	Kárelhárítás levegőztetéssel.....	129
4.6.4.	Kárelhárítás kémiai kezeléssel.....	131
4.6.5.	Védekezés vízínövényzet ellen	131
4.6.6.	Védekezés olajszennyezés ellen.....	131
4.6.7.	Védekezés szilárd úszó szennyeződés ellen.....	141
4.6.7.	A szennyező anyagok tárolása, ártalmatlanítása	142
5.	HULLADÉKELHELYEZÉS	143

5.1.	FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK.....	143
5.2.	A HULLADÉKLERAKÓK HELYKIVÁLASZTÁSA.....	144
5.2.1.	A lerakók helykiválasztásának környezetföldtani követelményei, az alkalmassági kritériumok 145	
5.2.2.	A földtani közeggel szemben támasztott kritériumok	146
5.2.3.	A lerakó területének környezetföldtani kutatása	147
5.2.4.	A potenciálisan számításba jövő területek vizsgálata és értékelése	147
5.3.	A HULLADÉKLERAKÓK OSZTÁLYOZÁSA, KIALAKÍTÁSA	149
5.4.	A HULLADÉKLERAKÓK SZIGETELÉSE	151
5.4.1.	Az aljzatszigetelő rendszer felépítésének a szabályozása	151
5.4.2.	A hulladéklerakók lezárása, a felső záró szigetelőrendszer felépítése	154
5.5.	A CSURGALÉKVÍZGYŰJTŐ RENDSZER.....	158
5.6.	A HULLADÉKLERAKÓ ÜZEMELTETÉSE	162
5.6.1.	A hulladék beszállítási – átvételi szabályai.....	163
5.6.2.	A hulladéklerakón nem ártalmatlanítható hulladékok	164
5.7.	A GÁZMENTESÍTÉS.....	165
5.8.	A MONITORING RENDSZER	168
5.9.	Meglévő, régi lerakók rekultivációs kérdései	168
5.9.1.	Meglévő, kombinált aljzatszigeteléssel rendelkező régi lerakók rekultivációja	169
5.9.2.	Meglévő, műszaki védelem nélküli lerakók rekultivációja	170
5.9.3.	A rekultivációs réteg kialakítása	171
6.	Levegőtisztaság-védelem	178
6.1.	BEVEZETÉS.....	178
6.2.	A LÉGKÖR ÖSSZETÉTELE ÉS SZERKEZETE	179
6.2.1.	A levegő összetétele.....	179
6.3.	A LÉGKÖR SZERKEZETE	181
6.4.	AZ ÜVEGHÁZHATÁS	182
6.5.	SZENNYEZŐ ANYAGOK MENNYISÉGE A LÉGKÖRBEN.....	189
6.6.	A LEVEGŐ FIZIKAI ÁLLAPOTHATÁROZÓI ÉS SZEREPÜK A LEVEGŐSZENNYEZÉSBEN	190
6.7.	A LEVEGŐSZENNYEZÉS FORRÁSAI ÉS FAJTÁI.....	193
6.7.1.	A légszennyezők eredete.....	193
6.7.2.	A Légszennyező források fő típusai.....	196
6.8.	A LÉGSZENNYEZÉS FOLYAMATA ÉS MÉRÉSE	197
6.9.	A LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK KIBOCSÁTÁSÁNAK SZABÁLYOZÁSA	199
6.9.1.	Kibocsátási határértékek	199
6.9.2.	Az emisszió meghatározása	200
6.9.3.	Az immisszió mérése	201
6.10.	A LEVEGŐSZENNYEZÉS ELLENI VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI	202

1. A KÖRNYEZETVÉDELEMBEN HASZNÁLATOS FONTOSABB ALAPFOGALMAK

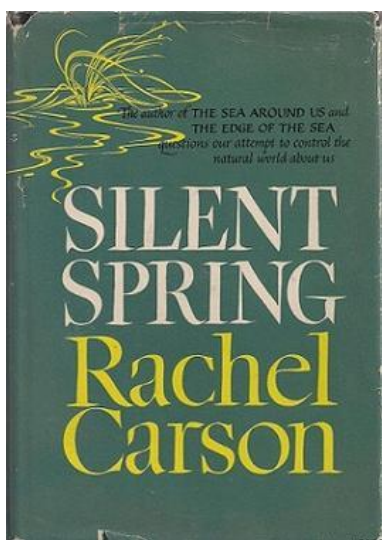
A globális és a nemzeti környezeti problémákat, válságokat csak széleskörű és összehangolt, nemzetközi szintre kiterjedő társadalmi tevékenységekkel lehet korlátozni, megoldani. A gyakorlatban azonban távol vagyunk a környezetvédelmi céllal harmonizált társadalmi, gazdasági tevékenységektől, ráadásul a környezetvédelemmel foglalkozók között sincs meg mindig a megfelelő összhang. Ez a disszonancia a környezetvédelem nevezéktanában a nemzetközi és a hazai fogalom használatok tekintetében is megmutatkozik. Ezért - ahol ez lehetséges - a környezetvédelemben használatos fontosabb alapfogalmakat érvényben lévő jogszabályok definícióiból kiindulóan fogjuk tárgyalni. Ezt abból a megfontolásból tesszük, mert egyrészt a jogszabályok előkészítése már önmagában is bizonyos fokú szakmai egyeztetésen, konszenzuson alapul, másrészt pedig nemzeti jogszabályaink nemzetközi vonatkozásban folyamatos uniós harmonizáción keresztül születnek meg.

A jegyzetben nem minden esetben bocsátkozunk részletes magyarázatokba, értelmezésekbe, hiszen a szakmai ismeretek, a jogszabályok is változnak. Az aktuális változások ismertetésére, a kiváltó okok magyarázatára az előadások és a gyakorlatok nyújtanak lehetőséget.

1.1. KÖRNYEZETI ELEMEL, KÖRNYEZET, KÖRNYEZETVÉDELEM, FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS

A **környezetvédelem**, mint országhatárokon átlépő, kiterjedt társadalmi mozgalom a 20. század hatvanas éveiben alakult ki az Amerikai Egyesült Államokban.

1962-ben, **Rachel Carson**, amerikai újságíró megalkotta **Silent Spring**- című könyvét.



1. ábra Néma tavasz c. könyv és szerzője

(A mű magyar nyelven is hozzáférhető Rachel Carson: Néma tavasz, Katalizátor Könyvkiadó, Páty, 2007, második, bővített, javított kiadás, ISBN 9638639644). A könyv nem nevezhető tudományos műnek, de valós jelenségek ábrázolásán keresztül a természetben felhasznált növényvédő szerek káros hatásaira hívta fel a figyelmet, megrázó módon megjelenítve helytelen alkalmazásuk drámai következményeit. Ez a világszerte népszerű könyv adta meg az érzelmi alapot ahhoz, hogy a környezet megóvása társadalmi mozgalommá vált.

A megjelenés idején a pusztuló természet érzékletes víziója, amelyet a szerző láttatni engedett, teljességgel szokatlan volt, és hatásosan rázta fel a vezető értelmiségiek lelkiismeretét. Ezért tulajdonképpen a Néma tavasz című könyv megjelenésétől (1962) lehet számítani a környezetvédelem fogalmának bekerülését a társadalmi tudatba és az emberek gondolkodásába.

Az ENSZ főtitkára (U Thant) az 1968-as Közgyűlésen kimondta, hogy olyan új jelenségek vannak kibontakozóban, amelyek békés körülmények között is globális veszélyt jelentenek az emberiség számára: **a környezet degradálódása** (bizonyos természetes rendszerek, így pl. növénytakarás, biocönózis állapotának valamilyen jellemző szerinti leromlása "spontán" vagy humán pl. agráripári indíttatással) és **a környezetszennyezés**. Az 1970-es évektől folyamatosan erősödtek a modern környezetvédelmi mozgalmak. A Római Klub értelmiségi tagsága 1972-ben megjelentette "A növekedés határai" című jelentést, gondolataik lényeges eleme volt a globális egyensúly koncepciója, ami különösen a fejlődő országok részére jelentett elfogadhatatlan alternatívát. 1972-ben az ENSZ Stockholmban megtartotta az Emberi környezet konferenciáját (magyar részvétel nélkül), amely a természeti és az épített környezet problémáira koncentrált. A konferencia jelentős hatással volt a környezetvédelmi politikák kialakulására nemzeti szinten. A tanácskozás nyomán létrehozták az állami környezetvédelmi szervezeteket - hivatalok, minisztériumok alakultak. Magyarországon 1977-ben alapították meg az Országos Környezet- és Természetvédelmi Hivatalt, mint a környezetvédelmi ügyekben illetékes főhatóságot.

A hazai jogalkotás a környezetvédelemmel átfogóan először **a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvényben (továbbiakban: Kvt.)** (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99500053.tv>) foglalkozott és az alábbi meghatározásokat adta meg a legalapvetőbb fogalmakra nézve.

Környezeti elem: a föld, a levegő, a víz, az élővilág, valamint az ember által létrehozott épített (mesterséges) környezet, továbbá ezek összetevői.

Környezet: a környezeti elemek, azok rendszerei, folyamatai, szerkezete.

Környezetvédelem: olyan tevékenységek és intézkedések összessége, amelyeknek célja a környezet veszélyeztetésének, károsításának, szennyezésének megelőzése, a kialakult károk mérséklése vagy megszüntetése, a károsító tevékenységet megelőző állapot helyreállítása.

Mivel a környezetvédelem multidiszciplináris tudomány terület, (összegegyíti és alkalmazza pl. a kémia, analitikai kémia, fizika, biokémia, biológia, mikrobiológia, földrajz, földtan, hidrológia, építészet, orvostudomány, közgazdaságtudomány, jogtudomány, szociológia, stb. speciális ismereteit, módszereit), így a lényegre törő jogszabályi definíciókat a különféle szakmai értelmezések alapján is körülírhatjuk.

Mivel a környezetvédelmet emberi tevékenységként fogjuk fel, ezért a környezet is leírható emberközpontúan. Pl. **Az ember környezete** a bennünket körülvevő, élő és élettelen, természetes és mesterséges (ember által létrehozott) részekből összetevődő tér, amelyben élünk és tevékenykedünk.

Más megközelítéssel **a környezet** az élő szervezeteket körülvevő fizikai, kémiai és biológiai körülmények összessége, amely részben természeti (talaj, víz, légkör, élővilág, táj, részben mesterséges (épített) elemekből áll. (Természeti vagy természetes környezet, ill. épített, mesterséges, művi környezet.)

A környezet különböző nagyságrendű színtereit is meg lehet különböztetni, így a mikro- (létesítményeken, helyiségeken belüli terek), mezo- (településeknek a létesítményeken kívüli térségei) és a makro környezetet (a települések határain kívül eső területek).

A környezetvédelem fogalomkörének bővítésben szem előtt kell tartani, hogy a környezeti problémák alapvető oka az emberiség lélekszámának nagymértékű növekedése, az emberi igényeket kielégítő termelésnek és a megtermelt javak fogyasztásának fokozódása. Ehhez az ember egyre több nyersanyagot von ki a természetből, amelynek során élettelen és élő természeti értékeket pusztít el, egyre nagyobb életteret vesz el az élővilágtól, egyre nagyobb mértékű anyag- és energiaátalakítást hajt végre, miközben olyan mennyiségű és hatású szennyező anyagokat termel, amelyek már közvetlenül veszélyeztetik, károsítják az ember egészségét, az élővilágot, sőt az élettelen természeti környezetet (pl. felszín alatti vizeket) és az épített környezetet is (pl. savas esők okozta korrózió, mállás).

Vagyis megállapítható, hogy az ember, mint társadalmi lény a pazarló termelésen és fogyasztáson keresztül konfliktusba kerül az emberrel, mint biológiai lénnyel, miközben környezetének rombolásával, kizsákmányolásával, szennyezésével, a természeti erőforrások egyenlőtlen és gyors felhasználásával saját biológiai létét sodorja veszélybe.

Ez a felismerés is hozzájárult a **fenntartható fejlődés koncepciójának** a megfogalmazásához, fokozatos érvényesítésének megkezdéséhez. 1984-ben az ENSZ Közgyűlés határozatára megalakult a norvég miniszterelnök asszony, Gro Harlem Brundtland által vezetett 22 tagú Környezet és Fejlődés Világbizottsága (magyar tagja Láng István akadémikus volt), amely 1987-ben fogadta el a Közös jövőnk (Our Common Future) című jelentését. A Világ bizottság fő feladata az volt, hogy vázolja fel az ezredforduló és az azt követő időszak várható tendenciáit, és tegyen ajánlásokat az új kihívásokra adandó válaszokra. A Brundtland-jelentés fő üzenete a fenntartható fejlődés szükségességének a felerősítése volt. A fenntartható fejlődés fogalmát nem a Brundtland Bizottság találta ki; abban az időben már foglalkozott ezzel a témával a szakirodalom. de kétségteljes tény, hogy a Közös jövőnk című jelentés tette széleskörűen ismertté. A Brundtland Bizottság szerint: **"A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen generációk szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációk hasonló igényeinek a kielégítését."** Ez a megfogalmazás egyúttal politikai üzenet is. Egyrészt a szegényeknek, mert céljául azt tűzi ki, hogy jusson mindenkinek legalább annyi, amennyi az alapvető emberi szükségletek biztosításához kell, másrészt a gazdagoknak, hogy életmódjukat és fogyasztási szokásaikat szerényebben és takarékosabban alakítsák ki.

Egy másik megfogalmazás szerint: **"A fenntartható fejlődés a folyamatos szociális jobblét elérése anélkül, hogy az ökológiai eltartó képességet meghaladó módon növekednénk."**

Több gazdasági ágazat estében, így az agrárgazdaságban is részletesen értelmezték a fenntartható fejlődést. Íme, egy definíció a Kanadai Mezőgazdasági Minisztériumtól: **"Azokat nevezzük fenntartható mezőgazdasági-élelmiszeripari rendszereknek, amelyek gazdaságosak, kielégítik a társadalom korszerű táplálkozással kapcsolatos igényeit, és megőrzik a környezet minőségét, a világ természeti erőforrásait a jövő generációk számára."**

A Kvt. szerint a fenntartható fejlődés: társadalmi-gazdasági viszonyok és tevékenységek rendszere, amely a természeti értékeket megőrzi a jelen és a jövő nemzedékek számára, a természeti erőforrásokat takarékosan és célszerűen használja, ökológiai szempontból hosszú távon biztosítja az életminőség javítását és a sokféleség megőrzését.

A hétköznapiok szürke hályogán, képmutatásainak és pénzéhségének terhén keresztül szemlélve illuzórikusnak tűnő koncepció sokféle meghatározásának közös vonása, hogy mindegyik sürgeti az anyag- és energiatakarékosságot, a helyi erőforrások hasznosítását, a megújuló természeti erőforrások előtérbe helyezését, a szemét- és hulladékképződés minimalizálását, a szennyeződések megelőzését és csökkentését, **a mennyiségi szemlélet helyett a minőség ösztönzését**, valamint a természeti értékek tiszteletét és védelmét.

A fenntarthatóság egyik legfontosabb pillére a környezetminőség biztosítása, amelyet együttesen szolgál a környezetvédelem és a természetvédelem.

Fenti áttekintésünk után a környezetvédelem kibővített meghatározását az alábbiakban foglaljuk össze.

A környezetvédelem olyan tevékenységek és intézkedések összefüggő rendszere, amelyek (az ember egészségének és fennmaradásának biztosítása érdekében) a környezet természetes elemei, így a föld, ill. földtani közeg (talaj, alapkőzet, ásványi anyagok, mederüledék), a víz (felszíni és felszín alatti), a levegő, az élővilág (növények, állatok, mikroorganizmusok), a táj és mesterséges (művi) elemei (pl. települések, úthálózatok) állapotminőségének védelmét, javítását, állapotromlásának megelőzését szolgálják, a társadalom adott fejlettségi szintjéből fakadó gazdasági, technikai, szociális, kulturális, tudományos, politikai és jogszabályi színvonalon.

A környezetvédelem részeként **a természetvédelem** a természetes környezet egyes, természeti értékekben gazdag részeit helyezi védelem alá. Az ember gazdasági és egyéb tevékenységeinek korlátozásával, esetleg teljes megszüntetésével, a környezeti ártalmak kiküszöbölésével törekszik az eredeti állapot, a természeti értékek, a biológiai változatosság fenntartására. A környezetvédelem a mesterséges környezet védelmével is foglalkozik és a különböző emberi tevékenységeket (pl. ipari, mezőgazdasági termelés, közlekedés, stb.) úgy igyekszik megszervezni, hogy az embert, valamint annak természetes és mesterséges környezetét ne károsítsák. A környezetvédelem és természetvédelem csak egymást kiegészítő, egymást erősítő tevékenységekként működhetnek eredményesen. (Pl. hosszú távon a

természetvédelmi területek csak a környezetszennyezés, a károsító hatások megszüntetésével, ill. csökkentésével tarthatók fenn.)

Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy környezetünk rendkívül összetett rendszer, amely az emberi beavatkozásokra sokszor kifürkészhetetlen, a modellekkel előre jelezhető állapotokat meghazudtoló válaszokat ad, ezért **az ökológiai tűrőképességen (természetes öntisztuláson) túlterjedő környezetterhelések, környezetmódosítások olyan károkat okozhatnak, amelyeket jelenlegi tudásunkkal nem tudunk azonosítani.** Sajnos tudomásul kell venni, hogy tudásunk a legjobb indulattal is csak az adott kor tudományos és technikai színvonalán állhat (vagy annak csak töredékét képviseli), ezért kellő alázattal és körültekintéssel szabad csak a környezeti folyamatokba beavatkoznunk, megzavarnunk azokat.

Azt is szem előtt kell tartani, hogy **az egyes környezeti elemek**, más környezeti elemektől **elkülönült védelme önmagában nem hozhat tartós eredményt** a környezet egészének védelme szempontjából, sőt komoly károkat okozhat a figyelmen kívül hagyott környezeti elem(ek)ben, ezek kölcsönhatásaiban. Ezért a környezetvédelmi intézkedéseket úgy kell szervezni, hogy azok a környezet hatékony és komplex védelmét szolgálják a környezet különböző nagyságú szinterein, a vizsgált emberi tevékenységek hatásterületein.

Önkéntelenül is felvetődik a kérdés, hogy **mitől és hogyan kell tehát a környezetet megvédeni.** Fenti fejtegetésekből is nyilvánvaló: elsősorban az ember által okozott minőség romlások, szennyezések káros hatásaival szemben. Vagyis a környezetvédelem fő módszere a prevenció (a károsítás megelőzése, a természeti erőforrásokkal való ésszerű gazdálkodás), amelyet a szennyezések bekövetkezése esetén a kármentesítés (kár lokalizáció, kárelhárítás) eszközei (a károk, szennyezések terjedésének korlátozása, felszámolása, a káros hatások megszüntetése, a károsító tevékenységet megelőző állapot vagy ahhoz közeli, még eltűrhető állapot helyreállítása) egészítik ki. (Fényképes illusztrációkat lásd az előadáson!)

A környezetvédelem fontos háttere az ún. környezetipar. A környezetipar fogalmát a környezethasználat jogszabályi definíciójából kiindulóan az alábbi megfontolások szerint lehet megközelíteni.

A **Kvt.** a következő definíciókat adja.

Környezethasználat: a környezetnek vagy valamely elemének igénybevételével, illetőleg terheléseivel járó hatósági engedélyhez kötött tevékenység." (4.§. i.))

Környezet igénybevétele: a környezetben változás előidézése, a környezetnek vagy elemének természeti erőforráskénti használata." (4.§. d.)

Környezetterhelés: valamely anyag vagy energia környezetbe bocsátása" (4.§. f.)

Vagyis környezethasználat alatt a környezetnek vagy valamely elemének természeti erőforrásként való felhasználását, ill. az ezekből a tevékenységekből származó anyagok és energiák környezetbe bocsátását értjük.

Abban az esetben, ha tehát a környezethasználat oldaláról kívánjuk megfogalmazni a környezetipar fogalmát, akkor az egyik lehetséges meghatározást a következőképpen adhatjuk meg.

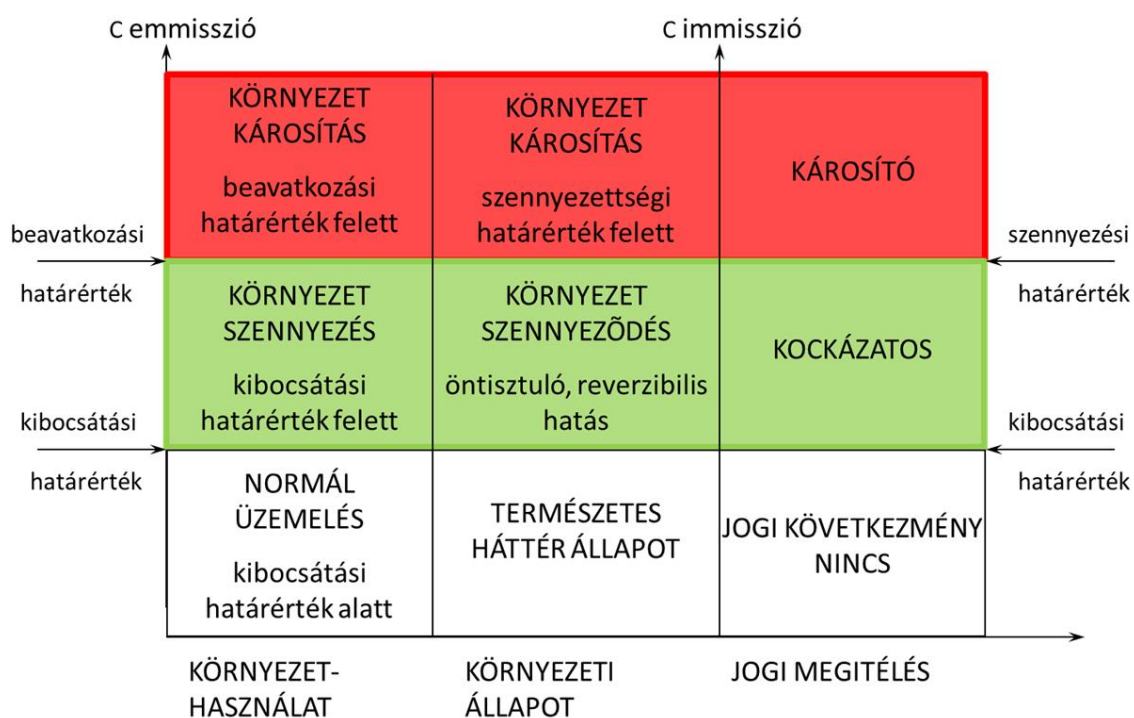
A környezetipar a környezethasználatokkal összefüggő környezetvédelmi, környezet- gazdálkodási tevékenységeket, intézkedéseket megalapozó, megvalósító, innovatív műszaki-biológiai technikák és technológiák gyakorlati alkalmazása a fenntartható fejlődés érdekében.

1.2. A KÖRNYEZETVÉDELEMMEL KAPCSOLATOS FONTOSABB ALAPFOGALMAK

Környezetszennyezés: a talaj, víz, levegő fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságaiban bekövetkező olyan jellegű változásokat előidéző **folyamat**, amely az ember és más élőlények egészségét, fennmaradását, ill. tevékenységét kedvezőtlenül befolyásolja.

A Kvt. lényegre törő megfogalmazásában a környezetszennyezés: **a környezet valamely elemének a kibocsátási határértéket meghaladó terhelése**. Még rövidebben: a környezetvédelmi határértékek (ezek lehetnek emissziós és immissziós határértékek) túllépése. Egyre terjedő szakmai nézetek szerint a környezetszennyezéshez sorolják **a környezetre veszélyes hulladékok jogellenes elhelyezését is**. A Kvt. meghatározásához kapcsolódó fontosabb fogalmakat az alábbiak szerint értelmezi a jogszabály.

Kibocsátási határérték: a környezetnek vagy valamely elemének jogszabályban vagy hatósági határozatban meghatározott olyan mértékű terhelése, amely kizárja a környezetkárosodást. (Emlékeztetőül a környezetterhelés: valamely anyag vagy energia környezetbe bocsátása.)



2. ábra Különböző határértékek és egymáshoz viszonyított helyzetük a kibocsátási koncentráció függvényében

Környezetkárosodás: a környezetnek vagy valamely elemének olyan mértékű változása, szennyezettsége, ill. valamely eleme igénybevételének olyan mértéke, amelynek eredményeképpen annak természetes vagy korábbi állapota (minősége) csak beavatkozással, vagy egyáltalán nem állítható helyre, illetőleg, amely az élővilágot kedvezőtlenül érinti.

Mielőtt megnyugodnánk attól, hogy ha nem lépünk túl tevékenységünkkel a jogszabályokban vagy a hatósági határozatokban megállapított határértékeket, akkor nem okozhatunk környezetkárosodást, vegyük figyelembe, hogy egyes - határértékeken belül maradó - környezetterhelések halmozódása összességében határérték túllépéseket eredményezhet az adott környezeti elemben. Vagyis környezetkárosodás akkor is előállhat, ha a kibocsátási határértékek betartására kötelezettek külön-külön egyik szennyező anyag esetében sem lépik túl a határértékeket. Ráadásul a határértékek alatti koncentrációban, mennyiségben kibocsátott szennyezőanyagok lehet, hogy önmagukban nem okoznának káros hatásokat, de együttes megjelenésük összegzett környezeti, biológiai hatása (szinergista hatás) már bizonyos szervezetek károsodásához, pusztulásához vezethet. A határértékek kritika nélküli büvköréből azért is célszerű kilépni, mivel ezek a határértékek az ökológiai, egészségügyi, technológiai ismeretek bővülésével folyamatosan változhatnak, amit sokszor társadalmi konszenzusok, érdekcsoportok is befolyásolhatnak: új anyagok kerülhetnek fel a környezetszennyező anyagok listáira, ill. a határértékek szigorodhatnak, néha enyhülhetnek. Fentiek miatt egyre inkább előtérbe kerülnek a vizsgált környezet természetes felépítését, jellemzőit, a szennyező anyagok minőségét, mennyiségét, környezeti viselkedését külön-külön és együttesen is mérlegelő kockázat elemzéseken alapuló határérték megállapítások, bár való igaz, hogy egyszerűbb és kényelmesebb a jogszabályokban, szabványokban kinyomtatott határértékek mechanikus alkalmazása. A határértékek védelmében azért el kell mondani, hogy pl. Európában jelentős biztonsági tényezővel szigorítva alakítják ki a viszonyítási alapul szolgáló humán egészségügyi határértékeket. Ugyanakkor sajnos az is igaz, hogy az élővilág más tagjaira számított, igazolt toxicitási értékek rendkívül hiányosak.

A környezetszennyezés folyamata során **a szennyező forrásokból** (a szennyező anyagok származási helyei) a szennyezőanyagok szétáramlását **szennyezésnek**, a szennyezés eredményét a közeg szempontjából **szennyezettségnek** nevezzük. A Kvt. jogi értelmezésében a **környezetszennyezettség** a környezetnek vagy valamely elemének a környezetszennyezés hatására bekövetkezett szennyezettségi szinttel jellemezhető állapota.

A környezetszennyező anyagokat olyan anyagokként, anyagkeverékeként jellemezhetjük, amelyek a környezeti elemekbe kerülve azok állapotát károsan befolyásolhatják; károsak vagy károsak lehetnek az emberi egészségre, ill. a környezethasználatokra.

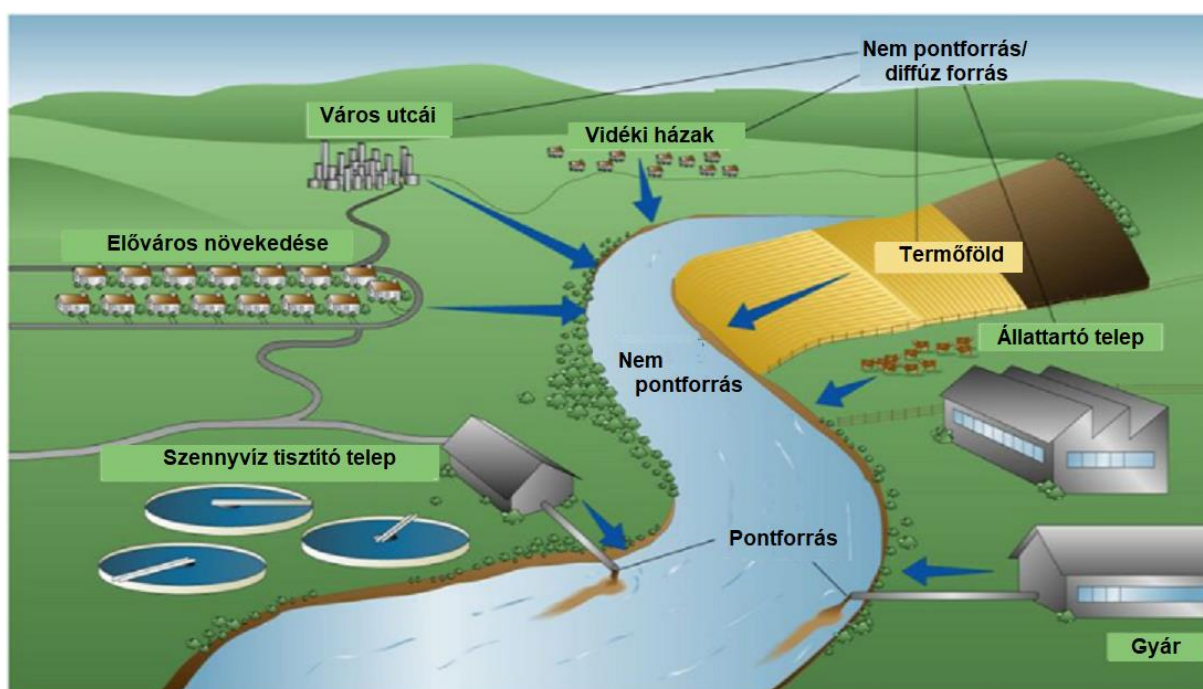
A környezethasználat fogalma a Kvt. szerint: a környezetnek vagy valamely elemének igénybevételével, illetőleg terheléseivel járó, hatósági engedélyhez kötött tevékenység.

Emissziónak nevezzük a szennyező forrásokból történő **elsődleges (primer) szennyezőanyag kibocsátást**.

A szennyezőanyag a szennyező forrásból (emisszió forrásból) pontszerű vagy nem pontszerű, azaz kiterjedt (diffúz) szennyezéssel léphet az egyes közegekbe (víz, levegő stb.).

Pontszerű szennyezés esetén a szennyező forrás egy meghatározott, jól körülhatárolható helyen, juttatja a szennyezőanyagot az adott közegbe. Ekkor a szennyező forrást **pontforrásnak** nevezzük. (Helyhez kötött pontforrás pl. egy gyárkémény, mozgó pontforrásnak minősül pl. egy kamion kipufogócsöve.)

Nem pontszerű vagy kiterjedt (diffúz) szennyezéskor a szennyezőanyagok nagy térbeli kiterjedésben lépnek az adott közegbe, az általuk okozott vagy tőlük származó szennyezés nem pont jellegű, hanem területileg vagy egy vonal mentén megoszló emissziós forrásokból származtathatóak. Pl. egy településen belül az egyedi szennyvízelhelyezések összessége, növényvédőszeres, műtrágyák kiszórásából származó szennyezések, egy tartálpark területéről a levegőbe kerülő illékony szerves anyagok, egy hígtrágya tó felületéről kipárolgó ammónia, stb. (Fényképes illusztrációkat lásd az előadáson!)



3. ábra Pont és diffúz források közötti különbség

Immissziónak a környezeti elemekben, a szennyezés eredményeként létrejövő, mérhető szennyezőanyag-koncentrációkat értjük, szűkebb értelemben a szennyezőanyag kibocsátás során a környezeti levegőbe került gázok és aeroszol részecskék koncentrációját, vagyis a légszennyezettség mértékét nevezzük immisszióknak.

A szennyezett közegben valamely primer szennyező forrásból származó anyagból képződő további szennyezőanyagot **másodlagos (szekunder) szennyezőanyag**nak nevezzük. Ilyen pl. az illékony klórozott alifás (nyílt láncú) szénhidrogének csoportjába tartozó vinil-klorid. A fémek zsírtalanítására, ill. a száraz vegytisztításban elterjedten használt, az USA nemzeti egészségvédelmi intézeteinek egyike, a National Institute of Environmental Health Sciences (www.niehs.nih.gov) által valószínűsíthetően rákkeltő triklór-etilén bomlása során képződhet szekunder szennyezőanyagként. A **vinil-klorid** emberben bizonyítottan karcinogén

hatású vegyület, ráadásul vízoldékonyabb, mint a triklór-etilén, vagyis bizonyos feltételek mellett gyorsan terjedhet a talajvízzel a környezetben.

A talajba, talajvízbe jutó nitrátból a nitrogén körforgalom denitrifikációs lépése során másodlagos szennyezőanyagként pl. **dinitrogén-oxid** keletkezik, amely élettartama kb. 150-200 év a légkör troposzférájában, üvegházhatás potenciálja több mint 200-szorosa a szén-dioxidénak, ráadásul a belőle fotokémiai bomlással a sztratoszférában keletkező nitrogén-monoxid az ózonbontás egyik fő katalizátora. Megjegyzendő, hogy a nitrogén-monoxidból a sztratoszférában salétromsav is keletkezhet, amely visszatér a troposzférába, ahonnan "savas eső" formájában kimosódhat. (Illusztrációkat lásd az előadáson!)

A másodlagos szennyezés (másodlagos szennyezőforrás) alatt általában olyan folyamatot értünk, amikor az elsődleges szennyezőforrásból kikerült szennyezőanyagok által elszennyezett közegből egy másik közegbe, környezeti elembe jut át a szennyezés. Ezt a folyamatot, vagyis az elsődleges szennyezőforrásból származó szennyezőanyagok továbbterjedését sokszor tudatosan vagy akaratlanul, emberi beavatkozással mozdítják elő, gyorsítják fel.

Ilyen lehet például a toxikus elemekkel (pl. nehézfémekkel) vagy gázolajjal, könnyű fűtőolajjal szennyezett talaj kitermelése, műszaki védelem nélküli elhelyezése. Ekkor ugyanis a csapadék hatására a szennyezőanyagok egy része kimosódhat a deponált talajból és az addig tiszta területek talajába szivároghat szennyezheti azokat, vagy akár felszíni vizekbe is eljuthat. Másodlagos szennyezésről beszélhetünk abban az esetben is, ha például a felszín alatti vizek minőségét vizsgáló feltáró fúrásokat, vagy monitoring kutakat létesítünk egy a talajvízben kialakult, a víznél nehezebb (nagyobb sűrűségű) szennyezőanyagoktól, pl. tetraklór-etilén ($1,631 \text{ g/cm}^3$) vagy triklór-etilén ($1,466 \text{ g/cm}^3$) származó szennyezettség megismerésére és eközben az első vízzáró réteg átfúrásakor nem akadályozzuk meg ezeknek az oldószereknek a lejutását a talajvíz táblából a rétegvizet tároló földtani képződménybe. (Illusztrációkat lásd az előadáson!)

Ugyanakkor a felszín alatti víz szempontjából másodlagos szennyezőforrásnak tekinthető a szennyezett talaj, olyan esetekben, amikor az elsődleges szennyezőforrás pl. egy felszín alatti üzemanyag tároló tartály és vezetékek sérülésekor közvetlenül nem a felszín alatti víz, hanem a földtani közeg szennyeződik. Amennyiben ennek felismerése és eltávolítása nem történik meg időben és/vagy a kármentesítés során csak az elsődleges szennyezőforrás szüntetik meg, úgy a felszín alatti víz a földtani közegből folyamatosan szennyeződhet.

A szennyezés kiterjedése szerint lehet: helyi jellegű (lokális), nagyobb területre kiterjedő (regionális), vízgyűjtő területre kiterjedő (fluviális), földrészekre kiterjedő (kontinentális), az egész Földre kiterjedő (globális). (Illusztrációkat lásd az előadáson!)

A szennyezettségi fok valamely környezeti elem/közeg (pl. levegő, talaj, víz) szennyező anyag tartalmának abszolút vagy relatív egységgel való kifejezése. A szennyezettségi adatok dimenziójának megadása általában: talaj (földtani) közeg esetében mg/kg (ppm), talajvízben (felszín alatti vízben) µg/L (ppb), ritkábban mg/L, levegőben µg/m³ vagy mg/m³,

Szennyezéseloszlás a szennyezőanyag mennyiségének vagy koncentrációjának értékét jelenti a környezeti elemekben (pl. levegő, talaj, víz), valamely vonal, felület mentén (pl. közút,

vasútvonal, légifolyosó, istálló vagy gépműhely padozata). A szennyezésseloszlás ismeretében minősül valamely szennyezés lokálisnak, regionálisnak stb.

A szennyezőanyagokat kémiai összetételük szerint két nagy csoportra oszthatjuk: **szervetlen és szerves szennyezőanyagokra**. A szervetlen szennyezőanyagok közül kiemeljük az ún. **elemspecieszek** fogalmát. A toxikus elemek környezetben való viselkedését, mérgező hatását, analitikai meghatározási módszerét nagymértékben befolyásolja, hogy az adott környezeti elem milyen vegyületként, milyen kémiai formában vannak jelen, pl. Cr(III) vagy Cr(VI), As(III) vagy As(V). Pl. az állatkísérletekkel meghatározott 50%-os valószínűséggel bekövetkező pusztuláshoz (L₀₅₀) az arzén-trioxidból csak 20 mg/kg bevitel szükséges, szemben az arzén egyik szerves vegyületével, az arzén-betainnal, amelynél több mint kétszázszoros tömegű bevitel fejt ki azonos biológiai hatást. Fontos tudni, hogy a biológiai szempontból lényeges elemek (pl. "Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Sn) specieszekinek kimutatásához megfelelő elválasztás technikai módszereket kapcsolnak nagy kimutatási képességű elemszelektív detektorokkal. [Pl. folyadékkromatográf on line kapcsolata láng atomabszorpciós és ICP (induktív csatolású plazma) atom emissziós spektrométerrel, ill. ICP-tömegspektrométerrel.]

Az elemspecieszeknek fontos szerepe lehet a talajvíz tisztítási módszerek alternatívái közötti választásában is. Pl. a vízben jól oldódó, rákkeltő hatású, igen toxikus, heves oxidálószerként ismert, az agyagásványok által csak igen rossz hatásfokkal megköthető, anionként viselkedő kromát-ionok [Cr(VI)] jól szabályozott, szűk kémhatás tartományban kémiai redukáló szereket alkalmazva, vízben rosszul oldódó, kevésbé toxikus Cr(III) csapadék (pl. hidroxidja) formájában kicsaphatóvá és összegyűjthetővé válnak, ami adott körülmények között alternatívát jelenthet pl. egy költségesebb ioncserélő eljárással szemben.

A szerves szennyezőanyagok vonatkozásában az alapfogalmaknál csak annyit szeretnénk megjegyezni, hogy a gyakorlati környezetvédelemben dolgozók eszmecseréik során bizonyos vegyületeket, vegyület csoportokat sokszor csak rövidítések formájában emlegetnek, így ezek ismerete elengedhetetlen a szakmai kommunikációhoz. Ízelítőül néhány: BTEX, VOCI, PAH, BAP, POP, PCB, TCB, TPH, TPH-IR, TPH-GC, VAPH, VALPH, VPH, EPH, BOI, KOI, OOT, PCE, TCE, HCH stb. (Azon leszünk, hogy a tárgy elsajátítása után senkinek se okozzon problémát ezeknek a rövidítéseknek az értelmezése.)

A szennyezőanyagokat **halmazállapotuk szerint** három fő csoportba soroljuk: **szilárd** (pl. szálló por, ülepedő por, szilárd savas üledék, stb.), **folyékony** (pl. szerves oldószerek, savak, lúgok, benzin, kerozin, gázolaj, fűtőolaj, orsóolaj, stb.) és **légnemű** (pl. illékony szerves anyagok gőzei, CO, CO₂, SO_x, NO_x, stb.)

A szennyezőanyagokat **biológiai lebonthatóságuk szerint** általában három fő csoportra osztják:

- **könnyen lebomlók (degradable)** pl. etil-benzol, naftalin, kommunális szennyvizek szerves anyag tartalma, állati eredetű hulladékok,
- **nehezen lebomlók (persistent)** pl. AROCLOR 1254, benz(a)pirén, hexaklór-benzol, DDT, ODO, DDE;
- **a lebontásnak ellenálló (recalcitrant)**, gyakorlatilag nem lebomlók pl. higany-és ólomvegyületek, aszfalt, bitumen, azbeszt, hosszú felezési idejű radioaktív anyagok.

A különböző anyagok biológiai lebonthatóságát az ún. félélet idővel jellemezhetjük. A talajban pl. az: etil-benzol félélet ideje 10 nap, a naftaliné 48 nap, a benz(a)piréné 1,5 év, (anaerob körülmények között 6 év is lehet), a hexaklór-benzolé 5,7 év, (anaerob körülmények között, akár 23 év is lehet), a DDT-é 16 év (a talajvízben 31 év). Természetesen ezek a szakirodalmi adatok a konkrét kárhely adottságai szerint jelentősen módosulhatnak.

A biológiai lebomlás (biodegradáció) fogalomkörébe sokféle, lefolyásában és következményeiben különböző folyamat tartozik. Tágabb értelemben a mikroorganizmusok által végzett, biológiai-biokémiai történések sorozatán keresztül megvalósuló, lebontási (katabolitikus), ill. átalakítási (transzformációs) folyamatokat foglalják össze ezzel a kifejezéssel. **A biodegradáció lehet teljes és részleges. A teljes biodegradáció vagy mineralizáció** során a kiindulási szerves vegyületek, enzimkatalizált reakciók egymásra épülő sorozatán keresztül, szén-dioxidra és vízre oxidálódnak. Aerob körülmények között a végső elektronakceptor az oxigén, míg anaerob környezeti feltételek mellett, alternatív elektronakceptorként leggyakrabban a nitrát, a szulfát, a ferri (Fe^{3+}) ionok, ill. a szén-dioxid szolgál. Ezek a folyamatok a lebontást végző mikroszervezetek számára szén-és/vagy energiaforrásul szolgálnak a sejt szaporodása során.

A részleges biodegradáció három alapvető típusa ismeretes. Az egyik típus esetében a lebontást, átalakítást végző enzimek közül valamelyik hiányzik, ezért a folyamat megreked valamilyen közti terméknel, vegyületnel, a képződött energiát a biodegradációban résztvevő mikroszervezet energiaforrásként hasznosítja. A másik típus a kometabolizmus, amely során a kiindulási vegyület részleg és (néha teljes) oxidációja bekövetkezik ugyan, de a biodegradációt végző mikroszervezetek a folyamatból származó energiát, ill. anyagokat nem használják fel. A részleges biodegradáció harmadik típusába azok a folyamatok tartoznak, amelyek során polimerizáció vagy más szintézis folyamatok révén a kiindulási anyagoknál összetettebb és/vagy stabilabb vegyületek keletkeznek.

A részleges biodegradációs folyamatok termékei gyakran akkumulálódhatnak, felhalmozódhatnak az átalakítást végző szervezetben vagy beépülhetnek a közeg (pl. talaj) természetes rendszerébe, anyagaiba (pl. humusz). Döntően az extracelluláris enzimek által katalizált folyamatok során olyan közti termékek keletkezhetnek, amelyek önmagukban, egymáshoz kapcsolódva vagy a közeg más vegyületeivel reagálva, **akár a kiindulási anyagoknál is toxikusabbak, veszélyesebbek lehetnek** a környezetre.

Bioremediáció alatt azokat a gyakorlatban kivitelezett, felhasznált biodegradációs folyamatokat foglalják össze, amelyek segítségével a talajokba, vizekbe, üledékekbe került, közegészségügyi/környezetegészségügyi szempontból veszélyt jelentő környezetszennyező anyagokat eltávolítják vagy méregtelenítik, detoxikálják. Leegyszerűsítve: a bioremediáció tárgya a biodegradációs és/vagy fitoremediációs folyamatok felhasználása a szennyezett területek kármentesítésére, megtisztítására.

Sok esetben, pl. ha a kőolaj, ill. származékai a talajba (földtani közegbe), felszín alatti vizekbe jutnak, a szénhidrogén szennyezések felszámolásának költségtakarékos, hatásos, egyben környezetbarát módja lehet a biodegradáció. A folyamatot elsődlegesen azért tartják környezetbarátnak, mivel a sokféle szénhidrogén vegyület optimális körülmények között ténylegesen lebomlik és veszélytelen anyagokká (CO_2 és H_2O) alakul (mineralizálódik), míg

például a fizikai-kémiai talaj és talajvíz tisztítási eljárások során fő tömegük csak más közegbe (pl. extraháló-szerbe, adszorbensbe, levegőbe) helyeződik át. Ráadásul a biodegradáció során képződő szén-dioxid és víz a talaj kapillárisokban maradva bekapcsolódik a talaj biológiai-kémiai rendszerébe.

A szennyezőanyagoknak az emberi egészségre gyakorolt hatása lehet:

- **akut (heveny) hatás**, röviddel a kitettség (expozíció) után jelentkezik, a szennyező-anyag koncentrációja nagy, a kiváltott hatás gyorsan és viszonylag súlyos formában következik be.
- **krónikus (idült) hatás**, általában hosszú idő alatt bekövetkező, rendszerint kis koncentrációban vagy dózisban érvényesülő kitettség eredményezi, ami hosszú idő után jelentkezik.

Egy ember, ha rövid idő alatt nagy dózisú radioaktív sugárzásnak van kitéve, akkor néhány napon belül meghalhat (akut hatás), pl. az 1986. április 26-i csernobili atombaleset elhárításán dolgozó első beavatkozó csoportok tagjai közül sokan. Ezzel szemben, ha valaki ugyanolyan mennyiségű dózist kap, de hosszú idő alatt, akkor ez 10-20 év múlva daganatos megbetegedést okozhat, pl. a feltételezések szerint ez történt magyar kamion sofőrökkel, akik a szennyezett csernobili területeken jártak, vagy pl. az utódoknál jelentkezhet valamilyen genetikai eredetű fogyatékoság formájában (krónikus hatások).

Kevert szennyezések esetén számolnunk kell a szennyezőanyagok **szinergista** és **antagonista** viselkedésével. **Szinergizmusnak** nevezzük azt a jelenséget, amikor két vagy több anyag egymás hatását erősíti, és ez többlethatásban nyilvánul meg. **Antagonizmusról** akkor beszélünk, ha a kevert szennyezések komponenseinek együttes hatása kisebb, mint azok külön-külön való érvényesülésének számítható, előre valószínűsíthető (számtani) összege, vagyis egymás hatását gyengítik, pl. egymásra hatásuk során rosszul oldódó fém sók keletkezhetnek, így az élő szervezetek számára való felvehetőségük korlátozódik, leromlik. Szinergizmus érvényesülhet pl. egy azbeszttel dolgozó dohányos esetében: megnőhet a tüdőrákban történő megbetegedés valószínűsége. A Szent István Egyetemen kísérletesen is igazolt tény, hogy csirke embriók esetében a Cr(VI) jelenléte szignifikánsan megnövelte a benz(a)pirén által okozott mutagén és teratogén elváltozások típusát és gyakoriságát. (**Mutagén**: génhibákat okozó anyag, **teratogén**: fejlődési rendellenességet okozó anyag, **karcinogén**: daganatos, rákos megbetegedést okozó anyag.)

Felhasznált irodalom:

Dr. Szoboszlai László, Dr. Kriszt Balázs: Környezeti elemek védelme, Gödöllő, 2008

2. A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI VÍZ VÉDELME NEK ALAPJAI

A felszín alatti vizek védelmének szabályozása tárgyában hatályban lévő alapvető jogszabály, vagyis a **219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet** (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400219.kor>) a földtani közeget és a felszín alatti víz fogalmát az alábbiak szerint definiálja. **Földtani közeg:** a föld felszíne és az alatta elhelyezkedő természetes eredetű képződmények (talaj, a mederüledék, a kőzetek, beleértve az ásványokat, ezek természetes és átmeneti formáit). **Felszín alatti víz:** a terepfelszín alatt a földtani közeg telített zónájában (így különösen a földtani képződmények pórusaiban, hasadékaiban) elhelyezkedő víz.

A környezetvédelmi gyakorlatban a földtani közeg fogalmát gyakran helyettesítik a "talaj" kifejezéssel. Vagyis a talaj alatt nem csak a földfelszín (földkéreg) legfelső, termékeny, vagyis tápanyag szolgáltatásra képes, szervesetlen ásványi és szerves anyagokból, továbbá vízből, levegőből és élő szervezetekből álló rétegét értik, [lásd ISO 11074 szabvány és 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet 3.§ 40. pontját], hanem a talajt és az alatta rétegrendben, esetleg kiemelkedésekkel következő kőzeteket is. Sőt, a talaj szóhasználatába nemegyszer beleértik annak háromfázisú zónáján kívül (víz, levegő, szilárd fázis) kétfázisú, vagy vízzel telített zónáját (vagyis a tulajdonképpeni talajvíz-táblát) is. A talajtan tudománya talajnak tekinti mindazt, ami a felszín és a talajképző kőzet között terül el és a rajta díszlő növénytakaróval kapcsolatban van. Ebből következik, hogy a talaj mindig talajszelvényt jelent, melynek rétegződését és az egyes rétegek tulajdonságait vizsgálják, és a talajképződés hatására elkülönült rétegeket talajszinteknek nevezik. (Emlékeztetőül: A szint a humuszos felső szint, B szint az ezt követő felhalmozódási szint, a C szint a talajképző kőzet, míg az O szint az ágyazati kőzet, ami nem alapja a talajképződésnek.)

A talaj funkciót vizsgálva az Európa Tanács 1993-ban elfogadott értelmezéséből indulunk ki: a talaj speciális fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságokkal rendelkező sokfunkciós (multifunkcionális) rendszer, a Föld ökoszisztémáinak szerves része. A talaj ökológiai funkciói:

- A biotomassza termelés alapvető közege. Az állatvilág és az ember létezésének nélkülözhetetlen alapja.
- Raktározó, szűrő, átalakító, puffertoló (tompító) rendszer. A hő, a víz és a növényi tápanyagok raktározója. Az elhalt növényi és állati maradványokat lebontja, átalakítja. Megakadályozza, vagy jelentősen mérsékli a szennyezőanyagok szétterjedését (a felszín alatti vizekbe kerülését, valamint beépülését a táplálékláncba), mivel bizonyos határig képes azokat megkötni és átalakítani. A tároló, puffertoló és átalakító képesség különbözőképpen nyilvánul meg aszerint, hogy milyenek a talajba kerülő anyagok és a talaj tulajdonságai.
- A talaj az élővilág sokféle egyedének és populációjának élőhelye, így a biológiai sokféleség (biodiverzitás) fenntartásának nélkülözhetetlen eleme.

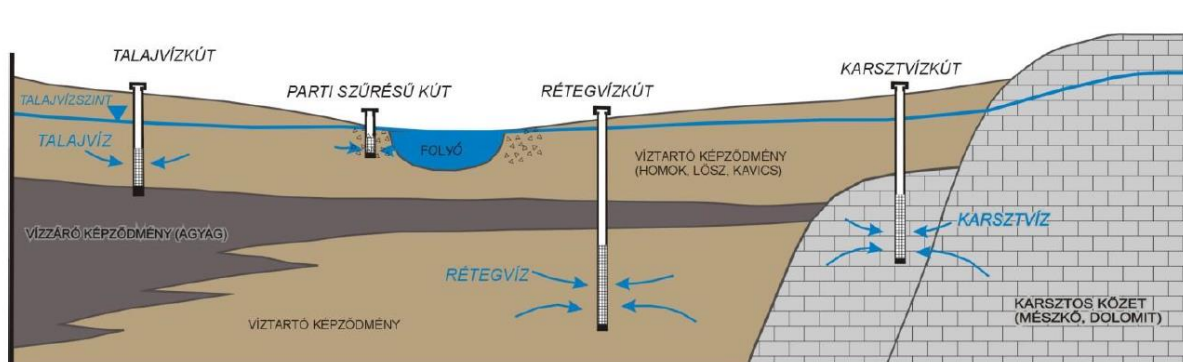
Az emberi tevékenységgel kapcsolatos funkciók.

- fizikai közeg (pl. építmények alapja)
- nyersanyagforrás
- kulturális és geológiai örökség hordozója

A földtani közeg kifejezés használatában a helyzetet tovább nehezíti, hogy a **Kvt., 14. §-ában** megismertet bennünket a **föld védelmével**. Erről azt mondja, hogy a **föld** védelme kiterjed a föld felszínére és a felszín alatti rétegeire, a talajra, a kőzetekre és az ásványokra, ezek természetes és átmeneti formáira és folyamataira, vagyis mintha a földtani közeg definíciója csengene vissza a 219/2004 (VII.21.) Korm. rendeletről, de egyszerűen "föld"-nek nevezve. Ugyanakkor a Kvt. leszögezi: A föld védelme magában foglalja a talaj termőképessége, szerkezete, víz- és levegőháztartása, valamint élővilága védelmét.

Fentiek miatt a gyakorlati kommunikáció szempontjából rendkívül fontos tisztázni, leszögezni, értelmezni, hogy a földtani közegnek melyik részéről, alkotójáról van éppen szó.

A földtani közeg és a felszín alatti víz védelmét kiemelt fontosságúnak kell tekintenünk egyrészt azért, mert a mezőgazdasági tevékenységek döntően ezt a két környezeti elemet terhelik, másrészt pedig Magyarországon az ivóvízigény 95%-át a felszín alatti vizekből elégítik ki, ráadásul a felszín alatti vízbázisok háromnegyede a földtani védetség tekintetében sérülékeny. Durva közelítéssel a kitermelt felszín alatti vizek 40%-a mélységi víztartó rétegekből/rétegvizekből, 30%-a parti szűrésű kutakból/parti szűrésű vízből, 20%-a karsztos kőzetekből/karsztvízből, 10%-a pedig talajvízből származik. A különböző felszínalatti víztípusok a 2.1. sz. ábrán láthatók. A vízkivételek az összes rendelkezésre álló felszín alatti készletek kb. egyharmadát teszik ki.



4. ábra Felszín alatti víztípusok

Rétegvíznek a porózus kőzetekben, két vízrekesztő réteg között elhelyezkedő vizeket nevezzük. A rétegvíz elhelyezkedhet a porózus kőzet pórusaiban, ill. pórusaiban és réseiben, hasadékaiban. A rétegvizeket sokszor a rétegben uralkodó nyomás alapján osztályozzuk, azaz, hogy a víz nyugalmi szintje a terepszinthez képest hol van. Ha a rétegvíz nyugalmi szintje a felszín alatt van negatív rétegnyomásról, ha nyugalmi szintje a felszín felett található pozitív rétegnyomásról beszélünk.

Parti szűrésű víz a felszíni vízfolyást övező, azzal közvetlen kapcsolatban lévő víztartó porózus kőzetek rétegeiből kitermelt víz. Ezen rétegek vize elsősorban (kb. 80%-ban) a folyóból, kisebb mértékben (kb. 20%-ban) a környező talajvízből származik.

A **talajvíz** a felszín közeli, az első vízzáró réteg feletti, legfelső porózus vízáadó képződményekben tárolódó víz, amely meteorológiai hatás alatt áll, ami Magyarországon legfeljebb 20 m mélységig érvényesül, alatta mélytalajvízről beszélünk.

Hasadékos kőzetek repedéseiben, hasadékaiban, üregeiben tárolt és mozgó víz a **hasadékvíz**. A hasadékos kőzet lehet nem karsztosodó vagy karsztosodó. A nem karsztosodó kőzetek - pl. vulkanitok, metamorf kőzetek - repedései mechanikai hatásra jönnek létre, például szerkezeti mozgások következtében. Vízraktározás szempontjából jelentősebbek a karsztosodó kőzetek pl. mészkő és dolomit, melyek repedés-, járat, illetve üregrendszere a mechanikai hatások mellett a vízdoldó hatása révén alakul ki, ezekben tárolódik az ún. karsztvíz.

A vízellátást veszélyeztető fontosabb tényezők között kell említenünk az éghajlatváltozást, a hulladékok szakszerűtlen elhelyezését, tárolását, a szennyezőanyagok elszivárgását, a csatornázatlanságot, a szennyvíztisztítás hiányosságait, az állattartó telepek és a műtrágyázás miatti elnitratosodást, a rendszeres növényvédőszer használatot, ill. a megfigyelő rendszerek kiépítetlenségét. Magyarországon jelenleg húszeszes nagyságrendben találhatók a földtani közegre és a felszín alatti vízre nézve potenciális és tényleges szennyező források, ill. szennyezőanyagokat tartalmazó területek, szennyezések. A csatornázatlan területeken a becslések szerint 1,1 millió egyedi, ún. "csatornapótló" megoldással (pl. emésztőgödörökben) kb. 500.000 m³/nap szennyvizet helyeznek el, veszélyeztetve, szennyezve a felszín alatti vizeket. A 0,5 mg/L feletti nitrit tartalmú ivóvíz kb. 900.000 lakosnak okoz napi problémát. A megfelelő minőségű ivóvíz biztosítását nehezíti, hogy természetes okok miatt csak 10 [µg/L] feletti arzén koncentrációjú ivóvíz jut kb. 1,2 millió embernek Magyarországon (különösen veszélyeztetett ebből a szempontból az Alföld déli része, Békés megye). További gondok forrása lehet, hogy az ivóvízhálózatok felszín alatti részében az azbeszt tartalmú, ill. az épületekben az ólom tartalmú csövek még mindig jelentős részarányt képviselnek.

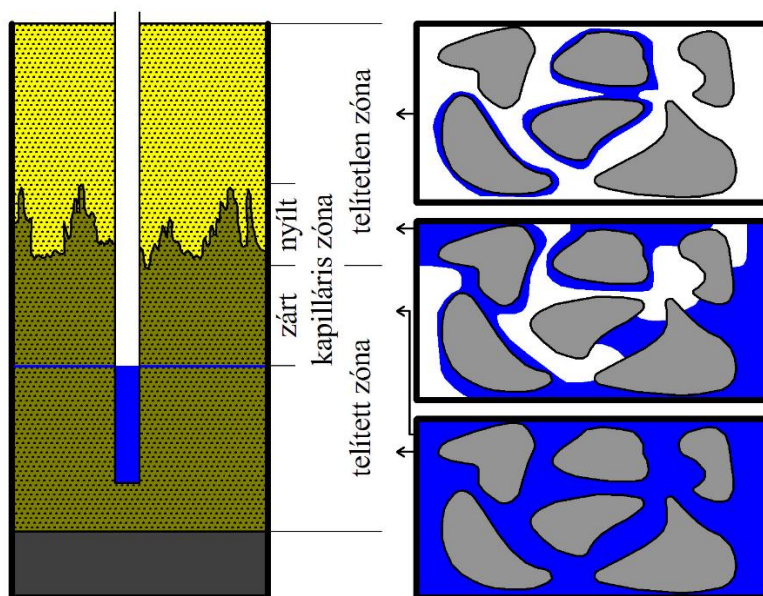
Fenti példákból is belátható, hogy a talaj védelme két okból is rendkívül fontos feladatot jelent a környezetvédelem számára. A talaj, a földtani közeg egyrészt azért jelentős, mert a földi anyag- és energiaátalakulásnak egyik fontos közege és itt kapcsolódnak össze a biológiai, a geológiai és a hidrológiai körfolyamatok (biogeokémiai és hidrogeológiai ciklusok). Másrészt az emberi tevékenység ezen zajlik és a szennyezőanyagokat ez a környezeti elem akkumulálhatja vagy közvetítheti a többi környezeti elem felé, így a felszín alatti vizek felé is. Környezetvédelmi szempontból a talaj, ill. a földtani közeg védelme során az elsődleges hangsúlyt a szennyezések elleni védelemre, illetve a szennyeződések kockázatának csökkentésére helyezzük, mindezt úgy szervezve, hogy a talaj tápanyag szolgáltató képessége, fizikai, biológiai tulajdonságai minél kevésbé szenvedjenek hátrányos változásokat, ill. az eredeti közelítő állapotok visszaállíthatók legyenek. (Sokszor hallható és olvasható, hogy a környezetvédelmi beavatkozásoknál az eredeti állapotok visszaállítása a cél, ami egyes környezeti paraméterek esetében lehetséges is válhat, de a terület, közeg egésze egy szennyezés felszámolása, csökkentése után soha nem lesz minden korábbi jellemzőjében azonos az eredeti, természetes állapottal.)

A felszín alatti vizek védelme oldaláról közelítve a talaj, a földtani közeg funkciói közül kiemelt szerepe van a megkötő, szűrő védő feladatnak, vagyis fontos kíváncsi, hogy semmilyen területhasználat ne okozzon olyan szennyeződést, ami a talajon keresztül a vizekbe

tovább terjedhet. Vagyis környezetvédelmi szempontból a talaj célállapotának általában a multifunkcionalitást, de legalább a felszín alatti vizek védelmét biztosító minőségét jelölhetjük meg. A felszín alatti vizek esetében a természetes vagy ahhoz közeli minőségi állapot megőrzésére kell törekedni, ahol ez még fennáll és a megőrzés reálisan lehetséges. Az egyéb területeken - kivéve a már tartósan károsodottakat - a felszín alatti vizek legalább jó minőségi állapotban legyenek, vagyis legalább ivóvíz előállítására alkalmasak legyenek. Ez az igény sok bizonytalanságot tartalmaz, mert az ivóvízként való felhasználhatóság mindig függ a mindenkori technikai, technológiai fejlettségtől és a közegészségügyi elvárásoktól, lehetőségektől.

2.1. A FÖLDTANI KÖZEG, A TALAJ SZEREPE A FELSZÍN ALATTI VIZEK MINŐSÉGÉNEK VÉDELMEBEN

A talajt élő szervezetek (biotikus) és élettelen anyagok (abiotikus) alkotják. Utóbbiak lehetnek holt szerves, vagy szervetlen vegyületek. Az abiotikus talajkomponensek a talajszelvény felső részén háromfázisú rendszer (szilárd, folyékony, gáz) alkotnak. Ez a telítetlen (aerációs) zóna, mely a felszíntől az ún. kapilláris vízig tart (a kapilláris víz a felületi felszűrés következtében alakul ki, felemelve a talajvíz szintjét). A kapilláris víz alsó szintjétől az első vízrekesztő fekéig tartó rész a kétfázisú zóna (folyékony és szilárd), azaz a telített zóna (5. ábra).



5. ábra Telített és telítetlen zóna elhelyezkedése nyílttükrű rendszerben

A talaj szilárd fázisának abiotikus része ásványi anyagokból (amorf és kristályos), valamint holt szerves anyagból (humusz) áll. A folyékony fázis (talajoldat) ásványi sókat, oldott szerves anyagokat, abszorbeált gázokat tartalmaz. A légnemű fázis (talajlevegő) vízgőzből, széndioxidból, oxigén-, nitrogén- és egyéb gázokból áll. A légnemű fázisban megjelenhetnek illékony szennyezőanyagok gőzei is.

A talajban található, vízben oldható szennyezőanyagok a folyékony fázis mozgása és a diffúzió következtében terjedhetnek' szét. A szennyezőanyagok, de természetesen a többi talajban levő oldható anyag mozgását a talaj oldaláról a fizikai-kémiai jellemzők, a porozitás (a köztest folytonossági hiányainak százalékos aránya), a pórusok nagysága, a folyadék áramlási sebessége, a talajoldatban levő koncentráció-különbségek, a talaj nedvességtartalma befolyásolja. Az anyagok (hasznos és káros) oldaláról a terjedés és az ezzel összefüggő kockázat nagyban függ az elemnek, vagy a vegyületnek a talajszemcsék felületéhez való kötöttségétől, a kötés típusától és erősségétől, az elemek, valamint a szerves és szervetlen vegyületek olyan tulajdonságaitól, mint vízoldhatóság, megoszlási hányados, sorsuk a talajban (mozgékonyosság, degradáció, akkumulálódás stb.) és a káros hatás (toxicitás, mutagenitás stb.)

A talajban lejátszódó folyamatok közül a talajba jutó szennyezőanyagok továbbterjedésének megakadályozásában elsődleges szerepe van a talajkolloidoknak. Ezek lehetnek ásványi (pl. agyagásványok) vagy szerves (humusz) kolloidok. Az ásványi kolloidok közül környezetvédelmi szempontból legfontosabbak az agyagásványok, a vas-, alumínium- és mangán-oxidok, -hidroxidok, valamint a kóvasav, a szerves kolloidok közül a humusz, melyet szerves vegyületek komplexei alkotnak. A kolloidok legfontosabb sajátossága a nagy fajlagos felület, melyen lejátszódó folyamatok közül kiemelkedő jelentőségű a vizet, az ionokat, illetve molekulákat megkötő adszorpció, az ioncsere, valamint a biofilmek létrejötte és működése.

A talajban végbemenő folyamatokat módosíthatja a talaj kémhatása és a talaj oxidációs-redukciós (redox) viszonyai. Mindezek szoros kapcsolatban vannak a talaj nedvességtartalmával, a talaj szilárd fázisának összetételével (anyagminőség, felületi tulajdonságok, szemcseméret-eloszlás), a talajoldatban levő anyagok minőségével és koncentrációjával stb. Ezek együttesen határozzák meg azt, hogy az adott rendszerben milyen az egyes elemek mozgékonyága (mobilitása), így például oldódik vagy kicsapódik, adszorbeálódik vagy deszorbeálódik, beépül a humuszba vagy felszabadul a humuszból az adott komponens. (A szennyezőanyagok kicsapódását, adszorbeálódását, beépülését a humusz anyagokba a környezeti kockázat elemzések geokémiai csapdázásként is emlegetik.)

A vízben oldható szennyezőanyagok talajkolloidokon történő megkötődése (adszorpció, ioncsere) mellett azok továbbjutását egyéb tényezők is akadályozzák, például a szilárd szennyezőanyagok egy részét a talaj mechanikailag kiszűri. A fizikai hatásokon kívül kémiai (kristályforma, oxidációs állapot stb.) és biológiai (biokoncentráció, biodegradáció stb.) folyamatok is befolyásolják a szennyezőanyagok mozgékonyágát.

A szennyeződés továbbjutását késleltető kémiai folyamat, például a szennyezőanyag talajoldatból való kicsapódása, nehezen oldható vegyület képződése közben, a redox viszonyok megváltozása miatt. Ennek ellentétes folyamata bizonyos szennyezőanyagok pl. egyes nehézfémek oldhatóvá válása a talaj savasságának növekedése miatt.

A szennyezőanyagok biológiai úton is mobilizálódhatnak, illetve immobilizálódhatnak. A talajban lévő mikroorganizmusok vagy a növények a szennyezőanyagokat beépíthetik szervezetükbe, ezzel immobilizálják, de mobilizálhatják is azokat, például kiválasztott anyagcseretermékeik, exoenzimjeik, gyökérsavaik segítségével. Egyes bonthatatlan toxikus elemeket vagy szerves vegyületeket a mikroorganizmusok és a növények képesek

A szerves szennyezőanyagok biológiai lebomlása (biodegradáció) a talajba kerülő holt szerves anyagok mineralizációjához hasonlóan történik, elsősorban a talajban élő mikroorganizmusok hatalmas bontó kapacitásának és adaptációs képességének köszönhetően, a szerves anyag ellenállásától függő sebességgel.

A toxikus szennyezők közvetlenül vagy közvetetten veszélyeztetik a talaj és a többi környezeti elem, elsősorban a felszín alatti víz ökoszisztémáját, csökkentik a biodiverzitást és megváltoztatják a fajeloszlást. Az ökoszisztéma egyes tagjaira gyakorolt káros hatás mellett direkt vagy indirekt módon az emberre is veszélyesek, a táplálékon keresztül, azaz közvetlen felvétellel (az ivóvízzel, az ott termesztett növényekkel és az ott tenyésztett állatokkal), belégzés útján, azaz inhalációval (közlekedés, poros munkahely, játszótér stb.) és direkt érintkezéssel, azaz dermális úton (földművelés, sportpálya, játszótér stb.).



21

A talajok nagyfokú szennyezőanyag megkötő, visszatartó és akkumuláló tulajdonságából adódik az a kockázat, melyet kémiai időzített bomba "néven emlegetünk, és amely abból adódik, hogy a talaj (vagy vízi üledék) nagy veszélyes anyag megkötő kapacitása külső körülmények hatására hirtelen vagy lassan megváltozhat (pl. erózióval új egyensúlyi viszonyokat jelentő új helyzet kialakulása, vagy a talajok fokozatos elsavanyodása, vízzáró rétegek elvékonyodása, degradációja.)

2.2. A FELSZÍN ALATTI VIZEK VESZÉLYEZTETETTSÉGE

Az emberiség a fejlődése során a természeti környezetbe, a benne lejátszódó folyamatokba egyre nagyobb mértékben avatkozott be. Az emberi tevékenység következtében módosultak a geokémiai ciklusok. Az ember a környezeti elemek használatakor legtöbbször figyelmen kívül hagyta azok természetes megújuló képességét.

Az ipari és a mezőgazdasági termelés következtében a légkörben, a földtani közegben és a vizekben bekövetkezett károsodások sok esetben visszafordíthatatlan (irreverzibilis) változásokat okoztak.

Az élet szempontjából egyik legfontosabb környezeti elem a víz, amely a hidroszférán kívül az atmoszférában és a litoszférában is megtalálható. Az emberi beavatkozások miatt a víz körforgalma és különböző megjelenési formáinak mennyiségi és minőségi jellemzői megváltoztak, módosultak.

Az elmúlt 40 év alatt a világ vízszükséglete a háromszorosára nőtt, ami a felszín alatti vizek termelésének növelését is szükségessé tette. Sok területen ez a felszín alatti vízszintek jelentős csökkenését idézte elő, amely a talajvízből táplálkozó, talajvizet fogyasztó növényzet károsodásához vezetett. A környezet használatok hatására már sok helyen elszennyeződtek a felszíni és a felszín alatti vizek. Az intenzív mezőgazdasági termelés és erdészeti tevékenység felgyorsította, megnövelte a talajok erózióját. Ennek "hatása a talajok tápanyag visszatartó kapacitásának csökkenése mellett a szennyezőanyag megkötő, visszatartó, illetve lebontó képességének károsodásában is megmutatkozik. A levegőbe kibocsátott és a talajra ülepedő szennyezőanyagok bizonyos típusai (pl. kén-dioxid) növelik a talajok savasságát, mely közvetett módon szintén hatást gyakorol a felszíni és a felszín alatti vizek állapotára. Hasonlóan rontja a vizek minőségét a települések talajfelszínre lerakott szilárd hulladéka és az ellenőrzés nélkül kibocsátott (elszikkasztott) szennyvize.

A vizek állapotának romlása természetesen nem csak ezen néhány, példaként kiragadott esetben figyelhető meg. Egy adott vízgyűjtőterületen a térség vizeinek minősége visszatükrözik minden, a területen folytatott ipari, mezőgazdasági tevékenységet, a települések szerkezetét, a terület használatát.

2.2.1. Felszín alatti vizekbe történő beavatkozások

A felszín alatti vizek természetes állagát a hidrogeológiai adottságok határozzák meg. A felszín alatti vizek természetes állapotának megváltozását okozó emberi beavatkozások három fő területhez kapcsolhatók.

- Az egyik ilyen terület a felszín alatti vizek vízgyűjtőjét érintő, a földfelszínen végzett emberi tevékenységek. A rossz talajművelési mód, a helytelen erdőgazdálkodás a felszíni vizek lefolyásának felgyorsulását, a beszivárgás megváltozását, a talaj erózióját okozhatja. A túlzott öntözés megnöveli a beszivárgást, fokozza a talajok kilúgzását, megváltoztatja a talaj eredeti szerkezetét. A felszín mesterséges lefedése jelentősen módosíthatja a beszivárgást, azaz a felszín alá jutó csapadék mennyiségét, területi eloszlását. A települések, közlekedési utak helyén akadályozott a természetes utánpótlódás, illetve ennek következtében a beszivárgás más területekre tevődik. Ezek a változások is okozzák - a felszín alatti vizek minőségi és mennyiségi változásai mellett - a helyi, néha regionálisan jelentkező rövid, de elsöprő árvizeket, belvizeket.
- Az emberi beavatkozások másik nagy területe a felszín alatti vizek kitermelése. Felszín alatti víztartó rétegekből az utánpótlódás mértékét meghaladó tartós vízkitermelés a víztartó vízének mennyiségét és minőségét egyaránt károsan befolyásolja. A túltermelés megváltoztatja a víztartó rétegek energetikai viszonyait, ezzel források, kutak vízhozamának és a felszín alatti víz szintjének csökkenését idézi elő, sőt hatással lehet a felszíni vizekre is. Ennek eklatáns példái a bányaművelések során történt folyamatos víztelenítés, túlzott öntözés és/vagy ivóvíz célú kitermelés. Gyógyvizek és hévizek állapotának a túltermelés miatt bekövetkező romlása pl. hőmérsékletének csökkenésében, összetételének módosulásában jelentkezhet, így a víz az eredeti felhasználási célra alkalmatlanná válhat.
- A felszín alatti vizek minőségének megváltozását, harmadrészt a szennyezőforrásokból kijutó szennyezőanyagok okozzák. Legtöbbször csak az ismertebb szennyezőforrásokra gondolunk, például kommunális- és veszélyeshulladék-létrakó, kilyukadt földalatti üzemanyag- vagy oldószer tartály, hígtrágya tó, stb. Azonban nem szabad megfeledkezni azokról a szennyezésekről, amelyeket olyan tevékenységek okoznak, melyek talán első megközelítésben előnyösnek, de legalábbis kárt nem okozónak tűnnek, pedig ezek is súlyos környezeti károkat okozhatnak, például a felszín alatti vizek elszennyezésével. A csatornázatlan területeken a háztartási szennyvizet szennyvízszikkasztókba vezetik. Ezek az építési és a szennyvíz elszállítási költségek megtakarítását célozva gyakran lyukasak, illetve nem megfelelően szigeteltek. Az emiatt kiszivárgó szennyvíz elszennyezheti a környező, ivóvíz nyelésére vagy öntözésre létesített kutakat, esetleg saját kutunkat. Hasonló helyzet alakulhat ki, ha a döngkutakba és a felhagyott kutakba elhullott állatokat dobnak, ami fertőzésveszélyt is jelent. (Ezt az eljárást a katonai szakirodalom a biológiai fegyverek legősibb alkalmazásához sorolja.) További példa a jobb termésátlagok reményében, vagy a nem megfelelően átgondolt, szakszerűtlen, illetve túlzott mű- és szerves trágya, a különböző tápanyagpótlók, valamint növényvédőszer alkalmazása. A szükségtelenül sok agrokémikália felhasználása nem növeli a termésátlagokat, ugyanakkor a felszín alatti vizek elnitratósodásához, felszíni vizek eutrofizációjához vezethet, illetve veszélyezteti az ökoszisztémát és az emberi egészséget.

A vizek elszennyezésével a felhasználható vízkészletek mennyisége jelentősen csökken. A víztartókba történő beavatkozásokat csak komplex módon szabad vizsgálni. Ehhez a kockázatos tevékenységnek, a szennyezőanyag minőségének és mennyiségének, valamint a szennyezés módjának és időbeni lefutásának értékelése mellett figyelembe kell venni a víztartók természetes védettségét is.

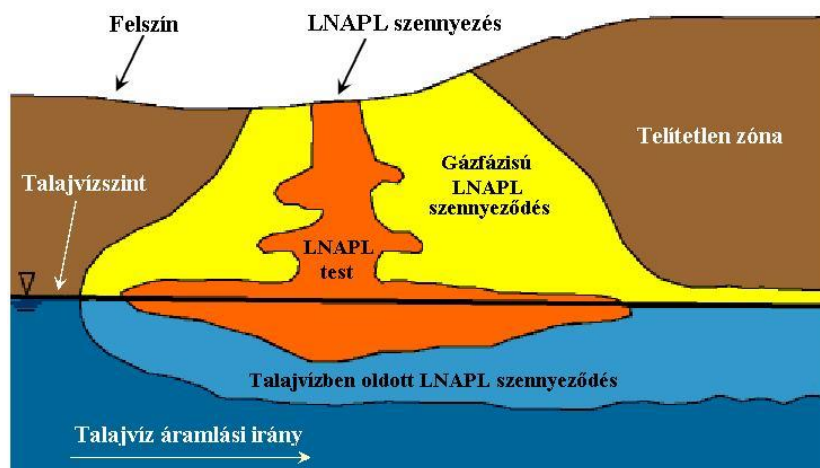
2.2.2. A felszín alatti vizek érzékenysége és sérülékenysége

A felszín alatti vizek emberi behatásokkal, víztartókat ért terhelésekkel szemben meghatározott védettséggel rendelkeznek. Ez a védettség egyrészt a víztartó réteg saját, belső tulajdonságaiból, másrészt a víznek a felszíntől az adott vízadóig megtett útja során érvényesülő hatások összességéből adódik. Az előbbit a víztartó érzékenységei, utóbbit a sérülékenységevel/sebezhetőségével jellemezhetjük. Érzékenységen a közettest azon tulajdonságát értjük, amellyel a rá- vagy belekerült szennyezőanyag terjedését lehetővé teszi vagy korlátozza (migrációs érzékenység és akkumulációs érzékenység). Mind a migrációs, mind az akkumulációs érzékenység (ami során a szennyezőanyag felhalmozódás elvezethet, ill. kiindulási alapja lehet a CTB- chemical time bomb = kémiai időzített bomba effektusnak) szelektív a szennyező anyag tulajdonságai szerint (pl. sűrűség, viszkozitás, dielektromos állandó, vegyes fázis-emulzió, szuszpenzió, felületi elektrosztatikus töltés, molekulaméret stb.). A sérülékenység/sebezhetőség az adott érzékenységgű közettestnek a többi földtani alakzathoz, legfőképpen az őt fedő vagy felszíni képződményekhez való térbeli kapcsolata alapján értelmezhető.

A szennyezőanyagok általában a víz közvetítésével terjednek, de szennyező lehet a vízzel nem vagy csak korlátozottan elegyedő folyadék is, például a víz felületén úszó, szabad fázisú szénhidrogének (LNAPL = Light Non-Aqueous Phase Liquid). A szabad fázisú szennyezések oldalirányban elszivároghatnak nem szennyezett területek felé. A talajvízszint megemelkedése szétkenheti" addig nem szennyezett területek talajának kapilláris zónájában őket. A talajvízszint csökkenése után ezek a szennyezések megmaradva a talajrétegben, a csapadék hatására vagy a vízszint újabb emelkedése esetén folyamatos szennyezőforrást jelentenek a felszín alatti vizek felé. Többek között ezeknek a lehetőségnek a kivédése miatt elsőként mindig a szabad fázisú szennyezés begyűjtését kell megkezdeni, elvégezni egy adott kárhelyen.

A víztartók védettségének értékelésekor elsőként a szennyezőanyag felszín alá jutásának lehetőségét, módját kell megvizsgálni. A szennyezőanyag beszivárgását, a beszivárgási sebesség, a szennyezőanyag mennyisége, illetve koncentrációja, valamint az ezekkel összefüggő hígulása határozza meg. A talaj megléte, minősége, vastagsága, vagyis szűrő kapacitása szintén fontos tényező a felszín alatti vizek védelmében.

A víztartók közül azok a sérülékenyek, melyek felett nem található, vagy nagyon vékonya védőréteg. Ilyenek a nyílt karsztos területek, a parti szűrősű víztartók. A nyílt karsztok érzékenységét növeli, hogy a karsztos kőzetek a szennyezőanyagokat nem képes megkötni és csak a hígulás csökkentheti a szennyezőanyag koncentrációját. A parti szűrősű vizek elsősorban a folyókkal való közvetlen kapcsolat miatt sérülékenyek, a folyó szennyezettsége következtében közvetlenül is elszennyeződhetnek.



7. ábra Az LNAPL szennyezők mozgásának sematikus rajza (Delin et al., 1998 alapján).

A **parti szűrészű vizek** esetében az esetleges szennyezések kétfelől is jöhetnek: ha a felszíni víz szennyezettsége meghaladja a mederágy szűrő- és szorpciós kapacitását, esetleg sérül a mederágy szűrőrétege (pl. kotrás), valamint ha a háttér felől szennyezett talajvíz érkezik, elszennyeződhet a parti szűrészű vízkészlet. A mederágy szűrőréteget általában erősen kolmatált, reduktív, rothadó szerves iszap képezi, amely a fémeket redukálva adszorbeálja. Mechanikai szűrése csaknem tökéletes, egyéb szennyezőket (pl. olajszármazékok, detergens) is képes visszatartani. Így a parti szűrészű víz a komponensek többségében kifogástalannak minősül. Fentiek alapján parti szűrészű vizek minőségét a felszíni vízfolyás minősége, a szűrőrétegben lejátszódó folyamatok és a háttér felől áramló víz minősége határozza meg. A parti szűrészű vízbázisok a felszín felől és a folyó oldaláról egyaránt sérülékenyek. Ezen vízbázisoknál a vízminőség romlása elsősorban a folyóvizek szennyezettségének növekedése miatt, a parti szűrészű mederszakaszokon való iszaplerakódásokban lejátszódó anaerob bomlási folyamatok, valamint a túlzott mederkotrások miatt következhet be.

A **rétegvizek** minőségét a víztartó réteg és a víz felszín alatti útja során érintett rétegek és az adott vízáadó réteg tulajdonságai, illetve az ott végbemenő víz-kőzet közötti kölcsönhatás határozza meg. A porózus kőzetek valamilyen mértékben képesek a szennyezőanyagok megkötésére. A víz felszín alatti útja során több réteget érintve a szennyezőanyagnak mind több lehetősége van a megkötődésre és a hígulására. A nagyobb mélységben elhelyezkedő rétegvizek a felszíni szennyeződésekkel szemben védettnek tekinthetők, de ez a védelem nem tekinthető korlátatlannak. Negatív nyomáspotenciálú területen a gyengébb vízzáró képződmények kismértékben átengedhetik a talajvíz szennyezőanyagait. A legkritikusabb helyzet a sekély mélységű víztartóra telepített rétegvíz kút depressziós tölcserénél alakul ki, ahol mesterséges negatív nyomás potenciál keletkezik, így a talajvíz rétegből áthúzhatók az oldott vagy a feké (vízrekesztő réteg) felületén szabad fázisban összegyűlő, víznél nagyobb sűrűségű szennyezőanyagok (pl. klórozott alifás szénhidrogének, így a kloroform, széntetraklorid, tetraklór-etilén). Sok kisebb, helyi vízműnél tapasztalható, hogy az első lépcsőben 30-50 m mélyre telepített kutak vízbázisa elszennyeződött, ezért kútmélyítéssel a második, 100-150 m mélységben lévő vízádot termelik. Ennek reális voltát bizonyítja például, hogy az elmúlt években számos, a Kőbányai Sörgyár vízigényét kielégítő kút szűrőzését kellett egyre

mélyebbre helyezni, mert a kitermelt víz nitrát tartalma nőtt, a nitrát egyre mélyebbre jutott. A nitrát fő forrása, hogy a sörgyártáshoz igénybe nem vett mészkőüregekben gombatermesztés volt/van. A gomba táptalajának lótrágyát, ritkábban egyéb szerves trágyát használnak. (Ismertek azonban már a harmadik lépcsőben termelt 500-800 m mély kutak is. A további kútmélyítésnél határt szab az, hogy egyre melegebb és nagyobb sótartalmú vizet találunk.)

A rétegvízirtók a természetes utánpótlási csatornákon keresztül egyelőre döntő többségben nem szennyeződtek el, mert izotópos kormeghatározás szerint több ezer - több tízezer éves a rétegvíz. Az utókor iránti felelősség azonban azt követeli meg, hogy a rétegvíz utánpótlási- beszivárgási területet a jelenben is védeni kell.

A **karsztvizek** minőségét a beszivárgó víz minősége és a víz-kőzet között lejátszódó folyamatok határozzák meg. A nyílt karsztos felületek vízbázisai felszíni szennyezésekkel szemben igen sérülékenyek. A karsztos kőzetek gazdag repedéshálózatának következtében a karsztos víztartónak a szűrő-víztisztító képessége csekély, a beszivárgó csapadékvíz esetenként néhány hét vagy akár már néhány nap múlva források formájában a felszínre kerülhet, amely idő alatt nincs lehetőség a szennyező anyagok hígulására sem.

Különbséget kell tenni a mészkő- és a dolomitkarszt között. A mészkőkarszt viszonylag nagyméretű vízvezető, oldással tágitott repedésből, törésből áll. A dolomitkarszt a dolomit ridegsége és valószínűleg kristályosodási feszültsége miatt gyakran szétesik poliéderekre, de oldékonysága kisebb, így viszonylag nagyszámú és kisméretű repedést tartalmaz, ezért a dolomitkarsztnak van kismértékű szűrőképessége. A Balaton-felvidéken számos felhagyott dolomitfejtőben van több évtizedes kommunális hulladéklerakás, de ennek káros hatása a karsztvíz minőségében egyelőre nem mutatkozik.

A mészkőkarsztnak mechanikai szűrőképessége sincs, pl. a vízellátásra szolgáló karsztforrásokat az Alpokban felhőszakadás, hirtelen hóolvadás idején ki kell iktatni a hálózathoz a víz hordalékossága miatt. A karsztvíztartó helyi érzékenysége a térszínnel (felszínnel) való kapcsolatától függ: a nyílt karszt felett nincs vízzáró védelem, így legérzékenyebb a szennyeződésre. A fedett karszt a fedettség mértékétől függően lehet helyileg erősebben vagy gyengébben védett. Meghatározó a fedőanyag folyadékvezető képessége, szorpciós kapacitása, vastagsága és összefüggő települése. A fedett karszt sincs védve azonban a más víztartókból, oldalról érkező szennyeződéssel szemben.

A karsztvizet fenyegető minőségi veszélyek mellett, mennyiségi ártalmat jelenthet a túlzott, az utánpótlást meghaladó mértékű víztermelés. Ez a helyzet vízbeszerzési célból általában nem alakul ki, leginkább az aktív bányavízvédelemmel kapcsolatos víz kiemelés okoz környezeti problémát, itt ugyanis egyértelműen a karszt-vízszint csökkentése acél.

A karsztvíztartó nagyfokú vízvezető képessége miatt a depressziós tölcser nagyon lapos, több kilométerre, esetleg több tíz kilométerre is terjedhet. Fölötte a helyi a karsztvízsüllyedés mértékétől függ az ártalom: karsztforrások elapadása, pl. a tapolcai Tavas-barlang egykori kiszáradása, lokális vízbázisok megszűnése.

A karsztvízháztartás mai ismereteink szerint nagymértékben reverzibilis. Az ok, a víz kiemelés megszűntével hamarosan megszűnik az okozat is. Tapasztalati adat Tatán: a 25 m-es

helyi depresszióból 1 év alatt 16 m visszatöltődött. Bár a lényeges ártalmak ugyan hamarosan megszűnnek, a teljes visszatöltődés több évig is eltart.

Sajátságos veszélyt jelentenek ugyanakkor a felhagyott bányaterületek. A víz kiemelés megszűntét követő vízszintemelkedés előnti a bánya nagy részét. Így az otthagyt szerves és szervetlen szennyezőanyagok bekerülnek a karsztjáratokba. Ezért ilyen bányafelhagyásoknál nem azt kell mérlegelni, hogy a bányából mit nem érdemes kihozni, hanem hogy minek a bent hagyása nem jelent környezeti kockázatot.

A természetes védettséggel rendelkező víztartók veszélyeztetetté is válhatnak, ha például egy felszínről kiinduló szerkezeti törésvonal keresztezi őket, amely mentén a szennyezőanyag gyorsan leszivároghat a más szempontokból egyébként védett víztartóba. A szennyezőanyagok gyorsabb lejutását segítheti elő például egy terület alábányászottsága is.

A **talajvíz** minőségét a beszivárgó vízben lévő gázok, a víz által érintett talajrétegek tulajdonságai és az ott végbemenő kémiai és biológiai folyamatok alakítják, azaz alapvetően helyi adottságok függvénye. A talajvíz gyakorlatilag ki van téve minden felszíni hatásnak is. A legfőbb szennyező hatás lakott területen (ipari tevékenységek, szennyvíz, hulladéklerakók) kívül a mezőgazdasági tevékenységgel kapcsolatos, főként a műtrágya és a növényvédőszer nem megfelelő alkalmazása okozza. A műtrágya hatóanyagai közül a nitrát egyáltalában nem adszorbeálódik a közetszemcsék felületén, így a legkisebb túladagolás is megjelenik a talajvízben. A foszfátokat a legtöbb talajban jelenlévő kalcium megköti, a káliumot pedig az agyagásványok adszorbeálják, így általában nem szennyezik a talajvizet, ugyanakkor jelentős terhelés várható a műtrágyákban lévő szennyeződésektől (toxikus fémek, félfémek). A növényvédőszernek általában a felszíni körülmények között, pl. az UV sugárzás hatására, hosszabb-rövidebb idő alatt lebomlanak, azonban ha túladagolás vagy gondatlanság következtében a felszín alatti közegbe bekerül, a lebomlás esélye ugrásszerűen csökken. Nem árt azt is megjegyezni, hogy az UV sugárzás lehet, hogy eltünteti a növényvédőszer eredeti molekuláit, vagyis a mérési technika ezt a vegyületet már nem fogja azonosítani, de sajnos az UV oxidációt nem tekinthetjük teljes körűnek, így következménye lehet különböző oxidáltsági fokú, ismeretlen toxicitású és viselkedésű vegyületek létrejötte.

2.2.3. A felszín alatti vizeket veszélyeztető területhasználatok és emberi tevékenységek

Azokat a kockázatos emberi tevékenységeket, amelyek károsan befolyásolhatják a felszín alatti vizeket, csoportosíthatjuk a tevékenység jellege és a területhasználat szerint.

A kockázatos emberi tevékenység lehet:

- a felszín megbontása, ill. a felszín izolálása, borítása,
- vízkivétel, vízhasználat, felszín alatti vízszintek megváltoztatása,
- vegyi anyagok gyártása, használata és tárolása,
- hulladékok és veszélyes hulladékok keletkezése és tárolása.

Kockázatos területhasználatok:

- ipari: bányászat, nehézipar, kőolajipar, vegyipar, feldolgozóipar, élelmiszeripar stb.,

- mezőgazdasági: talajművelés, öntözés, állattartás, műtrágyák- és növényvédőszer alkalmazása stb.,
- urbanizáció: felszíni változtatások, úthálózat, közlekedés, hulladékok stb.,
- egyéb területhasználatok: szabadidős tevékenység, természetvédelmi terület stb.

A különböző területhasználatokkal kapcsolatos, felszín alatti vizeket veszélyeztető tevékenységek.

Bányászat:

- A nyersanyagok kitermelése következtében drasztikusan megváltozhat: a felszín alatti vizek szintje (bányák víztelenítése miatti mesterséges vízszint-csökkentés),
- a felszín alatti vizek áramlási útja (víztartó rétegek kitermelése, vágatok átmosása),
- a felszín alatti vizek minősége (kőzetek kilúgzása, mikrobiológiai kioldás: savas bányavíz, bányákban hátrahagyott termelőeszközök, szennyezőanyagok).
- Vízkészítő rétegek nem megfelelő módon történő áttörése a nyomásviszonyok megváltozásához vezethet.
- Kutatófúrások és termelőkutak nem megfelelő kiképzése a különböző rétegek vizének keveredését, a szennyezőanyagok rétegbe jutását okozhatja.
- A mélyfúrásokba, illetve azokon keresztül a közetrétegekbe idegen anyag, esetleg szennyezőanyag visszainjektálása,
- Ipari víztározók és zagyotározók létesítése, veszélyes iszapok, zagyok tárolása,
- Meddőhányók és egyéb bányászati hulladékok nem veszélyes hulladéklerakónkénti kezelése - vagyis nem megfelelően biztonságos -, vagy ellenőrzés és rekultiváció nélkül hagyása veszélyezteti a környezetet. A meddőhányók két fő hidrogeológiai hatását emeljük ki. Egyrészt akadályozzák, módosítják a csapadékvíz felszíni lefolyását, beszivárgását. Másrészt a meddőhányón átszivárgó víz a meddő anyagból vegyületeket old ki és a kilépő víz már szennyező, sok esetben mérgező anyagot szállít tovább (pl. toxikus fémek, különböző kénvegyületek).

Ipar:

- Vízkivétel ipari célokra.
- Ipari technológiákból történő közvetlen kibocsátás: gyártott, tárait és használt vegyi anyagok vagy fizikai hatások levegőbe, felszíni vízben, talajra, a felszín alatti vízbe jutása.
- Tárolt vegyi anyagok környezetbe kerülése, felszín alatti tartályok kockázata.
- Vegyi anyagok szállítása, felszín alatti és feletti vezetékek (kőolaj és egyéb szénhidrogének).
- Ipari szennyvizek tisztítása és a tisztításkor keletkező iszapok lerakása.
- Ipari hulladékok lerakása, tárolása.
- Veszélyes hulladékok lerakása.

Mezőgazdaság:

- Mezőgazdasági célú víznyerés öntéséhez, állattartáshoz, kutak létesítése.
- Mezőgazdasági célú vízhasználatok és szennyvizek:
 - magán kutak,
 - öntözés (bemosódás a felszínalatti vízbe, talaj kilúgzásával tápanyag hiány, szikesedés előidézése stb.),

- a szennyvízszikkasztók és a hígtrágya-szikkasztók szerves anyagok és patogén mikrobák potenciális forrásai.
- Trágyázás:
 - műtrágyák felhasználása következtében toxikus elemek és radioaktív mikro-szennyezők bevitel a talajba, onnan bemosódás a talajvízbe, nitrát bemosódása a felszín alatti vízbe, nitrogén és foszfor bemosódása a felszín alatti és a felszíni vizekbe (eutrofizáció),
 - a szerves tápanyagpótlók, a trágya, a hígtrágya, a komposzt, a szennyvíz és szennyvíziszap toxikus fémek és nem bomló (perzisztens) szerves szennyezők felhalmozódását, a higiénias minőség romlását okozhatják.
- Növényvédő szerek alkalmazása során direkt a talajra vagy a talajba juttatott, valamint légi permetezéssel a talajra és a felszíni vízbe juttatott toxikus és perzisztens vegyi anyagok.
- Dögtemető: fertőző mikroorganizmusok talajba, felszíni és felszín alatti vízbe jutása.
- Mezőgazdasági géppark fenntartása, üzemeltetése: Az üzemanyagok, kenőanyagok, zsírtalanító szerek tárolása, felhasználása, az erőgépek, betakarító gépek, szállítójárművek működtetése, javítása során a talajba, talajvízbe kerülő szénhidrogén vegyületek.

Urbanizáció

- Vízkivétel: közüzemi kutakkal nagy mennyiségű ivóvízkivétel a felszíni vizekből és a felszín alatti vizekből.
- Szennyvíz: nagy mennyiségű szennyvíz keletkezése, a kommunális és az ipari szennyvizek kevert gyűjtése, illegális csatorna rákötések, biológiai fokozattal is rendelkező szennyvíztisztítók általános hiánya.
- Szennyvízszikkasztók és derítők: a települések csatornázatlansága miatt nagy mennyiségű szennyvíz elszikkasztása, azaz direkt a talajba (talajvízbe) szivárogtatása, magas szerves anyag és nitrát tartalommal, magas higiénés kockázattal.
- Közüzemi szennyvíztisztító: a tisztított szennyvíz a felszíni vizeket terheli, a szennyvíziszap a talajt, illetve azon keresztül a talajvizet.
- Kommunális szilárd és folyékony hulladéklerakó: megfelelően megválasztott és előkészített helyszínre, ellenőrzöten és megfelelően izolálva lerakott hulladék kis kockázatot jelent a felszín alatti vizekre, de régebbi és nem szakszerűen lerakott hulladékokból a megbontott felületen keresztül beszivároghatnak a veszélyes anyagok.
- Egyéb hulladéklerakók: építési törmelék, salak, ipari hulladékok.
- Illegális hulladéklerakók esetén hiányzik a terület alkalmasságának vizsgálata, a lerakó szigetelése, melyhez hozzájárul a lerakott anyagok ismeretének hiánya.
- Közlekedés:
 - autóutak, úthálózat, vízi közlekedés
 - hajtóanyagok felhasználása, szállítása, raktározása, üzemanyag- töltőállomások,
 - közlekedési hulladékok: kipufogógázok, fáradt olajok, autógumi, akkumulátorok,
 - útsózás, útfelületek tisztítása
- A felszín borítottsága: A város talajának nagy része szilárd burkolattal borított, ami megváltoztatja a vizek lefolyását és beszivárgását. A nem borított részekeken intenzívebb beszivárgás valószínű. Az esővíz a csatornahálózaton keresztül a felszíni vizeket terheli, és nem jut el a felszín alatti vizekbe. A felszín borítottsága megváltoztatja az alatta lévő talaj, víz, és levegő viszonyait, ezen keresztül módosíthatja a víz felszín alatti útját és minőségét.

- A csatornahálózatok felgyorsíthatják a szennyezések terjedését, a csatornák repedésein keresztül a szennyezőanyagok a talajba, ill. a talajvízbe szivároghatnak.
- Haváriák, balesetek: Az intenzív használat során gyakoriak a balesetek, haváriák, melyek sokszor a felszín alatti vizeket veszélyeztetik a szennyezőanyag ok - földalatti tartályok kilyukadása, tankautók borulása, veszélyes vegyi anyagokat szállító járművek balesetei, technológiai hibák és balesetek üzemekben, helytelen tárolás és raktározás stb. miatti környezetbe kerülésével.

2.3. A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI VIZEK LEGGYAKORIBB SZENNYEZŐANYAGAI

2.3.1. *A szennyezőanyagok csoportosítása*

A szennyezőanyagokat (mint már az alapfogalmakat magyarázó fejezetben is láhattuk) sokféle szempont szerint lehet csoportosítani, kiegészítőül, ill. ismétlésként néhány lényeges szempont:

- A szennyezést okozhatja természetes anyag abnormális koncentrációja vagy természetidegen anyag (xenobiotikum).
- A környezeti elemekben és az élő szervezetekben szokásos koncentrációjuk alapján, lehetnek makro-, mezo- és mikro-szennyezők.
- A szennyezők fizikai állapotukat tekintve lehetnek szilárd formában, például kovalens kötással a talaj szemcsék szervesen vagy szerves mátrixába épülve vagy adszorbeált formában, ionosan kötve. Lehetnek a vizes fázisban oldva vagy abban szuszpendálva, esetleg a felszín alatti víz felületén különálló fázist alkotva. A szennyezők egy része gőz, vagy gázfázisú, a talajlevegőben vagy a talajvízben oldva.
- Kémiai szerkezetük szerint lehetnek szervesen, szervetlen vegyületek és szerves vegyületek.
- Hatásaik alapján lehetnek toxikus, mutagén, teratogén stb. anyagok. Hatásuk koncentrációjuktól függ, némelyek kis koncentrációban esszenciálisak, azaz az élő szervezetek számára nélkülözhetetlenek.

2.3.1. *A leggyakrabban előforduló szennyezőanyagok*

A szennyező típusa, fizikai állapota és koncentrációja nagymértékben különbözhet, de mivel a felszín alatti közegek szennyeződése többnyire ipari és mezőgazdasági eredetűek, így a különböző országokban nagyon hasonló a legveszélyesebb szennyezők listája. Ezek szerint a leggyakoribb, a talajt, a felszíni és felszín alatti vizeket szennyező anyagok fontosabb csoportjai az alábbiak:

- Nitrátok, foszfátok, szerves anyagok, melyek természetes koncentrációban szükségesek és ártalmatlanok, de nagy koncentrációban károsak. A talaj nem képes visszatartani és hasznosítani őket, így jó vízzeloldhatóságuk miatt a felszín alatti vizekbe bemosódhatnak

elszennyezve azokat. Forrásaik a helytelenül alkalmazott mű- és szerves trágyák, elszikkasztott szennyvizek és hígtrágyák.

- Illó- és nem illó alifás és aromás szénhidrogének. Főként az üzemanyagok, fűtőanyagok, oldószerek tartalmazzák, mint pl. a kerozin, benzin, gázolaj, könnyű fűtőolajok stb. Ide tartoznak a normál- izo- és ciklikus paraffinok, a benzol gyűrűt tartalmazó monoaromásvegyületek (benzol, toluol, xilolok, etil benzol, alkil benzolok), a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) stb. Leggyakoribb szennyező iparágak és tevékenységek a kőolajbányászat (fűrőtornyok és kutak), feldolgozás (finomítók), szállítás (tankerek, csővezetékek), tárolás (tartálparkok) és forgalmazás (töltőállomások), a laktanyák, a közlekedés, a műanyaggyártás (petrolkémia). Bizonyos szénhidrogének (pl. a normál paraffinok) biológiailag könnyen bomlanak és kevésbé toxikusak, ezeknél az ökoszisztéma veszélyeztetése gyakran a levegőtől való elzáródásuknak (mélyebb rétegekbe, anaerob viszonyok közé való kerülésüknek) tulajdonítható. Kockázatosabbak (toxikus, mutagén, karcinogén, teratogén hatásúak) az aromás és a policiklikus aromás szénhidrogének. Ezek biodegradálhatósága limitált, egyesek nagymértékben perzisztensek. Poliaromás szénhidrogének mindig kísérik az olajos szennyeződések, de a városi gázt előállító gázgyárak környékén, az általuk létesített depóniákban, feltöltésekben ("gáztisztító massa") is jellemző ez a kevésbé vízzoldható szennyezőanyag.
- Illó- és nem illó halogénezett szerves vegyületek, mint klórozott alifás szénhidrogének (pl. triklóretilén, perklóretilén), klórozott aromás szénhidrogének (pl. klórbenzolok) peszticidek és poli klórozott bifenilek (PCB). Szinte kivétel nélkül erősen toxikus hatású vegyületek, melyek az ökoszisztémát és az embert egyaránt veszélyeztetik, perzisztensek, bioakkumuláló hajlamuk nagy. Forrásaik pl. a növényvédőszer gyártás, a fafeldolgozás, a papírgyártás, a műanyagipar, zsírtalanítás, vegytisztítás és a villamos ipar (PCB).
- Toxikus fémek és félfémek, továbbá vegyületeik (Ag, As, B, Be, Cd, Co, Cr, CrVI, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Sn, Pb, Zn) az ércbányászat, a kohászat és a fémfeldolgozás, galvanizálás, valamint az akkumulátorok és a szárazelemek gyártásakor kerülhetnek a környezetbe. A közlekedés, a növényvédőszer szintén növelik a környezet toxikus fémterhelését. A szennyvíziszappal, a műtrágyákkal folyamatosan terheljük talajainkat toxikus elemekkel. A hulladéklerakók, a legális és az illegális tárolók egyaránt kockázatot jelentenek a környezetre. A környezetbe került toxikus elemek, ill. vegyületeik végállomása nagy valószínűséggel a talaj, vagy a felszíni vizek üledéke. (A toxikus fémek koncentráció hatás görbéjén tűrhető és toxikus szakaszokat különböztethetünk meg. Az ún. esszenciális fémek esetében (Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, B, Mo, Cr, Co, Sn) ennek a görbének a kis koncentrációk tartományában a toxikus tartomány előtt egy optimális és egy hiányt jelentő szakaszuk is van.)
- Szabad és komplex cianidok az ércbányászat, illetve feldolgozás, a bőrgyártás, korábban a gázgyártás és a fotócikek előállításával kerülhetnek a környezetbe.
- Radioaktív anyagok (^{40}K , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{238}U és ^{134}CS , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I), melyek természetes forrásokból (pl. K-műtrágyák alapanyagai) és emberi tevékenység révén (urán- és thoriumbányászat, atomreaktorok balesetei, atomrobbantás) kerülhetnek a környezetbe.

2.3.1.1. A földtani közegben és a felszín alatti vizekben legveszélyesebbnek ítélt szennyezőanyagok áttekintése, a velük kapcsolatos hazai jogi szabályozás, határértékek

A földtani közeg és a felszín alatti víz védelméről megjelent jogszabályok közül négy ismeretét tartjuk elengedhetetlenül fontosnak:

- a 33/2000 (111.17.) Korm. rendeletet a felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról (2004. augusztus 5-től hatályon kívül helyezte a 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet),
- a **219/2004 (VII.21.) Korm. rendeletet a felszín alatti vizek védelméről (jelenleg hatályos)**,
- a 10/2000 (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendeletet 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 (jelenleg hatályos).**

Bár a 33/2000 (111.17.) Korm. rendelet hatályon kívül került 2004-ben, mégis tanácsos megismerni bizonyos előírásait, fogalmait, mivel négy éven keresztül (2000-2004) rendkívül sok olyan, a földtani közegre és a felszín alatti vizekre vonatkozó tényfeltárás, műszaki beavatkozás (talaj- és talajvíztisztítás), monitoring kezdődött és fejeződött be, amelynek dokumentumait e rendelet ismerete nélkül nem lehet értelmezni. Ugyanez vonatkozik a 10/2000 (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet hatályon kívül helyezett részeire is.

Fentiekre tekintettel a továbbiakban igyekszünk minden olyan fontosabb jogszabályi változásra rávilágítani, amelyek eltéréseket eredményeztek az egyes említett rendeletek között.

A Magyarországon a földtani közeg és a felszín alatti víz szempontjából **a legveszélyesebbnek tartott szennyezőanyagokat a 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet 1. számú melléklete sorolja fel.** A felsorolás az Európai Gazdasági Közösség által kiadott Tanács **80/68 EKG** irányelv (a felszín alatti vizek meghatározott veszélyes anyagokkal való szennyeződése elleni védelemről) függeléke, továbbá az Európai Parlament és Tanács **2000/60/EK irányelv** (a Közösség vízügyi politikájának kereteiről) VIII. függeléke szerinti csoportosítást alkalmazza. Az említett irányelvek és a Korm. rendelet a környezeti szempontból kockázatos anyagokat (szennyezőanyagokat) veszélyességük (toxicitás, lebomlás és a szervezetben való felhalmozódás) alapján K₁ és K₂ minősítésű anyagokra osztják. A K₁ csoportba tartozó nagy Kockázatot jelentő anyagokat az I. Jegyzék, a K₂ csoportba sorolt kis kockázatot reprezentáló anyagokat pedig a II. Jegyzék tartalmazza. Az I. Jegyzéket nevezhetjük feketelistának, a II. Jegyzéket pedig szürkelistának". Ezek a listák elősegítik egy adott szennyeződés kockázatosságának előzetes megítélését. Sőt! A 80/68 (EKG) szám alatt megjelent, 1979-ben elfogadott irányelv szerint: "A tagállamok megteszik a szükséges intézkedéseket azért, hogy az I. Jegyzékben lévő anyagok bejuttatását a talajvízbe megakadályozzák, a II. Jegyzékben lévő anyagok bejutását a talajvízbe korlátozzák, hogy a talajvíznek a szennyeződését ezektől az anyagoktól megelőzzék."

I. Jegyzék a veszélyességük alapján K1 minősítésű anyagokra:

1. Szerves halogén vegyületek és olyan anyagok, amelyek a vízi környezetben szerves halogéneket képezhetnek.
2. Szerves foszforvegyületek.
3. Szerves ónvegyületek.
4. Anyagok és készítmények, vagy ezek lebomlási termékei, amelyekről bebizonyosodott, hogy karcinogén vagy mutagén tulajdonságokkal rendelkeznek, vagy pedig olyan tulajdonságokkal, amelyek kedvezőtlen hatással vannak a szteroidogén, thyroid, szaporodási vagy endokrin függő funkciókra a vízi környezetben vagy azon keresztül.
5. Higany és vegyületei.
6. Kadmium és vegyületei.
7. Ásványolajok és más szénhidrogének, különösen a perzisztens szénhidrogének.
8. Cianid ok.

II. Jegyzék a veszélyességük alapján K2 minősítésű anyagokra:

1. Az 1. Jegyzékben nem szereplő félfémek és fémek, valamint vegyületeik, különösen a következő fémek és félfémek: cink, réz, nikkel, króm, ólom, szelén, arzén, antimon, molibdén, titán, ón, bárium, berillium, bór, urán; vanádium, kobalt, tallium, tellúr, ezüst
2. Az 1. Jegyzékben nem szereplő biocidok és származékaik.
3. A felszín alatti víz ízét és/vagy szagát rontó anyagok, valamint olyan vegyületek, amelyek ilyen anyagok képződését okozzák e vizekben, és ezzel a vizet emberi fogyasztásra alkalmatlanná teszik.
4. Mérgező vagy bomlásálló szerves szilíciumvegyületek, valamint olyan vegyületek, amelyek ilyen anyagok képződését okozzák a vízben, kivéve azokat, amelyek biológiailag ártalmatlanok, vagy gyorsan átalakulnak a vízben ártalmatlan anyagokká.
5. Szervetlen foszforvegyületek, valamint az elemi foszfor.
6. Fluoridok.
7. Ammónia és nitrátok.
8. Az eutrofizációt elősegítő anyagok (különösen a nitrátok és a foszfátok)
9. Szuszpenzióban lévő anyagok
10. Az oxigénháztartásra kedvezőtlen hatással levő anyagok (amelyek olyan paraméterekkel mérhetők, mint a BOI és KOI).

A földtani közegben és a felszín alatti vízben az egyes szennyezőanyagokra vonatkozó **konkrét immissziós határértékeket a 10/2000(VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet határozta meg.** Ez az együttes rendelet hatályba lépésekor tulajdonképpen a 33/2000(111.17.) Korm. rendelet végrehajtásának tárgykörében jelent meg. Időközben - 2004. augusztus 5-i hatállyal - a 33/2000 (111.17.) Korm. rendeletet felváltotta a **219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről.** A 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékeket jelneleg a **6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet tartalmazza.**

2.3.2. 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EÜM-FVM EGYÜTTES RENDELET SZERINTI SZENNYEZŐANYAGOKRA VONATKOZÓ HATÁRÉRTÉKEK.

A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EÜM-FVM együttes rendelet 1. és 2. számú melléklete tizenhárom csoportba osztva mutatja be a földtani közegre és a felszín alatti vízre kockázatot jelentő szennyezőanyagokat.

2. melléklet a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EÜM-FVM együttes rendelethez

Anyagcsoportonként (B) szennyezettségi határértékek felszín alatti vizekre

CAS szám = Chemical Abstract Service azonosító száma

K_i = a veszélyességét jellemző besorolás, mely szerint K1 a minden esetben veszélyes anyagokat jelöli

B = (B) szennyezettségi határérték

1. Fémek és félfémek (mértékegység: ug/L)

CAS szám		B	K _i
7440-47-3	Króm	50	K2
	Króm VI.	10	K1
7440-48-4	Kobalt	20	K2
7440-02-0	Nikkel	20	K2
7440-50-8	Réz	200	K2
7440-66-6	Cink	200	K2
7440-38-2	Arzén	10	K1
7439-98-7	Molibdén	20	K2
7782-49-2	Szelén	10	K2
7440-43-9	Kadmium	5	K1
7440-31-5	Ón	10	K2
7440-39-3	Bárium	700	K2
7439-97-8	Higany	1	K1
7439-92-1	Ólom	10	K2
7440-42-8	Bór (B)	500	K2
7440-22-4	Ezüst	10	K2

8. ábra 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EÜM-FVM együttes rendelet 2. számú mellékletéből részlet

Az első anyagcsoport **a fémek ("összes" kioldható) és félfémek**, a második **a szerves vegyületek**, a harmadik a **szénhidrogének**, a negyedik pedig a **benzol és alkilbenzolok (BTEx)** csoportja (ami folytatódik a rendelet következő lapján is).

Az anyagcsoportokon belül, a táblázatok második oszlopában az egyes anyagcsoportokba sorolt anyagok, vegyületek, vegyület csoportok megnevezése jelenik meg és ahol az lehetséges, ott az első oszlopban feltüntetve az illető vegyületnek a CAS számát, azaz a Chemical Abstract Service szakfolyóiratban publikált, egységes azonosító számát. Az anyag csoportokon belüli anyagokhoz, vegyületekhez tartozóan a táblázatok 3. oszlopában koncentráció értéket találunk, amely a táblázat fejlécében B betűvel jelöltek. Az egyes koncentráció értékek dimenzióját a táblázatok feletti jobb felső sarokban találjuk, a földtani közeg esetében mg/kg szárazanyagban megadva.

A táblázatok fejlécében szereplő **B betűjele és az ehhez kapcsolódó határértékek** értelmezését a **219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet alapján** az alábbiakban adhatjuk meg:

„**(A) háttér-koncentráció:** reprezentatív érték; egyes anyagoknak a természetes vagy ahhoz közeli állapotban általában előforduló koncentrációja a felszín alatti vízben, illetve a **talajban.**” Az A érték a tiszta környezeti elem anyagtartalma "átlagos magyarországi viszonyok" között, vagyis ez az érték nem tartalmazza sem a természetes, sem a mesterséges anyagdúsulásokat, szennyeződések. Szerepe a tájékoztatás, a viszonyítási lehetőség, annak érdekében, hogy a területen mért koncentrációt legalább egy szempontból azonnal minősíteni lehessen. Bár a táblázat nem tartalmazhatja, mivel területi adottságok szerint változhat az értéke, mégis logikailag itt tárgyalható az (Ab) bizonyított háttér-koncentráció fogalma is.

„**(Ab) bizonyított háttér-koncentráció:** meghatározott anyagnak adott térségre jellemző, az (A) háttérkoncentráció helyett, vizsgálatokkal megállapított tényleges koncentrációja a felszín alatti vízben, a földtani közegben, ami természetes adottságok, illetve a vizsgált terheléstől független diffúz terhelés, szennyezés, vagy felszíni vízen keresztül történő terhelés hatására alakul

Természetes dúsulása lehet pl. az arzénnek az alföldi régióban a rétegvizekben vagy a poliaromás, policiklikus szénhidrogéneknek a láp- és erdőtalajok felső szintjében, de jelentős ammónia és nitrát háttér koncentrációra lehet számítani például egy árnyékszékekben bővelkedő (diffúz szennyezőforrás) hobbi terület felől, ha éppen egy talajvíz áramlási irányba eső szomszédos, vagy éppen a hobbi területbe benyúló hígtrágyatónak a talajvíz minőségére gyakorolt hatását vizsgáljuk.

„**(B) szennyezettségi határérték:** jogszabályban, illetve ezek hiányában hatósági határozatban meghatározott olyan szennyezőanyag-koncentráció, illetve egyéb minőségi állapot jellemzők olyan szintje a felszín alatti vízben, a földtani közegben, amelynek bekövetkeztekor a földtani közeg, a felszín alatti víz szennyezettnek minősül, figyelembe véve a felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztémák igényeit, földtani közeg esetében pedig a talajok többes rendeltetését és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységét.”

Vagyis a (B) érték már valódi határérték, eddig a koncentrációig a környezeti elem terhelése nem jár nagy kockázattal. Jogszabálybeli meghatározásánál a célállapotoknál tárgyalt szempontok voltak az irányadók: a talaj esetében a multifunkcionalitás, a felszín alatti víz felé való átszennyezés megakadályozása. A felszín alatti víz esetében az ivóvíz előállításra való alkalmasság és a vízi ökoszisztémák fenntarthatósága. A gyakorlatban, ha egy területen valamilyen szennyezőanyag koncentrációját (A) háttér-koncentráció és (B) szennyezettségi határérték között mérjük, akkor azt mondjuk, hogy az adott mintában, pontban, szintben a vizsgált környezeti elem az illető **szennyezőanyaggal terhelt**, ha a (8) szennyezettségi határérték feletti koncentrációt mutatunk ki, akkor pedig **szennyezett**.

A 10/2000. rendeletben lévő táblázatok fejlécében szereplő **C₁, C₂, C₃ betűkkel jelzett határértékeket a 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet hatálytalanította.**

Mit is jelentettek ezek a határértékek? A 33/2000 (111.17.) Korm. rendelet szerint a (C_i) intézkedési szennyezettségi határérték: a környezetre kockázatot jelentő szennyezőanyagoknak olyan koncentrációja, amelyet meghaladó érték esetén a környezetvédelmi felügyelőségnek intézkednie kellett, ki kellett vizsgálnia a szennyezés jelentőségét, kockázatát.

A (C_i) intézkedési határértéknél nagyobb koncentráció esetén ugyanis a jogszabály szerkesztői abból indultak ki, hogy ekkor már a környezeti kockázat elviselhetetlenül nagy és alapos gyanú van arra, miszerint a környezeti elem károsodottnak, azaz beavatkozás nélkül helyreállíthatatlannak tekinthető. Lényeges szempont, hogy ez az állapot már egy bekövetkezett, nemkívánatos szennyező tevékenység vagy esemény eredménye. A kivizsgálás után a felügyelőség döntött arról, hogy elrendeli-e a részletes tényfeltárást, a talaj- és/vagy talajvíztisztítást vagy a monitoring tevékenységet. Abban az esetben, ha elrendelték a szennyezett közeg megtisztítását, akkor azt az ún. (D) kármentesítési szennyezettségi határérték [a 219/2004 (VII.21.) Korm. rendeletben már **kármentesítési célállapot határértékként** megnevezve] tartós eléréséig kellett folytatni. A kármentesítési szennyezettségi határértéket pedig a konkrét kárhely komplex értékelésén, a kockázatos szennyezőanyagoknak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken vagy modellszámításokon, mennyiségi kockázatfelmérésen alapuló, a területhasználat figyelembe vételével kellett megállapítani, úgy hogy az emberi egészség és az ökoszisztéma károsodását el lehessen kerülni. Mint látjuk a 33/2000 (III.17.) Korm. rendelet - szem előtt tartva, hogy a szennyezőanyagok minősége, koncentrációja, viselkedése, ill. a környezetföldtani, az ökológiai, a területhasználati stb. viszonyok szerint vizsgálva nincs két egyforma kárhely - teljesen progresszív módon, a szakemberek számára lehetővé tette a kockázati alapú beavatkozást, a kármentesítési szennyezettségi határértékre való **kockázati alapú javaslat tételt**, ill. a hatóságok számára ezeknek a javaslatoknak a mérlegelés utáni figyelembe vételét.

Sajnálatos módon a C értékek nagymértékben „elburokratizáltak”, kiiktatták, gépiesen leegyszerűsítették, a sokszor fáradságos és ténylegesen sokirányú szakmai ismereteket feltételező kockázat alapú beavatkozásokat, O-érték meghatározásokat. Sokkal egyszerűbb volt ugyanis a következő sematikus eljárás. Az arra rendszeresített szennyeződés érzékenységi térképről vagy település soros listáról ki nézte a "szakember", hogy a vizsgált terület, kárhely melyik szennyeződés érzékenységi kategóriához tartozik. A 33/2000 (III.17.) Korm. rendelet 2/1. melléklete három ilyen kategóriát különböztetett meg: „**A**” **Fokozottan érzékeny területek**, amelyeken az intézkedési szennyezettségi határérték $C_i = C_1$ volt..a „**B**” **Érzékeny területek**, amelyeken az intézkedési szennyezettségi határérték $C_i = C_2$ volt és a „**C**” **Kevésbé érzékeny területek**, amelyeken az intézkedési szennyezettségi határérték $C_i = C_3$ volt. Végtelenül leegyszerűsítve a valósághoz képest a dolgot, ezután a „szakember” készített egy fél-, egyoldalas táblázatot, amelyben a különböző kockázatokat (pl. szennyezőanyag minőségéből, terjedéséből eredő, geokémiai, ökológiai, egészségügyi stb.) egy-egy mondatban jellemezte (pl. kicsi, közepes, nagy), de ez majdnem mindegy volt, hiszen a O-értékre úgy tett javaslatot ezek után, hogy a szennyeződés érzékenységi kategóriához tartozó C_i koncentrációt vagy ennél valamivel alacsonyabbat jelölt meg. Sajnos ebben sok hatósági szakember is partner volt, hiszen ha az adott szennyeződés érzékenységgű területhez tartozó intézkedési szennyezettségi határértékre vagy valamivel az alá megtisztítják az adott területet tartósan, akkor a jogszabály úgymond rendben valónak tartja a területet, hiszen az erre hivatott szervezeteknek nem ír elő intézkedési kötelezettséget.

Talán ennek a gyakorlatnak a tényleges kockázatokat mérlegelő intézkedések, beavatkozások rovására való elterjedése volt az egyik oka annak, hogy a C-értékek megszűntek.

A táblázatok fejlécében szereplő **K_i betűjel** értelmezését a **219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet alapján** az alábbiakban adhatjuk meg:

- K_i: az ilyen jelölésű szennyező anyag a toxicitás, a lebomlás és a szervezetben való felhalmozódás alapján nagy kockázatot jelent.
- K₂: a fenti szempontokat figyelembe véve kis kockázatot jelentő anyagok.

Az egyes szennyezőanyag csoportok táblázatai alatt a mintavétel és a minták analitikai vizsgálatára vonatkozó fontosabb előírásokat adja meg a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet.

A földtani közeggel és a felszín alatti vizekkel kapcsolatos határértékek gyakorlati alkalmazására a 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet szerinti kármentesítési eljárás ismertetésénél a későbbiekben még vissza fogunk térni.

2.3.3. A SZENNYEZŐANYAG CSOPORTOK RÉSZLETEZŐ BEMUTATÁSA

Az egyes anyag csoportok, ill. az anyag csoportokon belüli anyagok, vegyületek esetében igyekszünk bemutatni azokat a főbb szennyező forrásokat, amelyekből a környezetbe kerülhetnek, környezeti (terjedési), egészségügyi és ökológiai kockázataikat, ill. azokat a lényeges tulajdonságaikat, amelyek befolyásolják veszélyességüket, a környezetben való viselkedésüket. (A rendeletet előadáson minden résztvevőnek kiosztjuk.)

2.3.3.1. Fémek és félfémek

A csoport tagjai - ugyanúgy, mint a fémionként hasznosuló tápelemek - különböző formákban vannak jelen a talajban. A folyadékfázisban: hidratált ionként, valamint oldható szerves és szervetlen komplex vegyületek formájában, a szilárd fázisban pedig oldhatatlan csapadékokban, a szerves és szervetlen kolloidok felületén kicserélhető és specifikusan adszorbeált formában, ill. a szilikátok kristályrácsában fordulnak elő. A különböző formák között, a rendszer tulajdonságai által megszabott dinamikus egyensúly alakul ki, ha például nagy mennyiségű toxikus anyag kerül a talajba, az adszorpciós és csapadékképződési reakciók válnak dominánssá. A talaj savanyosodásakor viszont jelentősen megnő a mobilis formák mennyisége, a fémionok oldatbeli koncentrációja. A talaj savanyosodása különösen veszélyes a már szennyezett területeken, mert a talaj "eredeti" állapotában oldhatatlan nehézfém vegyületek mobilizálódva súlyos környezeti károkat okozhatnak.

A kémhatáson kívül az adszorpció mértékét és a kötés erősségét nagymértékben befolyásolja a nehézfém fajtája, talajba került mennyisége és a talaj redoxi állapota. Ez utóbbit - mivel a talajban zajló kémiai (geokémiai) és biológiai (biokémiai) folyamatok egyik leglényegesebb determinálója - kicsit részletesebben is tárgyaljuk.

A talaj redoxi állapota

Az oxidáció elektronleadással, a redukció elektronfelvétellel jár. Redoxi reakció csak akkor játszódhat le, ha a rendszerben egyidejűleg van jelen az elektronfelvételre képes, azaz

oxidált állapotú anyag (oxidálószer) és az elektron leadásra képes redukálóanyag (redukálószer).

Az oxidált és redukált anyagokat együtt tartalmazó rendszereket redoxirendszereknek nevezzük. A redoxirendszerek jellemzésére a redoxipotenciál (E_h) használható, melynek mérésekor sima platina elektródot és egy ismert potenciálú összehasonlító elektródot (normál hidrogén elektródot) merítünk a rendszerbe. Az elektródok között kialakuló potenciálkülönbség az oxidált, ill. redukált anyag mennyiségétől és egymáshoz viszonyított arányától függ. Az E_h mértékegysége milliVolt (mV) vagy Volt (V). Megjegyzendő, hogy egy negatívabb standard redoxipotenciállal rendelkező anyag elektronvesztési tendenciát mutat egy nálánál pozitívabb (nagyobb) standard redoxipotenciállal rendelkező anyaggal szemben.

A talajban egyidejűleg több, egymással kölcsönhatásban álló redoxirendszer fordul elő. Ezért az észlelt redoxipotenciál a jelenlévő redoxipárok "kevert" potenciálja. Ráadásul az oxigén ellátottsági körülmények is kisebb-nagyobb mértékben változnak (nedves és száraz talajállapot, hőmérsékletingadozás stb.) és a redoxi reakciókban résztvevő elemek egy része sem pontosan ismert kötésformában fordul elő a szerves (ill. a szerves-ásványi) komplexumokban. Így az egyszerű, tiszta rendszerek redoxi jellemzői talajokra csak tájékoztató jellegűek lehetnek. Az oxidáció-redukció által érintett legfontosabb elemek: a szén, a nitrogén, a kén, a vas és a mangán. A földtani közegben, ill. a felszín alatti vízben - különösen a szerves szennyezőanyagok lebonthatósága szempontjából a következő fontosabb elektronakceptorokat és elektrondonorokat különböztethetjük meg.

Elektronakceptorok és elektrondonorok

- Oxidálószer (elektronakceptorok)
 1. A legerősebb elektronakceptor a talajban molekuláris oxigén.
 2. Alternatív vagy másodlagos elektronakceptorok (oxigénhiányos környezetben)
 - A. NO_3^- ionok.
 - B. Mn(III)- és Mn(IV)-oxidok, a MnOOH
 - C. Fe(III)-vegyületek (Fe_2O_3 , FeOOH stb.)
 - D. SO_4^{2-} ionok
 - E. Nagyon alacsony redoxipotenciál esetén egyes szerves anyagok, szén-dioxid.
- Redukáló anyagok (elektrondonorok)
 1. Növényi maradványok és a talaj szerves anyagai (szerves-C)
 2. Másodlagos elektrondonorok:
 - A. a szerves anyagok nitrogén- és kéntartalmú csoportjai ($-\text{NH}_2$, $=\text{NH}$, $-\text{SH}$)
 - B. NH_4^+ ionok
 - C. HS^- , S^{2-}
 - D. Fe^{2+} és Mn^{2+}

A talajok redoxipotenciálját alapvetően a talaj levegőellátottsága szabja meg. Minden olyan tényező, mely a talaj levegőzöttségét befolyásolja (pl. nedvességtartalom, a tömördőzség stb.) a redoxipotenciálra is hatással van. A talaj átnedvesedésekor csökken, száradás során pedig nő a redoxipotenciál. Ebből következik, hogy a talajok E_h -ja évszakonként, sőt rövidebb időszakokban is változik. A változás a felső rétegekben 100-600 mV (0,1-0,6 V) körüli.

A talajok redoxipotenciálja (E_h) többnyire -300 és + 600 mV között van. Jó szerkezetű vályogtalajokban 450-600 mV, a nedvesebb (víz hatása alatt képződött) réti talajokban 100-200 mV körüli, vízzel borított területeken pedig 2-3 hét alatt -150, sőt -300 mV-ra is lecsökkenhet.

Ha a talajt víz borítja vagy a talajvíz a felszínhez közel kerül, az érintett rétegek vízzel telítődnek. Mivel az oxigén vízoldhatósága kicsi (mintegy 10 mg/dm^3 25 °C-on), s diffúziója a vízzel telt pórusokban kb. 10000-szer kisebb, mint a levegőben, az oxigén utánpótlása a légkörből gyakorlatilag megszűnik.

A különböző anyagok redukciója meghatározott sorrendben történik, mikroorganizmusok közreműködésével. A jelenlevő oxigént az aerob mikroorganizmusok gyorsan felhasználják a szerves anyag oxidatív bontásához. Ezután fakultatív és az obligát (szükségszerűen) anaerob mikroszervezetek válnak uralkodóvá, amelyek a gyengébb elektronakceptorokat is fokozatosan hasznosítani tudják a szerves anyagok további átalakításánál. A redoxifolyamatok következtében több vegyület oldhatósága, és így az egyes elemek mozgékonyasága is jelentősen megváltozhat.

A földtani közeg és a felszín alatti víz redoxiállapotának és pH-jának nemcsak a fémionok oldható, azaz biológiailag hasznos/hasznosítható vagy káros/toxikus koncentrációban való megjelenésében, mobilizálásában van jelentős szerepe, ugyanis pl. a környezetszennyező szerves anyagok lebomlási rátája aerob körülmények között nagyságrendekkel meghaladja az anaerob viszonyok mellett lehetőségét. Ráadásul anaerob körülmények között megnő a toxikus közti termékek kialakulásának, felhalmozódásának az esélye is. A későbbiekben látni fogjuk, hogy főként ezen okok miatt a szerves szennyező anyagok lebontására irányuló kármentesítési technológiák elsődleges célja, a mentesítendő közeg minél jobb oxigén ellátottságának a biztosítása. Ugyanakkor a részben anaerob, anaerob körülmények között a lebontást végző mikroszervezetek az alternatív elektronakceptorokat használják fel a szerves szennyezőanyagok lebontására, oxidációjára, segítve ezzel a szennyezett közeg öntisztulási folyamatait. Meg kell jegyezni, hogy a helyzetet tovább bonyolítja, miszerint a talajban kis távolságokon belül is rendkívül különböző oxigén ellátottsági és ezáltal redoxi viszonyok alakulhatnak ki.

A különböző talajkomponensekhez kötött fémionok mennyiségének és részarányának jellemzéséhez, a talajszennyeződés környezeti, biológiai hatásainak a megítéléséhez - a talaj tulajdonságain kívül - nemcsak a toxikus fém összes mennyiségét, hanem mobilis (biológiailag felvehető, biológiailag aktív) készletét is számításba kell venni. A könnyen mobilizálódó (oldott és kicserélhető) ionokat desztillált vízzel, sóoldatokkal, többek között 0,05 vagy 0,5 M CaCl_2 -dal, ill. KCl -dal is ki lehet vonni a talajból. A szilárd fázis szerves anyagaihoz komplex kötéssel kapcsolódó frakció kinyerése megoldható híg salétromsav (HNO_3) és 30%-os hidrogén-peroxid (H_2O_2) alkalmazásával. (Már itt jegyezzük meg, hogy azok a kármentesítési eljárások, amelyek a talajvíz oxigén ellátottságát kívánják növelni hidrogén-peroxid talajvízben való oldásával, nemcsak a talaj szerves anyagaiból hoznak létre különböző oxidáltsági fokú, így ismeretlen toxicitású vegyületeket, hanem jelentős kockázatot jelenthetnek a fémionok mobilizálódása terén is.) A fémoxidokhoz és az agyagásványokhoz specifikusan kötött (nem mozgékony formák) extrahálásához savanyú kémhatású (kb. 3,3 pH-jú) ammóniumoxalát/oxálsav pufferoldat, az "összes fém" mennyiség felszabadításához pedig HNO_3/HF , ill. $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ használható.

A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg vizsgálatára az MSZ 21470-50 szabványt jelöli meg. (Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikus elem-, a nehézfém- és a króm(VI) tartalom meghatározása.) Ez a szabvány az "összes" toxikus elem tartalom meghatározására a minta-előkészítéshez (kivonatoláshoz) a királyvizes (tömény sósav és tömény salétromsav 3: 1 térfogat arányú elegye) vagy a tömény salétromsav+ 30 mfm %-os hidrogén-peroxid alkalmazását írja elő. Ugyanakkor ez a szabvány ismerteti a desztillált vizes és a Lakanen-Erviö-féle kivonási eljárást is. A környezeti kockázatok megítélésénél a desztillált vizes kivonatban mért értékek az "összes" fémeken, félfémeken belül a biológiaiilag aktív (hasznos, stimuláló vagy káros, toxikus) fém és félfém koncentrációkat adja, míg a Lakanen-Erviö-féle kivonat jó közelítéssel a növények által hozzáférhető részarányt jelzi. (Lakanen-Erviö oldat: 0,5 mol/dm³ ammónium-acetát + 0,5 mol/dm³ ecetsav + 0,02 mol/dm³ EDTE = etilén-diamin-tetraecetsav.)

Fentiekből is láthatjuk, hogy a különböző minta-előkészítési eljárások lényegesen befolyásolhatják az elemzési (analitikai) eredményeket, ezért mind a kiválasztásukra és indoklásukra, mind a dokumentálásukra nagy gondot kell fordítani. (A 219/2004 (VII.21.) Korm. rendelet szerint a környezetvédelmi hatóságok előtt hiteles, jogi következményeket megalapozó mintavételeket, analitikai elemzéseket csak az adott vizsgálatra akkreditált, minősített, felhatalmazott szervezet, laboratórium végezhet, ezek pedig kötelesek az alkalmazott mintavételi, ill. vizsgálati módszert az eredmények mellett feltüntetni. Természetesen tájékozódó vizsgálatokat bármilyen általunk erre alkalmasnak ítélt szervezettel, laboratóriummal végeztethetünk.)

Ismeretlen mintavételi módú és minta-előkészítésű elemzési eredmények nem hasonlíthatók össze és nem használhatók fel!

A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet **1. anyagcsoportjából**, vagyis a fémek és félfémek, másképpen az ún. **toxikus elemek és vegyületeik közül** kiemelkedő fontosságúak a nehézfémek. Kémiai értelemben **nehézfémeknek** azokat a fémeket nevezzük, amelyek sűrűsége 5 g/cm³-nél, rendszáma pedig 20-nál nagyobb. A rendeletben felsorolt elemek közül ide tartozik a **króm, a kobalt, a nikkel, a réz, a cink, a molibdén, a kadmium, az ón, a higany, az ólom és az ezüst**. A rendeletben nevesített **további toxikus elemek az arzén** (bár a rendszáma 33 és a sűrűsége 5,7 g/cm³, **de félfém**), a **szelén** (általánosságban ugyan nemfémes elemként tartják nyilván, de **fémes módosulata is van**), a **bárium** (ami ugyan **fém**, és rendszáma 56, de sűrűsége csak 3,5 g/cm³) és a felszín alatti vizeknél határértékkel szereplő **bór**, ami viszont **félfém**, és se rendszáma, se sűrűsége nem elégíti ki a nehézfémek definícióját. (Hogy lássuk mennyire bonyolult világban is élünk, tágabb értelemben egyesek a nehézfémek közé sorolják az arzént, a szelént és a báriumot is, mivel kielégítik azt az elvárást, hogy a periódusos rendszer I B, II B, III A, IV A, V A, V B, VI A, VI 8 és "részben" VIII oszlopainak valamelyikében helyezkednek el. Vagyis ilyen alapon a nehézfém kategória vonatkozásában csak a bór marad a rendeletből kakukktójás.) Vagyis megint csak oda kell figyelnünk, hogy mit értünk az alatt, amit mondunk. Akkor biztosan nem követünk el hibát, ha (kockázatos) toxikus elemek-ként emlegetjük az 1. anyag csoport tagjait, bár a szakmai zsargonban sokszor, hibásan ugyan, de nehézfémként emlegetik a fentebb felsorolt összes elemet és vegyületeiket.

Egyes talajtípusokban, talajokban a természetes toxikus elem tartalom igen magas is lehet (pl. az ún. serpentin talajokban 0,2-0,4 % króm is előfordulhat), gyakoribb azonban, hogy a termőtalajok toxikus elem tartalma emberi tevékenység (antropogén hatás) következtében emelkedik meg.

A fosszilis energiahordozók (szén, olaj) eltüzeléséből, az ipari létesítmények és a közlekedés emissziójából jelentős mennyiségű toxikus elem kerülhet az atmoszférába, amelynek egy része a talajra vagy a növényzetre ülepedik ki. Toxikus elem szennyeződés alakulhat ki a bányák (meddőhányók) és fémfeldolgozó, galvanizáló üzemek, kohók környezetében és szennyeződést okozhat a talajon, a földtani közegben és a felszín alatti vizekben az ipari, mezőgazdasági és kommunális hulladékok gondatlan kezelése, ill. elhelyezése is.

A mezőgazdasági termelés során a műtrágyák (elsősorban a foszfátok), talajjavító anyagok (mész), peszticidek felhasználásával, a szerves trágyák, hígtrágyák, szennyvíziszapok elhelyezésével, szennyezett öntözővízzel kerülhetnek toxikus elemek a termőtalajokba, majd azon keresztül a felszín alatti vizekbe. (1. táblázat)

1. táblázat A talajok toxikus elem terhelésének, szennyeződésének néhány mezőgazdasági forrása

Elemek	Szennyvíz- iszap (általában)* mg/kg	Szennyvíz- iszap** mg/kg	Szennyvíz- iszap*** kg/ha/év	Foszfor- műtrágya mg/kg	Nitrogén műtrágya mg/kg	Istálló trágya mg/kg	Meszező- anyag mg/kg	Szemét- komposzt mg/kg	Peszticid %
Ag	<960	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-
As	3-30	75	0,5	2-1200	2,2-120	3-25	0,1-25	2-52	22-60
Cd	<1-3410	10	0,15	0,1-170	0,05-8,5	0,1-0,8	0,04-0,1	0,01-100	-
Co	1-260	50	0,5	1-12	5,4-12	0,3-24	0,4-3	-	-
Cr	8-40600	1000	10	66-245	3,2-19	1,1-55	10-15	1,8-410	-
CrVI		1	n.a.						
Cu	50-8000	1000	10	1-300	-	2-172	2-125	13-3580	12-50
Hg	0,1-55	10	0,1	0,01-1,2	0,3-2,9	0,01-0,36	0,05	0,09-21	-
Mn	60-3900	n.a.	n.a.	40-2000	-	30-969	40-1200	-	-
Mo	1-40	20	0,2	0,1-60	1-7	0,5-3	0,1-15	-	-
Ni	6-5300	200	2,0	7-38	7-34	2,1-30	10-20	0,9-279	-
Pb	29-3600	750	10	7-225	2-27	1,1-27	20-1250	1,3-2240	60
Sb	3-44	n.a.	n.a.	<100	-	-	-	-	-
Se	1-10	100	1	0,5-25	-	2,4	0,08-0,1	-	-
Sn	40-700	n.a.	n.a.	3-19	1,4-16,0	3,8	0,5-4,0	-	-
V	20-400	n.a.	n.a.	2-1600	-	-	20	-	-
Zn	91-49000	2500	30	50-1450	1-42	15-566	10-450	82-5894	1,3-25

* A hazai szennyvíziszapok nehézfém koncentrációi jóval kisebbek a megadott maximális értéknél.

** Az 50/2001 (IV.3.) Korm. rendelet a szennyvizek és a szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól 5. sz. melléklete szerint a szennyvíziszapban megengedett mérgező és káros anyagok határértékei mezőgazdasági felhasználás esetén

*** Az 50/2001 (IV.3.) Korm. rendelet 6. sz. melléklete szerint a mezőgazdasági területre szennyvízzel és szennyvíziszappal évente kijuttatható mérgező elemek és káros anyagok mennyisége (kg/ha/év)

A fenti hatások következtében a termőtalajok mikroelem (toxikus elem) mérlege általában pozitív, azaz a talajokba időegység alatt több nehézfém kerülhet be, mint amennyi onnan eltávozik. A toxikus elemek legtöbbször a feltalajban dúsulnak fel, ahol a talajkolloidokhoz kötődnek. A talaj egy bizonyos határig pufferként viselkedik, megköti őket és így tompítja azok hatását, majd más környezeti feltételek mellett (pl. talajsavanyosodás) önmaga is szennyezővé válhat. A talaj mikroorganizmusai és a növények gyökerei által felvett nehézfémek könnyen bekerülhetnek a táplálékláncba, komoly veszélyt jelentve az ember és az állati szervezetek számára. Általános probléma, hogy egyes növényekben igen nagy mennyiségű toxikus elem

halmozódhat fel látható toxicitási tünetek nélkül, ami kedvezőtlen irányban változtathatja meg az étel-miszer- és takarmánynövények ásványi összetételét.

A következőkben a hivatkozott együttes rendelet 1. anyag csoportjának egyes tagjait mutatjuk be, előfordulásukra, környezeti viselkedésükre, veszélyességükre helyezve a hangsúlyt.

Az egyes elemek neve mellett a címsorban az alábbi rövidítések fognak megjelenni:

B(fk) = a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben a földtani közegre megadott (B) szennyezettségi határérték.

B(fav) = 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben a felszín alatti vízre megadott (B) szennyezettségi határérték

RfD (referencia dózis): nem rákkeltő anyagok esetében használt toxikológiai jellemző. Az RfD az a napi vegyi anyag bevitel, amely ismereteink szerint teljes élettartam alatti expozíció esetén sem okoz egészségkárosodást. Ezt a fogalmat az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (USA EPA) széles körben használja. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által használt napi megengedhető bevitel (ADI) értékekkel és a szakirodalomban gyakran előforduló napi tolerábilis dózissal (TDI) azonos értelmű fogalom.

RfD_o = referencia dózis érték szájon át (lenyelés útján) történő anyagfelvétel esetén az ember számára károsodás nélkül tolerálható napi bevitel, dimenziója mg/ testtömeg kg = tt kg/nap

RfD_i = referencia dózis érték belégzéssel (inhaláció) történő anyagfelvétel esetén az ember számára károsodás nélkül tolerálható napi bevitel, dimenziója mg/ tt kg/ nap [Az RfD értékeket és a rákkeltő hatásra jellemző karcinogenitási meredekségi faktort (Cancer Slope Factor = CSF) az USA EPA (Environmental Protection Agency) adatbázisa alapján adtuk meg, ott, ahol az értelmezhető. Ezeknek az adatoknak a frissítését folyamatosan végzik, ezért hivatkozás esetén az itt közölt értékeket érdemes az EPA honlapján ellenőrizni: www.epa.gov]

Abban az esetben, ha a 201/2001 (X.25.) kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló jogszabályban közölt ivóvíz határérték eltér a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben a felszín alatti vízre megadott (B) szennyezettségi határértéktől, akkor az illető elem címsorában a 201/2001 (X.25.) kormányrendelet szerinti ivóvíz határértéket is feltüntetjük.

KRÓM (CR)

[összes króm B(fk) = 75 mg/kg, B(fav) = 50 µg/L, RfD_o króm (III)-ra 15 mg/testsúly kg/nap; króm (VI)-ra vonatkozó értékek: B(fk) = 1 mg/kg, B(fav) = 10 µg/L, RfD_o króm (VI)-ra 3×10^{-3} mg/ tt kg/nap, RfD_i króm(VI)-ra 3×10^{-5} mg/ tt kg/nap. A króm (VI) rákkeltő hatására jellemző CSF értéke inhaláció esetén: 41. Minél nagyobb ez a szám, vagyis minél meredekebb a görbe, annál kisebb dózis, ill. alacsonyabb koncentráció kell adott daganatkockázati szint eléréséhez pl., hogy 1 millió ember közül feltételezhetően 1 fő rákos megbetegedésben haljon meg az expozíciónak kitett populációból.]

A Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer adatai szerint a hazai talajok króm tartalma viszonylag széles tartományban változik: < 5-45 mg/kg. A króm(III) esszenciális nyomelem az ember számára: a glükóz anyagcserében játszik fontos szerepet.

A levegő, a földtani közeg és a felszín alatti víz főként **bőrcserzés, galvánózás, festék- és lakkgyártás, fémkohászat, öntödék, acélművek, szén (kőszén, barnaszén, keksz) elégetése, szennyvíz iszap kinyerése, feldolgozása, talajra való kihelyezése**, vasérc, ólom és cink ércek bányászta, fűrészt olaj begyűjtés és feldolgozás. ipari kerámia-, téglá- és üveggyártás, porcelán gyártás, műszál-, gumi- és műanyaggyártás, papírgyártás, autógumi gyártás vulkanizálás, biocidok gyártás és kisserelés, fafeldolgozás: fűrészüzemek, faimpregnálás, szállítóeszközgyártás, festékszórás, transzformátorgyártás, nyomtatott áramkörök gyártása, textilanyag előállítás és feldolgozás: színezés, nyomás kikészítés, nyomdák miatt szennyeződhet el.

A foszfát műtrágyákban 30-3000 mg/kg, a szuperfoszfátban 60-250 mg/kg króm található, valószínűsíthetően a kevésbé toxikus Cr(III) formában. A nitrogén műtrágyákban < 5-3000 mg/kg, a meszező-anyagokban <1-200 mg/kg krómot mértek.

A króm a talajokban és a felszín alatti vizekben elsősorban Cr(III) formájában fordul elő, mely 5,5-es pH felett kicsapódik. A Cr(VI) forma (speciész) ezekben a közegekben instabilnak tekinthető, könnyen króm(III)-má redukálódik, erősen savanyú és lúgos körülmények között viszont könnyen mobilizálódik. Mindez igen fontos jelenség, mivel a Cr(III) jóval kisebb toxicitást képvisel, mint a Cr(VI) és a növények számára is nehezebben felvehető. A **króm(VI)** viszont rendkívül erős oxidálószer és **rákkeltő hatású** anyag a WHO adatai szerint. Ez utóbbi tulajdonsága különösen a króm tartalmú porok, aeroszolok inhalációja miatt kialakuló tüdőrákok esetében nyilvánvaló, de nem zárják ki transzplacentális karcinogén hatását sem.

A Cr(VI)-ot tartalmazó CrO_4^{2-} (kromát anionok) mélyebb rétegek felé való bemosódását a talaj agyagásványai nem tudják megakadályozni, a kromát ionokat viszont a talaj szerves anyagai jó hatásfokkal képesek Cr(III)-má redukálni, vagyis a rosszabbul oldódó, kevésbé toxikus formává alakítani, így akadályozva vertikális terjedését. (Ez különösen ott lehet jelentős, ahol pl. öntés iszap rétegek jelennek meg a terület sekélyföldtani felépítésében.)

A **krómacélok** gyártásánál kb. 4-30% krómmal ötvözik az acélokat, aminek következtében az ötvözetek hőállóbbak, keményebbek és finomabb szerkezetűek lesznek. (A közönséges acélok kb. 550 °C-ot bírnak, 6% króm tartalmúak 800 °C-ot, a 20%-nál több krómot tartalmazók pedig 1200°C-ig hőállóak.) A rozsdamentes krómacélok 13-16% króm és legfeljebb 0,5% nikkel tartalmaznak.

A szigetszentmiklósi volt Csepel Autógyár területén, egy 2002 folyamán végzett tényfeltárás során a korábbi (több évtizeden keresztül folyamatosan végzett) kromatózási, krómozási, festési tevékenység nyomán még mindig kb. 1000 µg/L **Cr(VI)** koncentrációt lehetett kimutatni a talajvízből ($B=10 \mu\text{g/L}$), de egykori bőrfeldolgozó üzemek (pl. cipőgyár), bőrgyári hulladékok illegális lerakatai környezetében is gyakran előforduló felszín alatti vízszennyező anyag. A krómcserzett bőr, évtizedek alatt sem bomlik le természetes úton és folyamatosan szennyezheti a talajt, ill. azon keresztül a talajvizet.

Itt kell megjegyeznünk azt, hogy valamilyen anyagot rákkeltőnek tekintenek-e, világszerte nem egységesen ítélik meg. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) Lyonban működő Rákkutató Ügynöksége - International Agency for Research on Cancer (IARC) az ún. IARC monográfiákban adja közre elemzési eredményeit. A daganatképző vegyi anyagokat három kategóriába sorolja. Az emberben bizonyítottan rákkeltők tartoznak az 1. kategóriába, az

emberben valószínűleg rákkeltő anyagok a 2A kategóriába, míg a feltételezhetően (ez ideig csak állatkísérletekben bizonyítottan) rákkeltő anyagok a 28 kategóriába vannak besorolva.

Napjainkban az 1, és a 2A kategóriába mintegy 40, ill. 50, a 28 kategóriába 200 anyag tartozik. Részben az IARC- monográfiákból, részben más kézikönyvekből azt is ismerjük, hogy az 1. és a 2A kategóriába sorolt anyagoknak melyek a célszervei. Hasonlóképpen ismerik a célszerveket az ún. rákrizikós iparágakban. Rákrizikós iparágaknak hívjuk azokat a nemzetgazdasági ágakat, alágakat, ágazatokat, amelyek meghatározó munkakörei többségében a dolgozó ember egy vagy több rákkeltő anyag expozíciójában végzi munkáját, és a munkások körében a daganatos megbetegedések gyakorisága meghaladja az ún. "várt" statisztikai értéket, amely érték a daganatos megbetegedés lakossági incidenciáját (előfordulását) jelenti. Fontos tudni, hogy a rákrizikós iparágakban a daganatkeltők a 28 kategóriába is tartozhatnak: az IARC javaslata alapján gyakorlati szempontból ezeket is humán rákkeltőknek kell tekinteni! A rákkeltő környezetszennyező anyagok ismerete számunkra azért fontos, mert ezek, humán egészségkockázatainak vizsgálata is beépül az adott terület, kárhely kockázatainak elemzésébe, így fontos szerepet tölt be pl. az O kármentesítési célállapot határérték kialakításába. Ugyanakkor azt is jó tudni, hogy míg egy adott anyag toxikus hatásának kifejlődéséhez kisebb-nagyobb mennyiségben való bekerülése szükséges az adott szervezetbe, addig a rákkeltő anyagokkal kapcsolatosan még mindig tartja magát az a felfogás is, hogy akár egyetlen molekula is elégséges lehet a kóros folyamatok megindításához. Tárgyilagosa viszont akkor vagyunk, ha figyelembe vesszük, hogy a szervezet a rákkeltő anyagok hatásával szemben is rendelkezik védekező, javító mechanizmusokkal, amelyek megléte, működése miatt az ilyen megbetegedések nem feltétlenül, hanem csak bizonyos valószínűséggel alakulhatnak ki.

Az EU Tanácsának és Bizottságának irányelvei alapján, a Magyarországon is kötelező érvényű jegyzék a rákkeltőket elsősorban hatásuk erőssége, ill. a humán bizonyítékok alapján 1. és 2. kategóriába sorolja. Az ilyen anyagokat a csomagoló eszközökön R45 (rákot okozhat, karcinogén hatású lehet) vagy R 49 (belélegezve rákot okozhat, karcinogén hatású lehet) jelöléssel kell ellátni. (Az R mondatok a veszélyes anyagok kockázataira utaló mondatok.) A munkahelyek rákkeltő anyagainak felsorolásával és az ellenük való védekezéssel a 25/2000 (IX.30.) EüM-SZCSM együttes rendelet a munkahelyek kémiai biztonságáról, valamint a 26/2000 (IX.30.) EüM rendelet a foglalkozási eredetű rákkeltő anyagok elleni védekezésről és az általuk okozott egészségkárosodások megelőzéséről szóló jogszabályok foglalkoznak. Amikor valamelyik szervetlen vagy szerves anyagot a jegyzetben, mint daganatkeltőt említjük, akkor a karcinogén anyagok EU-s listái. ill. az említett magyar rendeletek figyelembe vételével tesszük ezt. Sok esetben látjuk majd (különösen a szerves szennyező anyagoknál), hogy az EU normákon alapuló hazai jogszabályi megítélés nem minden esetben egyezik pl. az USA EPA besorolásával. Igyekeztünk a szövegben ezekre a különbségekre is rávilágítani.

KOBALT (CO)

[B(fk) = 35 mg/kg, B(fav) = 20 µg/L, RfDo $6 \cdot 10^{-2}$ mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték nincs]

A kobaltot a kőolajiparban fontos katalizátorként alkalmazzák, speciális acél- és mágneses ötvözetek előállítására, festékek, lakkok, zománcok és tinták száradását elősegítő

szerként, festékanyagként, üvegszínűzékként és takarmány kiegészítőként is használják. Takarmányadalékként kobalt(II)-szulfát mono- vagy heptahidrátot, bázikus kobaltkarbonát monohidrátot szoktak alkalmazni. A Co-ot a nikkel, króm(VI) és a kadmium mellett mutagén ágensként is nyilvántartják. Ezek az anyagok részben a purinbázisokhoz kötődve, részben a polimerázokat gátolva megváltoztatják a DNS-replikációs mechanizmus precizitását. Ugyanakkor a Co az egyik vízben oldódó vitamin, akobalamin (B12) alkotórésze. A B12 vitamint csak mikroorganizmusok, különösen anaerob szervezetek képesek szintetizálni. A táplálkozásból eredő 812 vitaminhiány (vésses vérszegénység) mégis igen ritka, mivel ez a vitamin gyakorlatilag minden élelemként szolgáló állati szövetben megtalálható. Vegyületei közül a kobalt-diklorid, kobalt-szulfát a fémnél toxikusabbak, és károsítják a környezetet. (Ezt a két vegyületet egyébként a sörgyártásban a hab stabilizálására használják.) A kobalt mesterséges radioizotópját (^{60}Co) Magyarországon élelmiszerek (elsősorban fűszerek, teakeverékek) és orvosi eszközök sterilizálására, csiraszám csökkentésére is használják. (A zöld szervezetek tiltakozásai ellenére meg kell jegyezni, hogy a módszer elenyésző rizikót képvisel a mai napig is folytatott, az élelmiszerek és orvosi eszközök etilén-oxidos sterilizálásához képest, ugyanis ez a vegyület rákkeltő hatású.)

NIKKEL (Ni)

[$B(\text{fk}) = 40 \text{ mg/kg}$, $B(\text{fav}) = 20 \text{ }\mu\text{g/L}$, $RfD = 2 \cdot 10^{-2} / \text{tt kg/nap}$. A nikkel por rákkeltő hatására jellemző CSF értéke inhaláció esetén: 0,84.]

A nikkel fő felhasználási, ill. keletkezési területei pl. a galván ipar (fémek felületi kezelése, edzése), ötvözetek készítése, (vas-és acélgyártás, érckohók, fémolvasztók) az elektroipar, növényolajipar (katalizátor a zsírok, olajok hidrogénezésében), stb. A legtöbb nikkelt erős és korrózióknak ellenálló ötvözetek előállítására (pl. rozsdamentes acél) használnak. Különböző szükségleti cikkekben is megtaláljuk: gépjárművekben, pénzürmékben, száraz elemekben (Ni-Cd elemek), ékszerekben, sebészeti eszközökben, az emberi szervezetbe épített implantátumokban, konyhai eszközökben, szerszámokban. A Ni-Fe ötvözet elektromos eszközök mágneses alkotó elemében, a Ni-Cu elsősorban tengeri korrózióknak ellenálló eszközökben, a Ni-Cr kazánok, kohók fűtőelemeiben, a Ni-Ag galvanizált cikkekben szerepel, más ötvözeite itt pedig olyan csúcstechnológiai eszközökben, mint pl. turbina lemezek, repülőgépmotor-alkatrészek, atomreaktorok, stb. használják. A környezetbe elsősorban a különböző termelési folyamatok szennyvizeivel, olajszármazékok, szén és szemét elégetésével, a talajra közvetlenül szennyvíziszapok és komposztok kihelyezésével kerülhet. A műtrágyák, meszező-anyagok és a szerves trágyák nikkel tartalma viszonylag alacsony.

A nikkel néhány állatfaj és az ember számára esszenciális nyomelem (a szív működésében játszik fontos szerepet). A táplálékokkal felvett nikkel káros hatását embereknél nem tapasztalták, viszont a nikkelporok (pl. nikkel-oxid-, szulfid por) belégzése orrüregi- vagy tüdőrákot okozhat. azaz **rákkeltőnek tekintendő**.

A nikkel a talajokban viszonylag mozgékony és a növényekbe is könnyen bekerülhet. A nikkel talajbeli mobilitása és növények általi felvehetősége fordított arányban áll a talaj kémhatásával, így a túlzott nikkelfelvétel ellen a talaj meszezésével védekeznek.

Az egykori Csepel Művek telephelyén, a Csepel-szigeten, ahol jelentős területeket töltöttek fel a múlt század első felében az ottani kohászatból származó meddővel (salakkal), a talaj (feltöltés, ún. antrosoil) jóval a jelenlegi B szennyezettségi határértékeket meghaladó koncentrációban tartalmazott Ni, Cu és kisebb mértékben Co, Zn szennyezést. Az új csepeli erőmű és a hozzá kapcsolódó létesítmények, vezetékek, utak építése során közel 200 000 m³ földanyag került kitermelésre, átvizsgálásra, majd a szennyezett salak (több mint 15 000 m³) részben veszélyes hulladékként történő elszállítására, részben stabilizálva (meszezés után) az új árvízvédelmi töltésbe beépítésre.

RÉZ (Cu)

[B(fk) = 75 mg/kg, B(fav) = 200 ~g/L, RfDo 4*10⁻² mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték: 2,0 mg/l.]

A fém réz gyakorlatilag nem mérgező. Korábban észlelt mérgező hatását a szennyezésként benne előfordult 'arzén, ólom hatásának tulajdonítják. A rezet, mint szerkezeti anyagot elsősorban ötvözetek (pl. sárgaréz, bronzok, alpakka) alkotórészeként, illetőleg, mint kitűnő villamosságvezetőt a huzalgyártásban, ill. az elektromos ipar minden ágában használják. Magas hővezetése és relatíve alacsony reakcióhajlama következtében víz és fűtővezetékekben, alkoholok desztillálására alkalmas üstökben (pl. pálinka, whisky és whiskey előállítás), bojlerekben, gőzvezetéknek is alkalmazzák. A réz kis mennyiségben életfontosságú elem, a hemoglobinképzésen kívül több enzimrendszerben is szerepel.

A környezet ipari eredetű rézszennyeződését a bányászat, kohászat, fémelőállítás, szárazelem és akkumulátorgyártás, galvanizálás, műtrágyák és növényvédőszer, festékek és lakkok, lőszer és robbanóanyag, üveg, papír, textil előállítása, fafeldolgozás és megmunkálás, gumi és műanyagok feldolgozása juttathatja a légkörbe, kiülepedés vagy szennyvizek útján a talajba, felszín alatti és felszíni vizekbe.

A mezőgazdasági talajok és ez által a talajvizek legjelentősebb szennyezőforrásai a **réztartalmú növényvédőszer**. Vegyületei közül a réz-szulfátot (rézgalic, kékgalic, kékkő), a rézoxikloridot, ill. réz-hidroxidot (Bordói lé) fungicidként (baktericid és algicid hatása is van) permetezésre használják. Mivel a növények számára esszenciális nyomelem (számos élettani folyamatban, így a fotoszintézisben, légzésben, szénhidrát- és nitrogén anyagcserében fontos szerepet játszik), ezért a nyomelem pótló készítmények pl. lombtrágyák rendszeres összetevője is.

A szennyvíziszapok réztartalma jelentős lehet (100-1000 mg/kg), míg a műtrágyák kevésbé szennyezőknek tekinthetők (kb. 100 mg/kg).

Az állattenyésztésben takarmány kiegészítőként [(pl. réz(II)-oxid, bázikus réz(II)-karbonát monohidrát és réz(II)-szulfát pentahidrát)], növekedés-serkentő és betegség-megelőző hatása miatt használják (vagyis számíthatunk megjelenésére a hígtrágyában, ill. a szerves trágyában is. A sertés- és tyúktrágya réztartalma elérheti a 2000 mg/kg-os értéket!)

Általában a talajok felső rétegében dúsul fel, mivel a talaj szerves és szervetlen alkotórészeivel egyaránt kölcsönhatásba lép, nehezen mosódik ki. A réz mobilitása a talaj kémhatásának emelkedésével, a talajok meszezése, a talajba juttatott szerves anyagok és foszfát műtrágyák révén csökken. A talaj 150-400 mg/kg rézkoncentrációja már fitotoxikus.

Az emberi szervezet az élelmiszerekben és az ivóvízben a réz viszonylag magas koncentrációját képes elviselni, mivel erősen kötődik a szerves anyagokhoz, így biológiai hozzáférhetősége korlátozott, ráadásul a máj és a vese jó hatásfokkal képes méregteleníteni. (Azért lebegjen a szemünk előtt, hogy erőszakos, természetellenes túladagolása a máj méretének milyen megváltozásához vezethet pl. a libák esetében. Az is tény, hogy a réz jelentősen gátolhatja a talaj mikroszervezeteinek aktivitását, sőt a halak és a rákok 10-100-szor érzékenyebbek vele szemben, mint az emlősök vagy az algák.)

CINK (Zn)

[B(fk) = 200 mg/kg, B(fav) = 200 µg/L, RfDo $3 \cdot 10^{-1}$ mg/ tt kg/nap, RfDo cink-foszfátra: $3 \cdot 10^{-4}$ mg / tt kg/nap, ivóvíz határérték nincs]

Maga a fém gyakorlatilag nem mérgező. A cink a növények, az állatok és az ember számára esszenciális mikroelem, sokféle enzim, (pl. karboxipeptidáz, alkalikus foszfatáz, a máj alkohol dehidrogenáza) működéséhez szükséges, a növényekben elősegíti az indolecetsav (auxin) szintézisét, szabályozza a szénhidrátok átalakulását. A növényekben cink-kalcium-fitinsav oldhatatlan komplexben való jelenléte korlátozza az állati szervezetek cinkhez való hozzájutását, mivel fitin-bontó enzimmel nem rendelkeznek.

A cink az iparban leggyakrabban felhasznált fémek egyike. Többek között más fémek bevonására (horganyzás) és különböző ötvözetekben (pl. pénzérmék) használják. Főleg oxidjait a háztartásban sok cikkben megtaláljuk: kozmetikumok, hintőporok, kenőcsök, antiszeptikumok, vérzéscsillapítók, festékek, fényszóró anyagok, linóleum, gumi, stb. használják szárazelemek, ragasztóanyagok gyártására, kohászatban salakosító adalékként, a cement és beton keménységének fokozására, fakonzerváló-szerként, a mezőgazdaságban mikroelem trágyaként, növényvédőszerekben és **takarmány adalékként** (pl. cink-karbonát, cink-oxid, cink-szulfát mono-, ill. heptahidrát). **Fő kibocsátói a kőszénbányák, koksizolók, gázművek, az ércbányák, ásványolaj tárolók-, feldolgozók, a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, a vas- és acélgyártás, érckohók, fémolvasztók, fémöntödék, galván üzemek, műanyagokat, festékeket előállító, felhasználó üzemek.** Cink juthat a felszín alatti közegbe foszfát műtrágyákból (50-1500 mg/kg), szerves trágyákból, meszező-anyagokból, komposztokból, szennyvíziszapokból és egyes peszticidekből.

A növényekben 400 mg/kg feletti cinktartalom esetén általában toxicitási tünetek figyelhetők meg. A cink a talajokban leginkább az alumínium- és vas-oxid okhoz, illetve az agyagásványokhoz kötött. Oldhatósága a savasság növekedésével javul, lúgos vagy foszforral jól ellátott talajokban pedig romlik.

ARZÉN (As)

[B(fk) = 15 mg/kg, B(fav) = 10 µg/L, RfDo $3 \cdot 10^{-4}$ mg/ tt kg/nap Az arzén rákkeltő hatására jellemző CSF értéke inhaláció esetén: 15,1, szájon át történő felvétel esetén: 1,5. Ideiglenes ivóvíz határérték: 50 µg/L, egyébként elérendő: 10 µg/L]

Az elemi arzén ezüstös, csillogó, fémszerű anyag. Hőhatásra szublimál. Három és öt vegyértékű alakja ismert. A három vegyértékű arzén szervesetlen vegyületei: arzén-trioxid és arzenitek (az arzénessav sói) általában toxikusabbak, mint az öt vegyértékű arzén vegyületek: arzenpentoxid és az arzenátok (arzensav sói). Az arzensav és az arzénessav nem fordul elő szabadon. Az arzén vegyületei - oxidok, arzenátok, arzenitek, valamint szerves arzénvegyületek - jóval gyakoribbak, mint a fémarszén. Több mint 200féle ásvány tartalmaz arzént, ezek közül a gazdaságos kitermelést az arzenopirit szolgáltatja. Napjainkban mégis **a legtöbb arzén a réz-, ólom-, arany- és az ezüst érceiből való kivonása során melléktermékként keletkezik.** Jelentős mennyiségű arzén keletkezik az aranyérc pörkölésekor képződő gázban és az arany kivonására cianidot használó folyamatban.

Jelentős mennyiségű antropogén eredetű arzén kerülhet a légkörbe **a rézkohók közelében, a szén elégetése, kén- és foszfortartalmú ásványok (foszfátok) feldolgozása és kijuttatása során.**

A talajokba és a folyók, tavak üledékeibe jelentős mennyiségű arzén került be olyan **növényvédőszerekből**, amelyek az arzént szervesetlen (pl. arzén-trioxid, nátrium-arzenit, kalcium-arzenát, ólom-arzenát) vagy szerves formában tartalmazták, ezek használatát világszerte korlátozták, Magyarországon beszüntették. Az arzén-trioxidot (As_2O_3) sok egyéb arzénvegyület előállításánál alkalmazzák. Különböző arzénvegyületeket használnak, használtak **fakonzerváló szerként**, állati tápokban adalékanyagként, feregűzőként, kokcidiosztatikumként, valamint az üveggyártásban, ólom és réz ötvözetekhez, gyógyszerek, festékek, szőrmék és félvezetők előállításához.

A felszín alatti közegben aerob körülmények között az arzén elsősorban As^{5+} (H_2AsO_4^-) formában van jelen, míg alacsony kémhatású redukzív körülmények között (pl. elárasztott területeken, kétfázisú zóna) az arzén redukált, vízoldhatóbb, mozgékonyabb és toxikusabb formája, az As^{3+} (H_3AsO_3) ionforma van jelen, az oxidált forma (As^{5+}) inkább a feltalajokban dúsul fel. Az arzén a talajlakó mikroorganizmusok hatására redukálódhat, metileződhet és illékonyvá válhat, mindez csökkentheti a szennyezett talajok arzéntartalmát. A növények, az állatok és az ember számára nem esszenciális elem.

Az emésztőrendszerből jól felszívódik, 90-95%-a a vörösvértestekbe kerül, a hemoglobinhoz kapcsolódik. A vért gyorsan elhagyva szétoszlik a májban, vesében, tüdőben és a bélfalban. Erős érméreg, a kapillárisokat károsítja, az artériák megvastagodását okozza. Bénítja az SH-csoportokat tartalmazó enzimeket és a májsejtek mitokondriumaiban az oxidatív foszforilációt. A szervezetbe jutott arzén nagy része a csontokban, a májban, a lépben, a hajban, a bőrben, körömbe rakódik le.

Az arzént és vegyületeit emberi rákkeltő anyagokként tartják számon, bőr-, tüdő- és máj daganat okozója lehet.

Rétegvizeinket illetően (100-600 m mélységű ivóvíz kutak) rendkívül fontos probléma az, hogy Alföld és a Tiszántúl területein, Békés, Bács-Kiskun, Szolnok, Csongrád és újabban Baranya (Pécs környéke) valamint Zala megyében a természetes körülmények között is 70-130 µg/L arzén lehet az ivóvízben. Különösen súlyos a helyzet a Szeghalom és Karcag közötti területen, Békéscsaba környékén, ill. tőle ÉK-re eső területeken, valamint Orosházától É-ra a Körösig, ezeken a vidékeken az As koncentráció a felszínre hozott rétegvízben meghaladja a 100 µg/L-t. A szennyezés oka az ivóvizet szolgáltató rétegekben elhelyezkedő pleisztocén kori, arzéntartalmú üledék, amelyből az arzén mobilizálódik. Ráadásul úgy tűnik, hogy a nagyobb mennyiségű ivóvíz kinyerésére létrehozott erősebb vízáramlás több és több arzént ragad magával. Sajnálatos módon az ivóvíz határérték (10 µg/L feletti) vizet kapó településeken élők számát a 201/2001 (X.25.) Korm. rendelet kb. 1.270.000 főben adta meg, sőt, a 47/2005 (III.11.) Korm. rendelet már kb. 1.600.000 lakosban jelölte meg. (A növekedés kb. 330.000 embert érint.) A probléma felszámolásához költséges arzénmentesítési technológiákat (pl. fémhidroxid formájú csapadékképzés, amely során veszélyes hulladékként arzéntartalmú iszap is keletkezik, ioncsere, fordított ozmózis), hígítást vagy messziről odavezetett, E szállított vizet kell alkalmazni.

A magas arzén tartalmú vizet fogyasztók körében nem csak a bőr-és a hólyagrág-
gyakoriság emelkedett meg, hanem a halva születések, spontán abortuszok száma is magasabb volt a kontroll hoz képest.

A WHO 1958-ban 200 µg/L, 1963-ban 50 µg/L, 1993-ban 10 µg/L határértéket állapított meg az ivóvízben, de újabb korlátozásokat tartanak valószínűnek, bár a további mérséklést jelenleg még meghatározási nehézségek gátolják. A WHO javaslat csupán alapul szolgál a nemzeti szintek meghatározásához, amelyeket környezeti, szociális, gazdasági és kulturális feltételek befolyásolnak. Számos ország, így pl. Argentína, Ausztria, Banglades, Chile, India, Kína, Mexikó, Peru, Thaiföld, USA ivóvíz határértéke magasabb, mint 10 µg/L. (Magyarországon 50 µg/L!!!).

Dél-Amerikában és Tajvanon nemegyszer 200 µg/L feletti koncentrációjú vizet fogyasztanak, ami az arzenózis kórképének kialakulásához és bőrrák fellépéséhez vezet. Egészségkárosodást észleltek már Bangladesben, Indiában, Kínában, USA-ban. A legrosszabb a helyzet Bangladesben, ahol 25-35 millió ember fogyaszt, több mint 50 µg/L arzén tartalmú vizet és 200-270 ezer ilyen eredetű rákhalálzásra lehet számítani. Az USA EPA szerint az ország nyugati területein mintegy 13 millió lakos van kitéve, több mint 10 µg/L As koncentrációjú víznek.

Bizonyos vízi élőlények (halak, rákok, algák) bioakkumulálják az arzént szervezetükben, a biokoncentrációs faktor akár néhány ezerszeres is lehet. Magyarországon például emiatt is vitatják az ivóvíz arzén tartalmának 50 µg/L alá való szorításának a szükségességét, mondván, hogy a WHO a 10 µg/L ivóvíz határértéket olyan népekre állapította meg, amelyek nagy mennyiségben fogyasztanak magas arzén tartalmú, tengerből származó táplálékot. (Abban az esetben, ha $RfDo$ $3 \cdot 10^{-4}$ mg/ tt kg/nap értékből visszszámolunk, akkor nincs igazuk az így érvelőknek, ugyanis egy 70 kg-os ember pl. 21 µg As-t vihet be a szervezetébe, amit bizony 2L-es napi átlagfogyasztással számolva már majdnem "teljesíteni lehet" 10 µg/L koncentrációjú

vízből, és ekkor még nem vettük figyelembe a pl. élelmiszerrel való bevitelt. Persze ez is csak egy feltételezett, lehetséges eset a sok közül.)

Magyarországon, különösen a fent említett országrészekben, a tényfeltárások során tapasztalt magas arzén koncentrációk esetén, mindig szükséges ellenőrizni a természetes háttérkoncentrációt ill. megvizsgálni, hogy a "szennyezés" nem geokémiai eredetű-e!

SZELÉN (Se)

[B(fk) = 1 mg/kg, B(fav) = 5 µ/L, RfDo $5 \cdot 10^{-3}$ mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték: 10 µ/L]

A szelén a félfémek közé tartozik, tipikus félvezető, fémes tulajdonsága csak ötvözetekben érvényesül. A szelént főként az üveg és porcelániparban, fémötvözetekben, napelemekben, fotocellákban, fénymérőkben, félvezetőként, fémötvözetekben, fénymásolásnál fényérzékeny festékként használják, ill. a kénsavgyártás egyik mellékterméke. Szelén kerülhet a környezetbe szén, olajok és olajszármazékok elégetése, szulfidok kohósítása, ércfeldolgozók környékén réz és nikkel kinyerése során. Malactápban, hígtrágyában rendszeresen előfordul, takarmányadalékként a nátrium-szelenátot- és szelenitet használják. A növények túlzott szelénfelvétele ellen foszfátok és szulfátok talajba keverése védekezhetünk, a meszezés nem éri el ezt a célt, mivel könnyen felvehető kalcium-szelenát keletkezik. Érdekes természetes jelenség, hogy a szelénben gazdag, ill. szennyezett talajok szeléntartalma mikrobiális hatásra is csökkenhet, mivel a mikroorganizmusok ezt az elemet is képesek metilálni (metilezni) és így illékonytá tenni.

A szelén a magasabbrendű növények számára kis koncentrációban stimuláló hatású mikroelem, de nem tekinthető esszenciálisnak, ugyanakkor az állati és az emberi szervezet számára létfontosságú mikroelem. A szelén biológiai szerepe az emberben sokrétű és bizonyos értelemben ellentmondásos, pl. egyesek daganatkeltő, mások éppen daganatgátló hatását feltételezik, nélkülözhetetlen a termékenységhez, szaporodáshoz, ugyanakkor magzatkárosító (teratogén) hatást is tulajdonítanak neki. A szelén számos enzim és más fehérje alkotórésze (peroxidázok, hemoglobin, miozin, citokróm c), de a szervezetbe bekerülő felesleges szelén mennyiség a hozzá legjobban hasonlító kén útján halad és megzavarja a kén beépülését a különböző enzimekbe, fehérjékbe. [Ha az enzimekben, fehérjékben a szulfhidril csoportok (-SH) helyett Se épül be (szeleno csoport, -SeH), akkor megváltozik azok szerkezete és reakciókészsége. Ezekre a változásokra az állatok többek között szőrzetük, patájuk elhullatásával reagálhatnak.]

MOLIBDÉN (Mo)

[B(fk) = 7 mg/kg, B(fav) = 20 µ/L, RfDo $5 \cdot 10^{-3}$ mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték nincs]

Ezüstfehér fém, érce a molibdenit (MoS_2). Nemesacél ötvözetek előállítására, izzólámpa-, elektroncső-, röntgencső-, egyenirányító-gyártásban, műanyag, gumi, sebességváltó olajok, kenő zsírok adalékozására használják, féregirtóként, a vegyiparban katalizátorként. A

mezőgazdaságban nyomelem trágyaként és takarmányadalékként (ammónium- és nátrium-molibdát) alkalmazzák. Króm helyett gyakran használják hőnek ellenálló, speciális célú, pl. gázturbinák, repülőgépek fémötvözeteinek gyártásában és jelentős felhasználási területe a festékgyártás is.

Molibdén kerülhet a környezetbe bányák, fémfeldolgozó üzemek, acélművek, olajfinomítók környezetében és fosszilis energiahordozók elégetése során.

Fontos tudni, hogy a molibdén a bakteriális nitrogén kötés (nitrogénfixálás) nitrogenáz rendszerében központi szerepet tölt be (Mo-Fe-fehérje).

A molibdén hosszas túladagolása hasmenést (kérődzőknél pl. az ún. „Jegelő hasmenés”), ízületi bántalmakat, anémiát, vese- és májkárosodást okozhat. Rákkeltő hatásáról nincs adat, a hat vegyértékű vegyületei kísérleti állatokban embriotoxikusnak bizonyultak.

KADMIUM (Cd)

[B(fk) = 1 mg/kg, B(fav) = 5 µ/L, RfDo vízből 5×10^{-4} mg/tt kg/nap, RfDo élelmiszerből 1×10^{-3} mg/ tt kg/nap, RfDi vízből $5,7 \times 10^{-5}$ mg/ tt kg/nap, RfDi élelmiszerből $5,7 \times 10^{-5}$ mg/ tt kg/nap. A kadmium rákkeltő hatására jellemző CSF értéke inhaláció esetén: 6,3]

Ezüstfehér, kékes árnyalatú nyújtható fém. Viszonylag alacsony forráspontja (767°C) miatt könnyen elég. Főként cink, cink-ólom, ólom-réz-cink ércből nyerhető ki. **Könnyen olvadó fémötvözetek előállítására, vastárgyak korrózió elleni védelmére, akkumulátor- és elemgyártásra (Ni-Cd), festékként (kadmium-szulfid sárga pigmentet ad), galvanizálásra, polivinil műanyagok és autógumik stabilizálására, atomtechnikai eszközökben (pl. atomreaktorok szabályozórúdjai) használják.**

Kadmium kerülhet a környezetbe bányászat, kohászat, acélgyártás, fosszilis tüzelőanyagok és szemét elégetésével, ill. növényvédőszer gyártás és felhasználás, szennyvíziszap kihelyezés, foszforműtrágyázás révén is. (A vulkáni eredetű nyersfoszfátok kadmium tartalma kisebb: 0,1 mg/kg, míg az üledékes nyersfoszfátoké lényegesen magasabb lehet: 5-170 mg/kg). Jelentős emissziójára lehet számítani a közlekedésből is: a gumiabroncsok kopásából és a dízelolaj égéstermékeiből, de pl. fémötvözetű vízcsövekből is kioldódhat.

A klorid- és a szulfát ionok koncentrációja jelentősen befolyásolja, a kadmium oldhatóságát, mivel mindkét ionnal stabil oldható komplexet képez. Emiatt pl. az utakra szórt só vagy KCl-os műtrágyázás után a felső talajrétegben jelentős Cd-mobilizálódás indulhat meg. A Cd könnyen mobilizálható, a növények számára könnyen felvehető és a növényen belül is könnyen szállítható toxikus elem. Ráadásul a növények sokszor látható mérgezési tünetek nélkül nagy mennyiségben halmozhatják fel a kadmiumot (3 mg/kg), így az könnyen bekerülhet a táplálékláncba, veszélyeztetve az ember egészségét. A fenti okok, valamint az emberi szervezetre gyakorolt **toxikus és daganatkeltő hatása miatt az egyik legveszélyesebb nehézfémnek tekintik.**

Az táplálékláncba való bekerülésével kapcsolatosan súlyos figyelmeztetés volt egy környezetszennyezési eredetű betegség megjelenése Japánban (Toyama város): egy kadmium

ötvözeteket előállító üzem szennyvizét használták fel rizstáblák elárasztására, öntözésére és a kadmium a rizsben akkumulálódott. A rizsfogyasztással kialakult idült betegség a lumbális terület fájdalmával, a csontok és a csigolyák felritkulásával, lágyulásával és összeroppanásával, vesekárosodással járt. A betegséget az elviselhetetlen fájdalom kiváltotta japán nyelvű jajgatásról itai-itai kórnak nevezték el.

A kadmiumot és vegyületeit, mint **emberben rákkeltő anyagokat** tartják nyilván: vese-, májprosztata-, tüdő- és csonttrák kialakulását okozhatja. Ebből a szempontból különösen veszélyes a kadmium-oxidjának, kloridjának és szulfátjának inhalációs (ipari) expozíciója.

ÓN (Sn)

[B(fk) = 30 mg/kg, B(fav) = 10 µg/L, RfDo $6 \cdot 10^{-1}$ mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték nincs]

Az ezüstfehér színű ón az egyik legpuhább fém, emiatt jól hengerelhető, ezért csomagolásra szánt, vékony hárttyák készültek belőle ("ezüstpapír", sztaniol), amit ma már inkább alumínium fóliával helyettesítenek. **Egyik legfontosabb ötvözete az ónt és rezet tartalmazó bronz.** A felhasznált bronzok óntartalma 2 és 30% között változik. A 2- 10% óntartalmúak hengerelhetők és kovácsolhatóak, ezekből lemezt, huzalt, rudakat gyártanak, váltópénzt vernek, a 8% óntartalmú bronz volt régebben az ágyúcsövek anyaga. A 10-15% ónt tartalmazó bronzokat öntött, hőkezelt állapotban használják csapágyperselyek előállítására. A 20-25% óntartalmúak pedig a szobor és harangöntés alapanyagai. A bronz jó nyújthatósággal, kopás- és korrózióállósággal, vezetőképességgel és megmunkálhatósággal rendelkező ötvözet. Fontos ötvözetének számít a **forrasztó ón vagy lágyforrasztó, ami az ónt és ólmot kb. 1:1 arányban** tartalmazza. Újabban az ónnak nióbbiummal alkotott különleges ötvözetét szupravezető mágnesek előállításában is felhasználják.

Nagy mennyiségű ónt használnak fel a vas ónnal való bevonására rozsdá elleni védelem céljából, az ún. **fehérbádóg** készítésére. A fehérbádóg vaslemezből készül, amelynek felületét savakkal gondosan megtisztítják, és megolvasztott ónba mártják, a felület így szép, ezüstfehér, összefüggő, rozsdától védő réteggel vonódik be.

Az ónt a porcelán elterjedése előtt evőeszközök, tányérok, ivóedények készítésére használták, napjainkban konzervdobozok (fehérbádóg) előállításra, de elsősorban ólommal való szennyezettsége miatt ez a felhasználása jelentősen visszaszorult. A szervetlen ón vegyületeknek a gyakorlatban nem tulajdonítanak számottevő toxikus hatást, valószínűleg ez az egyik oka annak, hogy a földtani közegben, növényekben való viselkedéséről meglehetősen kevés adat áll rendelkezésre. **A szerves ón vegyületek viszont többnyire mérgezőek közülük egyeseket baktérium-, ill. gombalószerként** használnak. Alkil- és alkil-halogenid ónvegyületeket, mint műanyagtermékek katalizátorát és stabilizátorát vagy pl. a TBTO-t = bisz-tributil-ónoxidot hajótestek faimpregnáló anyagaként is alkalmazzák. Ezek a vegyületek (elsősorban a di-n-butil-, ill. a di-n-oktil-ón) az immunrendszer működését gátolják.

Magyarországon lokális szennyezések formájában gyakran kimutatható ónozási technológiát alkalmazó üzemek környezetében, általában a földtani közeg felső, 1 m-es rétegében (800-1000 mg/kg közötti koncentrációban), de kisebb mértékben további

bemosódása és szerves anyagban gazdagabb (pl. öntésiszap), alsóbb rétegekben való halmozódása is előfordul.

BÁRIUM (Ba)

[B(fk) = 250 mg/kg, B(fav) = 700 µg/L, RfDi $1,4 \cdot 10^{-4}$ mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték nincs]

Elemi állapotban a természetben nem található meg, leggyakoribb ásványa a barit (BaSO_4). Vízben oldódó vegyületei (kloridja, karbonátja, szulfidja, nitrátja, ill. a bárium-sztearát) mérgezőek. A bárium ionok izomsejt-méregnek számítanak, károsan befolyásolhatják a szív- és a rekeszizom működését, aminek akár szívmegállás vagy légzésbénulás is lehet a következménye. Vízoldékony vegyületeit kémiai analízishez (gravimetria- oldhatatlan bárium-szulfát csapadékképzés, CO_2 reagens), növényvédőszerként (Neopol, bárium-poliszulfid tartalmú fungicid), patkányméregként, kerámia- és üvegiparban, ill. fluoreszkáló festék előállítására használják (BaS). A $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ a tűzijátékok közismert zöld színét adja. A vízben oldhatatlan bárium-szulfátot olyannyira ártalmatlannak tartják, hogy az orvosi gyakorlat röntgen kontrasztanyagként használja. Nagy mennyiségben alkalmazzák kőolajfűrészeknél fűrészi iszap stabilizálására, a festékiparban fehér báriumpigmentként és a papírgyártásban különleges minőségű, fényes felületű papírok előállításához.

Kőolaj- és földgáz kitermelő kutak fűrésánál a keletkezett fűrészi iszapot, amely igen magas koncentrációban tartalmaz szénhidrogén származékokat és bárium-szulfátot (döntően TPH és PAH vegyületeket), a 90-es évekig nem tartották környezetvédelmi okokból veszélyesnek és általában a kutak közvetlen közelében mindennemű szigetelés nélkül elásták, hiszen elszállítása felesleges pénzkidobásnak tűnt. A mennyisége sokszor elérte a kutankénti $10\text{-}20 \text{ m}^3$ -t is. Az elmúlt évtizedben sok kimerült, felhagyott vagy éppenséggel még működő olaj vagy gázkút környezetében szembesültek jelentős talaj (sokszor mezőgazdasági területeken) és felszín alatti vízszennyezéssel, ezért az elásott fűrészi iszap felkutatása jelentős feladat. A 80-as évek vége, 90-es évektől a fűrészi iszapokat, mai szemmel korszerűnek nem igazán nevezhető lerakókban (földgáttal körülvett, aljzatszigetelés nélküli tárolók) kezdték gyűjteni. Több ilyen gyűjtőhely sorsa, pl. az algyői és a zalai olajmezők környezetében nem zárult le véglegesen. Szerencse a problémában, hogy a fentebb említett, stabilizálásra használt bárium-szulfát és az egyéb adalékanyagok jelentősen csökkentik a fűrészi iszapban lévő szénhidrogének mobilitását, kiold hatóságát, ezáltal terjedését.

Az egykori kőolajipart kiszolgáló ipartelegeken és környezetükben a tényfeltárások során mindig indokolt a talajból, különösen a felsőbb rétegekben a Ba vizsgálata, hiszen a bárium-szulfátot (baritot) tonnaszám tárolták, nyitott teherautóval szállították, így kiporzással folyamatosan a környezetbe került, majd a talaj felszínén kiülepedett, ezáltal sokszor több has területeken diffúz környezetszennyezést okozott.

HIGANY (Hg)

[B(fk) = 0,5 mg/kg, B(fav) = 1 µg/L, RfDo higany-kloridra $3 \cdot 10^{-4}$ mg/ tt kg/nap, RfDo metil-higanyra $1 \cdot 10^{-4}$ mg/ tt kg/nap, RfDi szerves higanyra $8,6 \cdot 10^{-5}$ mg/ tt kg/nap]

A legfontosabb higanyérc a cinnabarit (HgS). A higany ezüstös, folyékony fém, olvadáspontja -39°C . Szobahőmérsékleten párolog, azaz szublimál, mind zárt, mind nyílt téren rövid idő alatt veszélyes koncentrációt érhet el. **Higanygőz expozícióra** lehet számítani a higanyérc bányászatban, a klór, a nátrium- és kálium-hidroxidok, festékek, robbanóanyag (durranó higany, HgCNO_2), **lumineszcens lámpák, fénycsövek gyártásánál** (az energiatakarékos világítótestek esetében is), **elektromos mérőeszközök és laboratóriumi műszerek készítésénél** és javításánál, a **fogászatban amalgám** készítésénél (a fogtömésekből akár 60 µg Hg-hoz is hozzájuthatunk naponta), szerves higany vegyületek csávázásra és favédelemre való alkalmazásánál.

A higany **(II)-kloridot (HgCl_2)** valamikor fertőtlenítőszerként használták, ma **fungicidként** [rendszerint higany(I)-kloriddal (Hg_2Cl_2) keverve], **csávázásra** (pl. etil-merkúriklorid, metoxietil-merkúriklorid, fenil-merkúriklorid) és **favédelemre** [pl. $\text{Hg}(\text{CN})_2$]. Aril- és alkil-higanyvegyületeket a mezőgazdaság használ fungicidként vagy fertőtlenítőszerként, de **Magyarországon a higanytartalmú növényvédőszer alkalmazása az 1960-as évek közepétől tilos, az EU tagországokban a higany-oxid, a higany-klorid és a szerves higanyvegyületek használata szintén betiltásra került.** Csávázószerrel kedvezőtlen esetben 100-200 mg/m² higany kerülhetett be a termőtalajokba évente. Számottevő talajterhelést jelenthet a műtrágyák alkalmazása is, higany juthat a környezetbe a bányászat, a kohászat, a fosszilis tüzelőanyagok, a szemét elégetése során is. (A kőolaj pl. 0,002-50 mg/kg higanyt tartalmazhat.)

A biológiai folyamatok során környezetünkben alkil-higany és fenil-higany vegyületek is keletkeznek, a talajban, üledékekben döntően anaerob körülmények között, főként mikroszervezetek tevékenysége révén. A Hg^{2+} -ból keletkező metil-higany (CH_3Hg^+) és dimetil-higany [$(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$] egymáshoz viszonyított arányát a közeg kémhatása szabja meg, amennyiben a pH < 8 stabilis CH_3Hg^+ , ha pedig pH > 8, akkor az illékony $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ forma dominál, ill. távozik a nyílt rendszerekből. (pl. felszíni víz).

A Hg^{2+} ionokat és a higanygőzt az ásványi és a szerves kolloidok erősen adszorbeálják, az így megkötött higany nagy része nem kicserélhető. A szerves anyagokkal kialakított stabilis komplexkötés megakadályozza a higany elpárolgását, kimosódását és gátolja a növények általi felvételt. Abban az esetben, ha a talaj pH < 4, akkor a szerves anyagok higany megkötő képessége nagymértékben lecsökken. **Összefoglalva: a higany mobilitása a talajban oxidatív és savas körülmények között nagy, semleges és/vagy bázikus közegben, valamint redukzív viszonyok mellett alacsony.**

A higany az élőlények számára nem esszenciális, pozitív jellegű biológiai hatásai nem bizonyítottak. A higanytalajbéli rendkívül kis mobilitása miatt a termesztett növények csak kismértékben tudják a talajból kivonni. A növények a higanyt elsősorban gyökerekben dúsítják fel, általában kevés kerül be a föld feletti szerveikbe. Kivételek ez alól a gombák, amelyek akkumulálják a higanyt, különösen a csiperkefélék, szennyezett talaj okból táplálkozva akár 20-

30 mg Hg/kg sz.a. gomba koncentrációt is mutathatnak. Hazai erdei, mezei gombákban átlagosan 1,72 mg/kg sz.a. értéket mértek.

A higanygőzön kívül az emberi szervezet számára rendkívül mérgezőek a szerves metil-higany vegyületek, amelyek egyik legfontosabb forrása a mikroszervezetek tevékenysége. A metil-higany lipofil tulajdonságú és vízi szervezetekben felhalmozódhatnak és a táplálékláncan keresztül a csúcsragadozóig és az emberig juthatnak el. Az alkil-higany vegyületek kb. 90%-a felszívódik az emberi bélcsatornából és lipidoldékonyságuk révén átjutnak a sejtmembránon. Elsősorban neurotoxikusak, de komoly veszélyt jelent, hogy képesek átjutni a méhlepényen is, így bejutnak a magzatba, ahol nemegyszer fejlődési rendellenességeket képesek kiváltani. Az higany különleges veszélyességét az emberi szervezet számára az adja, hogy a szervezetből nehezen ürül ki, folyamatosan halmozódik és így káros hatását hosszútávon fejti ki.

Megrázó tömeges mérgezésekhez is vezetett már az ipari, ill. a mezőgazdasági felhasználásból az élelmiszerekbe került metil-higany. A legismertebb -, de nem a legnagyobb - mérgezés az 1950-es évek elején zajlott a japán Minamata Bay-ben (Minamata-öböl), ahol egy PVC-gyár szuszpenziós eljárást alkalmazó vinil-klorid monomer üzeméből több éven keresztül vezették a higanytartalmú szennyezést higany-szulfát formájában a tengeröbölbe. A higany-szulfát rosszul oldódó vegyület és azt feltételezték, hogy emiatt az üledékben örökre eltemetődik, ami utóbb tévedésnek bizonyult, mivel a mikroszervezetek először még rosszabbul oldódó HgS-dá, majd metil-higannyá alakították. A metil-higany pedig - annak ellenére, hogy csak néhány I-Ig/L koncentrációban volt jelen a vízben - akkumulálódott az emberi fogyasztásra kerülő tengeri élőlények, így a halak, kagylók testében. (A halak testében feldúsulás mértéke akár 100.000-szeres is lehet a környező víz koncentrációjához képest.) A mérgezés hatása lesújtó volt, kb. 3500 ember betegedett meg, mintegy 50-en meghaltak és több mint 20 csecsemő született agykárosodással.

A legtöbb embert érintő metil-higany toxikózis az 1970-es évek elején Irakban történt. Egy végzetes tévedés következtében metil-higany tartalmú fungiciddal csávázott vetőmagból készítettek emberi fogyasztásra kenyeret, aminek következtében több mint 6.000 ember betegedett meg, akik közül közel ötszázan meg is haltak.

Magyarországon, a több esetben a csapadékvízcsatorna (!!!) hálózatba került nagy mennyiségű fém higany, ahonnan aztán a hálózat meghibásodása, eltömődése, kiiktatása után kijutott a felszín alatti közegbe és okozott szennyeződéseket. Ilyen eset volt pl. szintén az egykori Csepel- Művek területén, egy korábbi hőmérőgyártó és kalibráló üzem környezete, ahol egy épület alapozása során fém higanyos iszappal telített, közel 800mm (!!!) átmérőjű korábban a Dunába közvetlenül vezető csapadék csatorna került elő. Szintén érdekes eset egy budapesti, orvosi segédeszközöket gyártó telephely, ahol a pincében egy egykori kommunális csatorna törése során több 10 kg fémhiganyt "folyt" ki a pincébe, melyet végül a tűzoltóság-, katasztrófavédelem szakemberei ártalmatlanítottak.

Gyakorlati tapasztalat és a szakirodalom számára nem annyira ismert, de minden korábbi kőolaj kitermelő és összegyűjtő telephelyen, különösen ott, ahol a kitermelés során melléktermékként felszínre jutó termálvíz, ill. leválasztott kondenzátum elhelyezésre, visszasajtolásra került, célszerű a tényfeltárás során a földtani közeg, ill. a felszín alatti víz Hg vizsgálata.

ÓLOM (Pb)

[B(fk) = 100 mg/kg, B(fav) = 1 O μ g/L, szervesetlen ólom esetében nem tartalmaz referencia dózis értékeket a hivatkozott EPA adatbázis, de az ólom-tetraetilre az IRIS (Integrated Risk Information System) RfDo $1 \cdot 10^{-7}$ mg/ tt kg/nap értéket ad meg. Ideiglenes ivóvíz határérték: 50 μ g/L, egyébként 10 μ g/L]

Az ólom kékesszürke nehézfém, fémólmoként való felhasználása gyakori. Az ember az ólmot már kb. 5.000 éve bányássza, szulfidércéből (galenit) nyert ezüst és ólom ötvözetek olvasztásával különítették el a két fémeket egymástól. Az ezüst iránt megnövekedett igény az ólom előállítását is fokozta. Alacsony olvadás pontja (327°C), jó formálhatósága, hosszú élettartam elősegítette az - egyébként az egészségre káros - ólomedények előállítását és használatát. (Az ólom már 550°C -on gőzöket fejleszt, párolog.) Az ipari forradalom kezdetétől meredeken emelkedett a bányászott ólom mennyisége, elsősorban az autó- és az építőipar használta. **Az autóipar vázalkatrészek forrasztására, ólom-savas akkumulátorok előállítására, kopogás gátlóként a katalizátor nélküli benzinjébe keverve** szerves ólom-alkilokat [ólm-tetraetil $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, ólm-tetrametil $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$] használták folyamatosan csökkenő koncentrációban (0,15-0,25 g/l). 1999-ben Magyarországon betiltották az ólmozott üzemanyagok forgalmazását. Miután az összes eladott üzemanyag mennyiségen belül 10% alá csökkent az ólmozott benzint igénylő autók használói által megvásárolt üzemanyag mennyisége az országban, 2004. október közepétől a MOL Rt. már ún. ólm pótló adalékkal ellátott motorbenzint sem árusít. (Az ún. repülőbenzin a robbanómotoros - tehát nem a kerozint felhasználó sugárhajtóműves - légi járművek üzemanyaga még mindig tartalmazhat ólomadalékokat, de ennek gépjárművekben való felhasználása tilos.)

Ólmot használnak a radioaktív sugárzás ellen védő pajzsokhoz, a **nagyfeszültségű villamos kábelek köpenyeként**, (tehát nem biztos, hogy ezen vezetékeknek csak a nem ionizáló sugárzás kibocsátó hatását kellene vizsgálni), **csövek, vízvezeték** (ezért lehetőleg tartózkodjunk a csővezetékben hosszabb ideje pangó vagy a bojlerből megengedett melegvíz elfogyasztásától), **víztárolók, tetőfedő anyagok előállításához**, víznek kitett felületek bevonataként, különösen tengervíz esetén [**rozsdagátló mínium**: ólm-tetraoxid (Pb_3O_4 , nem tévedés!). Szintén ólm-tetraoxid volt a főszereplő az 1994-ben zajlott magyarországi fűszerpaprika hamisítási botrányban is; mellesleg az ólm oxidjai a legtoxikusabbak az emberi szervezet számára. Használják továbbá a **savas ólomakkumulátor gyártásához** (akkumulátorlemezek, PbO_2 tartalommal), a vegyiparban kénsavtartályok, párologtató edényzetek bélelésére, különféle ötvözetek gyártásához (ónnal, rézzel és antimonnal a nyomdaiparban és a löszergyártásban), ólompigmentek előállítására [ólm-karbonát vagy ólmfehér $2\text{PbCO}_3\text{Pb}(\text{OH})_2$, ólm-kronát vagy krómsárga PbCr_4] **festékekhez, lakkokhoz**, amelyeket pl. porcelán-, kőedény- és kályhacsempegyártáshoz is alkalmaznak. Az ólommázás cserépedények savas kémhatású élelmiszerek pl. gyümölcslevek, must tárolásakor mérgezések forrásai lehetnek. A fazekasok kiterjedten használnak ólomtartalmú festékeket, ha a festéket nem kellően magas hőmérsékleten égetik rá a cserépre, akkor a zománcból ólm oldódik ki a szerves savakat, komplexképzőket tartalmazó ételbe, italba, de a konzerves dobozok ólomtartalmú forrasztásaiból is bekerülhet az élelmiszerekbe. Az ólm tartalmú festékek épületek belső tereiben való használata gyakorlatilag megszűnt. Ólm környezetbe kerülésével

lehetett számolni a sokszorosítóiparban is: kézi betűszedés, magasnyomás, gépi szedés, betűöntés stb. Ez a szennyezőforrás a fényszedés alkalmazásával visszaszorult.

Az ólom léphet a környezetbe bányászati, kohászati tevékenységek nyomán, forgalmas közutak mentén, széntüzelésű erőművek működtetése, gumiabroncsok kopása, műanyagok elégetése során. Ezekből a szennyezőforrásokból jelentős ólom kiülepedésre lehet számítani. A műtrágyák és meszező-anyagok ólomtartalma nyomoktól néhány száz mg/kg-ig terjedhet, sőt régebben - különösen gyümölcsösök permetezésére - ólomarzenátot is használtak. A higanyhoz és részben az arzénhoz hasonlóan az ólom ugyancsak biometilézhető, ilyenkor rendkívül mérgező illékony ólomvegyületek keletkeznek.

A földtani közegben a szerves komplexek képződése és specifikus adszorpciós folyamatok révén az ólom a legerősebben lekötött fém. leginkább Fe- és Mn oxidok adszorbeálják, oldhatósága pH=5 felett csekély, ezért a talaj felső részében akkumulálódik, a Pb^{2+} kimosódása ebből a rétegből csak elenyésző mértékű, pH=5 alatt viszont megnőhet a mobilis forma részaránya, amit a kelátképző anyagok jelenléte támogat, a szerves anyagok pedig ellensúlyozni tudnak. Magas foszfortartalmú talajokban nehezen oldódó ólom-foszfátok, meszes talajokban ólom-karbonát, redukciós körülmények között pedig PbS csapadék keletkezik.

Az ólom az élő szervezetek számára nem esszenciális, bizonyos vegyületei pl. az ólom-nitrát akár stimuláló hatású is lehet a növények számára. A növények számára a talajban lévő ólom kevés veszélyt jelent. A szárra, levélzetre lerakódott ólomtartalmú porból is csak kevés ólom jut be a növénybe, viszont az ezeket takarmányként vagy élelmiszerként elfogyasztó állatokba, ill. emberekbe jelentős mennyiség kerülhet be. Az ólom human- és állategészségügyi szempontból erősen toxikus elemnek minősül, táplálékkal (lenyelés), a belélegzett levegővel (inhaláció), a bőrön keresztül felszívódva (az illékony szerves ólom vegyületek, így az ólom-tetraetil és az ólom-tetrametil) jut a szervezetbe, ahol elsősorban a májban, a csontokban és a fogakban halmozódik fel. A szervezetbe bekerült ólom kiválasztása rendkívül lassú. Mérgezést a véráramba került, oldott állapotú ólom okoz. Az ólom sejtméreg, károsítja a protoplazmát, az ér- és az idegrendszert. Gátolja a porfirin anyagcserét, ennek következményei az idegrendszeri tünetek pl. mentális retardáció, az agy fejlődési rendellenességei. **Az ólom bizonyítottan humán teratogén.**

Széleskörű elterjedtsége és használata miatt, szinte minden korábbi iparterület tényfeltárása során mérendő és előforduló elem, de a talajvízben sokkal ritkábban mutatható ki szennyezettségi határérték felett, mint a talajban, különös tekintettel annak felső rétegére.

EZÜST (Ag)

[B(fk) = 2 mg/kg, B(fav) = 10 µg/L, RfDo $5 \cdot 10^{-3}$ mg/ tt kg/nap, ivóvíz határérték nincs]

Fehéren csillogó, fényezhető nemesfém, a fémek közül a legnagyobb a hő- és áramvezető képessége. Az ezüst ionoknak erős antiszeptikus hatást tulajdonítanak, az ezüstlaktát pl. táptalajon baktericid hatású a sztreptokokkuszokkal, sztafilokokkuszokkal, sőt a lépfene kórokozójával szemben is, ráadásul a fém ionok között kiemelkedő a fungicid hatása is. Az

ezüst mennyiségileg tekintve a legtöbbet termelt nemesfém, amit keménységének fokozása érdekében 10-20% rézzel ötvöznek. (Az ezüst csak akkor változtatja meg a színét, ha 50%-nál nagyobb mennyiségben ötvözik rézzel. Az ezüst finomságát 1.000 súlyrész ötvözetben lévő színezüst mennyiségei adják meg, így a használati tárgyakat leggyakrabban 935, 900 és 800-as finomságban fémjelzik.) Ezüstötvözet a **keményforrasztás** is (20%-34% rézzel és 10-15% cinkkel), amely sokkal szilárdabb, mint a lágyforrasztás, jól kalapálható és csak 800°C körül olvad meg. Sok ezüstöt használnak fel ezüstözésre, vagyis más fémek bevonására, ami környezetvédelmi szempontból kritikus anyagokat használ pl. felhevített ezüst-higany **amalgámot** vagy elektrolízis során kálium- vagy nátrium-ezüst-cianid oldatot. Jelentékeny mennyiségű ezüstöt igényel a **fényképezőgépekhez használt lemezekhez, filmekhez, fotópapírokhoz szükséges fényérzékeny ezüst-bromid** előállítása, ami a fényképezés digitalizációja óta visszaszorulóban van. Az ezüst-azid (AgNO_3) durranóezüst néven ismert és gyutacsok, tűzijátékok készítésére használják. Az ezüst-nitrátot (AgNO_3) fertőtlenítő- vagy szemölcsirtó szerként helyi kezelésre, ecsetelésre szokták használni. A petrokémiai ipar az ezüstöt katalizátorként is alkalmazza. Egyre jobban terjed medencék fertőtlenítőszerként és a dohányzásról való leszokást segítő anyagként cukorkákba, rágógumiba keverve. A túlzott ezüst bevitel a bőr elszíneződését okozhatja, ami inkább kozmetikai változás, mint toxikus hatás. Ezüst a környezetbe antropogén forrásokból leginkább az ércbányászat- és feldolgozás, széntüzelésű erőművek, a fotokémiai ipar, ill. a galvánüzemek szilárd hulladékaival, égéstermékével és szennyvizeivel kerül ki.

A fő kibocsátások oldhatatlan formában (Ag_2S , AgCl) történik, laboratóriumban bizonyított toxikus hatása növényeken és állatokon az Ag^+ ionoknak van, amelyek felületaktív tulajdonságokkal rendelkeznek és általában a vízi élőlényeket károsítják, azoknak is leginkább (1 kopolyútát támadják meg. A humusz szerves anyagai, a klorid és a szulfid ionok a földtani közegben oldhatatlan formákba viszik az ezüst-ionokat.

BÓR (B)

[$B(\text{fav}) = 500 \mu\text{g/L}$, $RfDo\ 9 \cdot 10^{-2} \text{ mg/tt kg/nap}$, $RfDi\ 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ mg/tt kg/nap}$, ideiglenes ivóvíz határérték: 5 mg/L , egyébként elérendő 1 mg/L]

A bór döntően nemfémes jellegű, savképző elem. Széles körben használják **mosószer**ek, **tisztítószer**ek **kozmetikumok** előállításában (főként a bóraxot - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, amelynek vizes oldata lúgos kémhatású), **kerámia és hőálló üvegek** gyártásában, a kohászatban acélötvözetek előállítására (edzhetőség növelésére), **hőszabályzó**k és **hőmérő**k készítésére. A bórsavat (H_3BO_3) legnagyobb mennyiségben **az üveggyártásban** használják, ugyanis a 70%-nál nagyobb kavasvartartalmú üvegek bórsav adalékkal tűzállóak és savállóak lesznek. A bőrkikészítésben a bőrnek cserzés előtti kezelésére, a textiliparban a lángállóság biztosítására, az élelmiszeriparban tartósításra használják.

Belélegezve, ill. bőrön át felszívódva az emberre nézve kifejezetten toxikus származékai a boránok (pl. a pentaborán és a dekabórán $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$, amelyek igen súlyos idegmérgek). A diboránokat egyre inkább használja az acél- és a gumiipar, emellett rakéták és sugárhajtóműves repülőgépek hajtóanyagaként alkalmazzák.

Abban az esetben, ha a toxikus elemek között a bór koncentrációját is vizsgálni akarjuk a felszín alatti vízből, akkor különös gondot kell fordítani a minták tárolására használt üvegedények minőségére, ugyanis a tartósításra használt sav (vagy a minta saját savtartalma) bórt oldhat ki a boroszilikát tartalmú üvegekből. Ez akár 50-80%-kal magasabb bór koncentrációkat eredményezhet a mintában, ami durván meghamisíthatja az eredményeket.

2.3.3.2. Szervetlen vegyületek

Ebbe az anyagcsoportba a földtani közeg és a felszín alatti víz vonatkozásában a cianidok, a tiocianátok, továbbá a felszín alatti víz esetében még a fluorid, a szulfát, a foszfát, a nitrát és az ammónium (ionok) tartoznak.

CIANIDOK, TIOCIANÁTOK

[Cianid 4,5 pH B(fk) = 2 mg/kg, B(fav) = 50 µg/L, RfDo $2 \cdot 10^{-2}$ mg/ tt kg/nap; összes cianid B(fk) = 20 mg/kg, B(fav) = 100 µg/L; tiocianátok B(fk) = 1 mg/kg, B(fav) = 50 µg/L, RfDo $5 \cdot 10^{-2}$ mg/ tt kg/nap; hidrogén-cianidra RfDo $2 \cdot 10^{-2}$ mg/ tt kg/nap, RfDi $8,6 \cdot 10^{-4}$ mg/ tt kg/nap, tiocianátokra nincs ivóvíz határérték]

A **cianidok** a hidrogén cianid (kéksav) sói, általános képletük $M-C\equiv N$, ahol az M egy vegyértékű fémeket jelent. A cianid ion egy vegyértékű anion CN^- . A cianidok közül különösen az alkáli cianidok (káliumcianid KCN, nátriumcianid, NaCN) és az alkáli-földfém cianidok [kalcium cianid $Ca(CN)_2$, báriumcianid $Ba(CN)_2$] vízben oldhatóak és rendkívül mérgezőek, mivel a gyomorsav halálos mérget, hidrogén cianidot szabadít fel belőlük (pl. $KCN + Cl = HCN + KCl$). Ezért fontos a pH=4,5 értéken mérhető ún. szabad cianid tartalom mérése, az összes cianid koncentráción belül. A fenti általános képletű ("normál") cianidok mellett ismeretes még számos komplex cianid is, így pl. a nehézfém cianidok további alkálicianid hozzáadásra ismét feloldódnak, amikor is a CN-csoport a nehézfém alkatrésszel komplex" negatív töltésű iont ad, míg az alkálifém megtartja pozitív töltését, pl. $Fe(CN)_2 + 4 KCN = K_4[Fe(CN)_6]$. Az ilyen vegyületek kevésbé mérgezők, mint az egyszerű cianidok, a cianid-csoport is csak a komplex elbontása után mutatható ki. Komplex-vegyületek pl. a sárgavérűség K₄[Fe(CN)₆] x 3H₂O, vörösvérűség K₃[Fe(CN)₆]. (Ez utóbbi csekély állandósága miatt a gyomorban hidrogén-cianid lehasadása mellett bomlik, ezért mérgezőbb a sárgavérűségnél.) Ismeretesek szerves cianidok is, ezeket nitrileknek nevezzük. Itt a -CN csoport valamilyen szerves gyökhöz kapcsolódik pl. CH₃CN (acetonitril vagy metilcianid).

A **szerves cianidokat műszálak, műanyagok, míg a szervetleneket vas- és acélötvözetek gyártásánál, galvanizálásnál, színes- és nemesfémek érceikből való kinyerésénél használják**, de nemcsak ezeknek az iparágaknak a szennyvizeiben fordul elő, hanem kimutathatók az olajfinomítás során keletkező hulladékvizekben is. A cián sókból felszabadított hidrogén-cianidot vagy cián-hidrogént rácsáló- és rovarirtásra is használták. Újabban dicián-diamid formában adagolják bizonyos műtrágyákhoz (pl. ammónium-szulfát) a nitrifikáció gátlása, késleltetése céljából.

Egyes növények glikozidokhoz kötött cianidot, amigdalint tartalmaznak, amiből enzimatis vagy savas hidrolízis révén a gyomorban a szerves molekulában kötött ciáncsoport hidrogén-cianid (cianid ion) formájában felszabadul, így pl. felnőttek kb. 60, kisgyermekek 5-10 keserűmandula elfogyasztásával akár halálos kimenetelű mérgezést is szenvedhetnek.

A nemesfémek cianidos kilúgzásával kapcsolatos, Magyarországot is érintő, határokon túlterjedő környezetszennyezések között meg kell említenünk a 2000. januárjának végén a romániai Nagybánya közeléből kiindult cianid-katasztrófát, amely a Tisza rendkívüli cianid szennyezéséhez vezetett. A környezetkárosítást okozó cég még napjainkban is elszántan küzd a román és magyar hatóságokkal valamint NGO-kal (Non-Governmental Organisation, nem kormányzati szervezet, civil szervezet), azért, hogy az arany kinyerését tovább folytathassa a térségben.

A cianidok - a szénhidrogének és a toxikus elemek mellett - jelentős mennyiségben megtalálhatók az egykori gázgyártási folyamatokból hátra hagyott óriási mennyiségű gáziszapban vagy gázmasszában, amely megtalálható az egykori Óbudai Gázgyár környezetében (Aquincumot körülvevő gátrendszer), Üröm-Csókavár környezetében (karsztos terület!!!) és a budafoki barlanglakásokban is. Ezen szennyezések felszámolására a magyar állam, az OKKP keretében, óriási erőfeszítéseket tesz, hiszen nincs ma, jogilag felelősségre vonható és kötelezhető szervezet ezen szennyezések felszámolására.

A **tiocianátok** vagy más néven rodanidok, szulfocianidok a tiociánsav ($\text{H-S-C}\equiv\text{N}$) sói. A tiociánsav hidrogénjének fémmel való helyettesítésével keletkeznek. Mivel a tiocianát vagy rodanid ionok (SCN^- -ionok) színtelenek, ezért a tiocianátok többsége is az. Az ezüst-, higany-, réz- és aranyrodanid vízben gyakorlatilag oldhatatlan, az ólomrodanid nehezen oldódik, a többi pedig könnyen oldódik.

A szerves tiocianátok közül a, Na- és az ammónium- tiocianát a legfontosabbak. Ezeket a **vegyiparban**, a **mg-i és a fotokémiai iparban** számos helyen alkalmazzák. A Na-tiocianátot tartósítószerként, továbbá poliakrilonitril műszál gyártásában (ami nem más, mint poli-vinil-cianid, a vinil-cianid=akrilonitril pedig viseli az R 45, vagyis rákkeltő hatású vegyület jelölést) segédanyagként és a szerves izotiocianátok előállításának kiinduló anyagaként használják. Az ammónium-tiocianátot herbicidek gyártásában, a textiliparban segédanyagként, valamint fixáló és marató fürdők komponenseként alkalmazzák. A szerves tiocianátok kis mértékben toxikusak. Bőrrel való érintkezésüket el kell kerülni és ügyelni kell arra, hogy **erős savakkal ne kerülhessenek érintkezésbe, mert ekkor hidrogén-cianid keletkezhet.**

A tiociánsav-észterek szerves tiocianátok, amelyek általános képlete $\text{R-S-C}\equiv\text{N}$, ahol R alifás, aliciklusos, aromás vagy heterociklusos szénhidrogén csoport lehet. Melegítés hatására izo-tiocianátokká $\text{R-N}\equiv\text{C-S}$ alakulnak. A szerves tiocianátokat gumi vulkanizálásánál gyorsítóként, továbbá mezőgazdasági vegyszerekben tartósítószerként használják biogeid és fungicid hatásuk miatt. A kis molekulatömegű (metil-, etil-) tiocianátok színtelen olajok, vízzel nem elegyednek, szaguk a póréhagymára emlékeztet. Az alkil-tiocianátok toxicitása a molekulatömeg növekedésével csökken. A bőrt és a nyálkahártyát irritálják, az akut mérgezés a belső szervekben keringési zavarokat, vérzéseket, esetleg halált okoz. Az izo-tiocianátok bőr- és nyálkahártya izgató hatása ismert.

FLUORID

[B(fav) = 1500 µg/L, ideiglenes ivóvíz határérték: 1,7 mg/L, egyébként elérendő: 1,5 mg/L]

A természetben a fluor túlnyomó hányadban sói, vagyis fluoridok formájában található meg. Amennyiben a HF (hidrogénfluorid) hidrogén atomját valamilyen fém helyettesíti, akkor beszélünk fluoridokról. A fluorid ionok (F⁻) és a hidrogén fluorid ionok (HF₂) ionok mérgező hatása többek között abból adódik, hogy erős komplexeket képez a magnézium ionnal, amely számos enzim aktivátora.

Az elemi fluor sárga, szúrós szagú, erősen reaktív, maró hatású gáz. Az iparban használt fluor és vegyületei főleg a foszfátkőzet feldolgozásból eredő fluoridok. A fluoridokat főként acélfolyósítóként, téglá-, csempe-, edény-, cement-, üveg-, foszforsav- és üvegrost gyártásban és az alumíniumolvasztásnál használják. Fluort és hidrogén-fluoridot a fluortartalmú szénhidrogének (fluoro-karbonok) szintéziséhez, a benzin előállításához (alkilező katalizátorként), fémöntési műveletekhez és hegesztéshez, rakéta-üzemanyag-rendszerekben, fémgalvanizálásban alkalmazzák, de használják, mint nátrium-fluoridot, nátrium- és bárium-sziliko-fluoridot fungicidek, inszekticidek és fakonzerváló-szerek alapanyagaként és a foszfátműtrágya gyártásban. A nyersfoszfátok 3-4% fluort tartalmaznak, amelynek 50-80%-a a műtrágyákba kerül a gyártás során. Foszfórműtrágyákból jelentős mennyiségű fluor (8.500-38.000 mg/kg) kerülhet a talajokba.

Nagy mennyiségben a vízzoldható fluoridok az élőlényekre nézve mérgezőek, de kis mennyiségben fluorra szükség van a csontrendszer és a fogak képződéséhez. A fluorid felvételben az ivóvíznek meghatározó szerepe van. (A fogszuvasodás megelőzése érdekében lényeges, hogy 16 éves korig a szervezet a szükséges mennyiséget megkapja.) Megfelelő az 1 mg/L fluorid koncentráció, de a hazai ivóvizek többsége ennél kevesebbet tartalmaz. Vannak olyan területek is, ahol a víz fluoridtartalma természetes körülmények között is 2 mg/L felett van, ami csakúgy, mint a környezetszennyezés folytán a tüdőből és a bélcsatornából felszívódó fluoridok, idült mérgezés (fluorózis) okozói lehetnek, amely elsősorban a fogzománc-, ill. a csontrendszer - károsodásában nyilvánulhat meg.

SZULFÁT

[B(fav) = 250 mg/L]

A szulfátok kémiaiailag a kénsav sói. A szulfátokat kiterjedten használja az ipar és a mezőgazdaság.

Az **alumínium-szulfátot** többek között fertőtlenítésre, bőrcserzésre, faanyagok tartósítására, zsírok és olajok derítésére, CI kőolaj-finomításban színtelenítésre és szagtalanításra, szövetek tűzállóvá tételére, az etán gyártásában katalizátorként, szennyvizek tisztításra, az **ammónium-szulfátot** pedig **műtrágyázásra**, sőt élelmiszeradalékként (E 517) térfogat-növelés; célra is használják. A **bárium-szulfátból** pl. nagy mennyiséget fogyaszt a papíripar, a tiszta fehér színt és fényes felületet a papír (cellulóz) péphez keverve ez a vegyület adja, de előszeretettel használja a kőolajbányászat, aminek az a környezetvédelmi előnye, hogy

a kitermelt furatanyagokban, fűrási iszapokban részben stabilizálja a kőolaj nem illékony és közepesen illékony szénhidrogén összetevőit, ugyanakkor vízben gyakorlatilag oldhatatlan.

A **kalcium-szulfátot (gipszet)** használják az ammónium-szulfát (műtrágya)- és a kénsavgyártás alapanyagaként, talaj-javító szerként, építőipari segédanyagként. A **kálium-szulfátot** gyógyszerként (hashajtó), az üveggyártásban, a timsó előállításban és **műtrágyaként** használják. A **magnézium-szulfátot** szintén laxáns hatása miatt gyógyszerként, papír és pamutszövetek nehezítésére, a kelmefestésben, (bórax-szal együtt) tűzgátló-szerként, kerámiagyártásban és **műtrágyaként** használják fel.

A **mangán-szulfátot** a textilfestésben, a porcelángyártásban zománcok rózsaszínű re festésében, a **nikkel-szulfátot** a galvanizálásban nikkel bevonatok készítésére, a **réz-szulfátot** pedig mésztejben oldva.(ún. bordói lé), növények gombás fertőzéseinek kivédésére permetezőszerként használják. [Megjegyzendő, hogy a kén fehérjealkotó, létfontosságú elem az élővilág számára, amit pl. a növények szulfát ionok formájában vesznek fel a talajból. Bizonyos mikroszervezetek (*Desulfovibrio* nemzetség) szulfátból anaerob körülmények között szulfidokat képeznek, amelyek bizonyos nehézfémeket vízben oldhatatlan formává alakítanak. Ezzel szemben aerob közegben, pl. a *Thiobacillus thiooxidans* baktérium a szulfidokat szulfáttá oxidálja.]

Vagyis szulfát a felszín alatti közegbe a műtrágyák, növényvédőszeresek kijuttatása során, textil-, fém- és papírfeldolgozó-, előállító-, ill. galvanizáló üzemekből, főként szennyvizek útján kerülhet. Jelentős azonban a kén tartalmú tüzelőanyagok elégetése során a kén-oxidjaiból savas esők formájában a föld felszínére visszakerülő, ill. ennek nyomán kialakuló szulfátterhelés. Szulfát vegyületeket tartalmaznak különböző élelmiszeradalékok pl. a savanyúság szabályozásra szolgáló kálium- és nátrium- szulfát (E515 és E514), a lisztkezelő anyagként használatos ammónium- és kalcium-szulfát (E517 és E516) és a szilárdító vegyületként alkalmazott alumínium-szulfát (E520). Itt jegyezzük meg, hogy a környezetvédelem számára jelenleg még teljesen feltáratlan terület az állati és emberi vizezettel, ürülékkel a szennyvizekbe juttatott gyógyszerek, élelmiszeradalékok és ezek bomlástermékeinek várható megjelenése a talajvízben és egyelőre megjósolhatatlan hatása, kockázata a felszín alatti vizek minőségére, toxikológiai állapotának megváltozására.

Érdekes eset, Magyarországon történt, egy jelentős, a környezeti kármentesítés által okozott másodlagos szulfátszennyezés kialakulása. Műtrágyagyártásból származó mésziszap tárolásából keletkezett pH (10-13!!!) talajvízszennyezés semlegesítése, a környezetvédelmi hatóság jóváhagyásával és engedélyével, egy jelentős területen a kármentesítés során kénsavval történt. Az ellenőrizetlen adagolás hatására, amellet, hogy a talajvíz semlegesítése nem járt teljes sikerrel, kialakult, egy jelentős, a B szennyezettségi határértéket többszörösen meghaladó másodlagos szulfátszennyezés, amelynek a felszámolása további jelentős költségekkel járó feladat.

A többi szervetlen sóhoz (foszfát, nitrát, ammónium) hasonlóan, gyakran találkozunk jelentős szulfátszennyezéssel korábbi, szigeteletlen hulladéklerakók, háztartási szennyvíz szikkasztók és szennyvíztároló tavak környezetében.

FOSZFÁT

[B(fav) = 500 µg/L, ivóvíz határérték nincs]

A foszfor az élőlények számára nélkülözhetetlen alkotóelem, pl. a nukleinsavak, a foszfolipidek és az anyagcsere központi energiatároló molekulájának, az ATP-nek elengedhetetlen építő eleme, a csontok és a fogak kalcium-foszfát alakjában tartalmazzák. Takarmányozási célra monokalcium- és dikalcium foszfátot elterjedten használnak adalékanyagként. Megemlítjük, hogy nátrium-, kálium-, ammónium- és kalcium foszfátokat elterjedten alkalmaznak élelmiszeradalékokként is, emulgeáló anyagokként, egy közkedvelt szintetikus üdítőital-csoport pedig 2-3 közötti pH mellett jelentős mennyiségű foszforsavat tartalmaz. A túl nagy mennyiségű foszfor felboríthatja a test kalcium-háztartását és csonttritkuláshoz vezethet. A foszfor a természetben szinte kizárólag foszfátok formájában fordul elő. Leggyakoribb foszfát ásvány a fluorapatit $[\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3]$. A kőzetekből, üledékekből mállás és oldódás révén foszfát- és hidrogén-foszfát-, dihidrogén-foszfát-ionok alakjában kerül oldatba és jut az élőlényekbe, elsősorban a növényekbe, mikroorganizmusokba, majd végighalad a táplálékláncon. Az élőlények szerves foszfátok enzimeik segítségével veszik fel a foszfort. A baktériumokban hatalmas foszfátkészletek (polifoszfátok) halmozódhatnak fel. Az állati szervezetek a felesleget magnézium- és kalcium-foszfát formájában ürítik ki. Így keletkeztek a tömeges madártelepek évszázados felhalmozódásaiként a déltengeri szigetek guanotelepei, amelyeket trágyázásra használnak. A foszfátoknak a talajszelvényben lefelé való mozgása korlátozott, a talaj felső 50 cm-es rétegében helyezkednek el, általában nem mosódik ki a talajvízbe. A túlzott mezőgazdasági foszforműtrágyázás, valamint a szennyvizekkel az élővizekbe kerülő oldott foszfátok (pl. tisztítószer, vízlágyítók) az eutrofizáció fő okozói.

A **foszforműtrágyák** gyártásának célja a nehezen oldódó foszforvegyületek átalakítása vízben vagy gyenge savakban oldható vegyületekké. A nyersfoszfátok savas feltárással vagy hőkezeléssel alakíthatók át oldható foszfátokká, savfelesleg hatására foszforsav keletkezik. Az ismertebb eljárások és termékek a következők: kénsavas feltárás eredménye a szuperfoszfát, a foszforsavasé hármasszuperfoszfát, a salétromsavasé a nitrofoszfátok, a termikus feltárás pedig a termofoszfátok. A legelterjedtebben a szuperfoszfátot használják, ami a foszfort monokalcium foszfátként (kálcium-dihidrogén-foszfát), ill. változó mennyiségű szabad foszforsav alakjában tartalmazza. A higroszkópos foszforsav megkötésére mészkövet, dolomitot, égetett meszet használnak.

A foszforműtrágyák többnyire savas kémhatásúak, így hozzájárulnak talajaink elsavanyodásához, sőt az alapanyag származási helyétől függően számottevő nehézfémeket, főleg kadmiumot tartalmazhatnak, vagyis használatuk talajszennyezés formájában károsíthatja a környezetet és a növényeken keresztül a szennyező fémek bekerülhetnek a táplálékláncba.

NITRÁT

[B(fav) = 25 mg/L, **ivóvíz határérték: 50 mg/L**. Megjegyzés: a nitrátra vonatkozó ideiglenes ivóvíz határérték: 1 mg/L, egyébként elérendő: 0,5 mg/L, további megszorítás: nitrát

koncentráció/50 + nitrit koncentráció/3 nem lehet nagyobb, mint 1, ha a víz nem felel meg ennek az előírásnak, akkor csecsemők ételének, tápszerének készítéséhez nem szabad felhasználni]

A felszín alatti közeg nitrát terhelésének két fő útját különíthetjük el. Egyrészt antropogén hatásra (pl. **salétromsav-, kénsav- és műtrágyagyártás**, fémkohászat, olaj és gáztüzelés, belső égésű motorok kipufogó gázai) jelentős mennyiségű nitrogén-oxid (NO) és nitrogéndioxid (NO₂) jut be a légkörbe. Itt ezek a gázok salétromsavvá, ill. nitrátsókká (ammónium-nitrát, kalcium-nitrát) alakulnak át és nedves-üledéssel (savas esők) vagy száraz üledései a talajfelszínre jutnak. A talaj viszonylag könnyen megköti a nitrogén-oxidokat, ahol azok nitrátokká oxidálódnak. Továbbá jelentős mennyiségű nitrát kerülhet be a talajokba a túlzott (helytelenül adagolt) **nitrogén-műtrágyázás** (pl. ammónium-, nátrium- és kalcium-nitrát, mészammonsalétrom) **valamint szerves trágyázás, különösen a hígtrágya gyűjtése, tárolása és kijuttatása során**. Ezek az anyagok jelentős mennyiségű nehézfémekkel - a hígtrágya ráadásul patogén és fakultatív patogén mikroorganizmusokkal is - terhelhetik a talajokat. Másrészt számottevő nitrát kerülhet közvetve is a talajokba, pl. szerves és szervetlen redukált állapotú nitrogén vegyületek hidrolízise, ammonifikációja, nitrifikációja révén, így pl. a **hígtrágyában lévő vagy az emésztőgödrökből**, háztáji állatállomány ürülékéből a talajba, talajvízbe kerülő fehérjékből, aminosavakból az ammonifikáció révén ammónia képződik, amely a nitrifikáció folyamata során nitráttá, nitritté alakulhat. Különösen nagy gondot okozott ebből a szempontból a 70-es 80-as években a közműháló szétnyílása, azaz a kisvárosok, falvak ellátása vezetékes ivóvízzel, miközben a csatornázás el sem indult. Ezáltal a napi átlagban 10 l körüli személyekre jutó vízfogyasztás sokszorosára növekedett és a keletkezett szennyvíz elhelyezése a házilag készített szikkasztókba, emésztőgödrökbe, de sokszor az ásott kutakban történt meg. Ez a folyamat, ami a 90-es évek közepéig tartott, többek szerint nagyobb szerepet játszott a talajvizeink elnitrátosodásában, mint a mezőgazdaság. A növények számára a legkönnyebben felvehető nitrogénforma a nitrát" (ezért is estek túlzásba az 1980-as években, amikor is kb. 700 ezer tonna nitrogén műtrágyát használtak fel évente Magyarországon), azonban a növények és más élőlények számára feleslegben a talajokba jutó nitrátok könnyen kimosódnak a talajvízbe. A kimosódást segíti, hogy jó néhány növénynél a műtrágyák nagy részét vagy a teljes vegetációs időre kiszámított mennyiségét vetés előtt vagy közvetlenül a vetés után juttatják ki, a gyomirtás következtében ezek a növények sem tartják meg a nitrogént, a talajok szerves anyagokban való szegényedése pedig csökkenti a nitrogénnel szembeni puffer kapacitását, vagyis a humuszanyagok elengedik" a nitrogén trágyák, műtrágyák hatóanyagait. A kimosódott nitrát mennyiséggel a talajban többnyire anaerob körülmények között zajló denitrifikáció sem tudott lépést tartani, ami ugyan nitrogén veszteséget jelentett (illékony ammónia, dinitrogén-oxid és nitrogén gáz) a mezőgazdaság számára, de hozzájárult a felszín alatti közeg nitrát, nitrit szennyezettségének az enyhüléséhez. Bizonyos zöldségek akkumulálhatják a nitrátokat (pl. saláta, retek, cékla, spenót, karalábé), míg a gyümölcsök általában nem számítanak nitrát felhalmozónak.

A környezetben, az élelmiszerekben, az ivóvízben a nitrátok fokozott jelenlétének két különlegesen fontos egészségügyi következménye lehet. A közvetlenül a nitritek által kiváltott, de közvetve a nitrátokból kialakuló súlyos megbetegedés a **methaemoglobinaemia** (methemoglobinémia). Ez a megbetegedés a köz- és az állategészségügyi gyakorlatban a nagy

nitrát tartalmú ivóvíz, ill. itatóvíz elfogyasztása révén alakul ki, mivel az emésztőrendszerben a baktériumok a nitrátokat nitritté alakítják át, amely felszívódva a keringésbe kerül. A nitrition a vér hemoglobinjának Fe(II), ferro komponensét oxidálja, az így keletkező methemoglobin Fe(III), ferri vasa már képtelen az oxigén felvételére és szállítására. Methemoglobin a vörösvérsejtekben élettanilag ugyan folyamatosan keletkezik, de normális esetben az összhemoglobinon belül részaránya 1 % körül van. Az oxigén szállítására képes forma, a hemoglobin és a methemoglobin közötti egyensúlyt a methemoglobinreduktáz nevű enzim tartja fenn, amely a methemoglobint folyamatosan hemoglobinná redukálja. Abban az esetben, ha kóros körülmények között (fokozott nitrát, nitrit bevitel) az egyensúlyi állapot felborul, a methemoglobin képződés meghaladja az élettani reduktázrendszer teljesítőképességét és így a hemoglobin 20-40%-a methemoglobinná alakul, akkor klinikai tünetek keletkeznek (anoxia, nehézlégzés, cianózis, bódultság, lép-és májduzzanat a vér és a vizelet csokoládé barnára színeződése), míg 60-80%-os átalakulás már (fulladásos) halálhoz vezet. A csecsemők különösen veszélyeztetettek, mivel 3-6 hónapos korig methemoglobinreduktáz rendszer még nem fejlődik ki teljesen. A kockázat 3 hónapos korig nagy, hat hónapos korig kifejezett, ezután 1 éves korig potenciális. **A víz nitrit-, nitrát tartalmát egyszerű konyhai műveletekkel (pl. forralás) nem lehet eltávolítani.**

A táplálék magas nitrát tartalma (amihez hozzájárulhat a nitrát-nitrit pác-sókkal tartósított húsfélék fogyasztása is) már az ételek elkészítése közben (pl. sütéssel való hevítés) vagy a gyomorban savas pH mellett mutagén és rákkeltő N-nitrozo (NOC) vegyületek kialakulásához vezethet. Az NOC anyagok olyan vegyületek, amelyekben a nitrozo csoport ($-N=O$) a szekunder aminok vagy alkil-amidok nitrogénjéhez kötött. Leggyakrabban az agyban, nyelőcsőben, gyomorban, bélben, májban, vesében, húgyhólyagban, vérképző szervekben indukálnak daganatokat. 1981 óta 39 fajban (a kagylóktól a főemlősökig) bizonyultak **karcinogénnek**. Két fő csoportjukat különböztetik meg a **nitrozaminokat és a nitrozamidokat**.

Sajnálatos módon Magyarország legkülönbözőbb vidékein nagy gyakorisággal találunk nitrátokkal szennyezett területeket, ahol a talajvízre fúrt kutak igen magas nitrát tartalmúak, okát ld. fentebb (sok esetben meghaladják a 200 mg/L értéket is). A 47/2005 (III.11.) Korm. rendeletről pedig azt tudhatjuk meg, hogy Magyarországon, több mint 90.000 ember lakik olyan településeken, amelyek ivóvizében a **nitrittartalom** magasabb, mint 0,5 mg/L. Ebből 2000-en olyan helyen élnek, ahol az arzén tartalom is az ideiglenes ivóvíz határérték (50 µg/L) feletti. [47/2005 (III.11.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 201/2001 (X. 25.) Korm. rendelet módosításáról]

AMMÓNIUM

[B(fav) =500 µg/L, ideiglenes ivóvíz határérték: 2,0 mg/L, elérendő 0,5 µg/l.]

A természetben nitrogén tartalmú szerves anyagok bomlásával keletkezik, a felszín alatti vizek számára jelentős terhelést jelentenek az ammónium tartalmú műtrágyák gyártása és használata [pl. ammónium- nitrát (pétisóban), ammónium-szulfát], a hígtrágyák és a szennyvizek. Ipari tevékenységek során a salétromsav, a karbamid, különböző hűtőközegek

előállítás, de a fémek lágyítása, savas közegek semlegesítése, egyes ércek kivonása, és kőolajkrakkoló katalizátoraként is terhelheti a környezetet. A nitrifikáció folyamatában nitráttá és nitritté alakulhat, a denitrifikáció során dinitrogén-oxid vagy nitrogén gáz képződhet belőle. Az ammónia jelenlétére dögtemetők, sírkertek közelében, bányák felhagyása utáni vízvizsszatöltődések során is számítani kell a felszín alatti vizekben. A 47/2005 (111.11.) Korm. rendeletről megtudhatjuk, hogy Magyarországon több mint 1.700.000 ember lakik olyan településeken, amelyek ivóvizében az ammónium-ion koncentráció magasabb, mint 0,5 mg/L.

2.3.3.3. Szénhidrogének (TPH)

[TPH B(fk) = 100 mg/kg, B(fav) = 100 µg/L; olajszármazékok ivóvízben megengedett határértéke: 50 µg/L]

Ebbe a csoportba a szénhidrogén vegyületek közül azok az alifás szénhidrogének tartoznak, amelyek szénatom száma 5-40-ig terjed, vagyis ezt az anyag csoportot „**összes alifás szénhidrogén (TPH) C₅₋₄₀**” elnevezés alatt foglalják össze a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben. Tudnunk kell azonban, hogy külföldön a TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) tágabb fogalom, ugyanis beletartozónak számítanak minden olyan kőolaj eredetű szénhidrogén vegyületet, amely a C 5-40 szénatom szám tartományban kimutatható. Vagyis megint csak vigyázni kell arra, hogy mit ért a beszélő a fogalom alatt. A továbbiakban, a jegyzetben a hazai jogszabálynak megfelelő TPH értelmezést használjuk.

A TPH vegyületeket mind a kőolajban, mind a kőolaj származékokban megtaláljuk, a kőolaj kitermelése, szállítása, feldolgozása, a kőolaj ipari termékek (benzin, kerozin, gázolaj, fűtőolajok, kenőolajok, stb.) mozgatása, raktározása, forgalmazása, használata során és hulladékaik (pl. fűrészi iszapok, fáradt olajok, olajos szennyvizek és iszapok) révén szinte bárhol a környezetbe kerülhetnek, néha drámai méretű balesetek következtében (tankhajók), vagy sokáig szem elől rejtett módon, lappangva, a felszín alatt (pl. laktanyák, üzemanyag-töltő állomások, mezőgazdasági gépállomások, majorok stb.) vagy éppen háborús cselekmények következményeként (pl. szerb finomítók bombázása, Öböl-háború, iraki háború stb.).

A környezetvédelmi gyakorlatban fontosabb alifás szénhidrogének vázlatos csoportosítását a **9. és 10. ábrán** mutatjuk be. A **9. ábráról** látható, hogy az alifás szénhidrogéneket kémiaiilag két fő csoportba oszthatjuk telítettekre és telítetlenekre. Mindkét csoport tagjai lehetnek egyenes (normál, n-), elágazó (izo, i-) és gyűrűs (ciklo, c-) szénláncúak, a telítetlenek ráadásul még kettős, ill. hármas kötések is tartalmazhatnak. A **10. ábra** arra hívja fel a figyelmet, hogy mind a terepi mintavételezés és kémiai analitika kivitelezési módja, mind pedig a környezetvédelmi beavatkozás (kármentesítés) szempontjából két különböző tulajdonságokkal rendelkező anyag csoportot érdemes elkülöníteni a TPH vegyületeken belül. Az egyik csoportba az illékony TPH vegyületek (VPH) tartoznak, ezek 5-10 terjedő szénatom számúak, ilyenek vannak nagy arányban, a gázolinban (gáz-kondenzátumok) benzinben, kerozinban, az e felettiak pedig a kevésbé illékony vagy nem illékony TPH vegyületek (EPH), melyek a gázolajok, fűtőolajok, kenőolajok, hidraulikaolajok zömét alkotják. A megkülönböztetés többek között, azért lényeges, mert az illékonyakra más mintavételi, minta előkészítési, minta feldolgozási szabályok (pl. „purge and trap” vagy head space” gőztér analízis) érvényesek, mint a nem illékony frakcióra, éppen azért, hogy illékonyaságuk miatt ne

vesszenek el, ne párologjanak el a mintából még a konkrét műszeres vizsgálat előtt. Az illékony TPH vegyületek az emberi szervezetre, az ökoszisztémára nézve mérgezőbbek, jobban oldódnak a felszín alatti vízben (a pentán= C_5H_{12} vízoldhatósága: 3,2 mg/L, míg a heptadekáné= $C_{17}H_{36}$: $1,4 \cdot 10^{-3}$ mg/L), így időegység alatt messzebbre juthatnak a talajvíz áramlásával, mint a nem illékonyak, ezért rendkívül fontos, hogy koncentrációjukról minél valósabb képet kapjunk. A TPH szennyezettség illékony és nem illékony arányának ismerete azért is fontos, mert a talaj és talajvíz tisztítási eljárásokban használt technológiák is különböznek aszerint, hogy gazdaságosan alkalmazhatóak-e az egyik vagy a másik frakció eltávolítására. Pl. egy benzin szennyezés talajvízből való tisztítására bátran tervezhető egy sztrippelési (vízből való kilevegőztetéses) eljárás, levegő oldali aktív szén szűrővel kiegészítve, míg pl. egy gázolaj-kenőolaj szennyezés esetében ez a módszer már nem tekinthető kivitelezhetőnek. Vagy pl. egy kevert kerozin és gázolajszennyezés (volt katonai repülőtereken nem ritka) esetében valószínűsíthetően együtt kell alkalmazni a sztrippelést és a sztrippelési el nem távolítható, nem illékony TPH frakció megkötésére az aktív szén vízoldali szűrést. Fontos tudnunk, hogy pl. az ólommentes benzinekben az illékony alifás szénhidrogén vegyületek mellett, illékony monoaromás pl. benzol vegyületeket, ill. illékony MTBE-t (metil-terc-butil-étert) és ETBE-t (etil-terc-butil-éter) is találunk adalék anyagként. Ez utóbbi vegyületekre jelenleg még nem rendelkezünk határértékkel, de egyre terjedő használatuk, fokozott izróntó hatásuk és ökológiai veszélyeik miatt egyre inkább várható ezekre a vegyületekre is határérték bevezetése. A nyersolajjal, üzemanyagokkal, fűtő- és tüzelő olajokkal, ezek hulladékaival történt környezetszennyezések a legveszélyesebb és leggyakoribb környezetkárosítások közé tartoznak és csak nagy anyagi ráfordításokkal szüntethetők meg. A földtani közegbe került szénhidrogén vegyületek fontosabb környezeti hatásait az alábbiakban foglalhatjuk össze.

A felszín alatti közegekből kipárolgó szénhidrogének:

- A levegő oxigénjével elegyedve tűz-, ill. robbanásveszélyes helyzetet teremthetnek.
- A bőrön, a nyálkahártyákon, a tüdőn keresztül is felszívódhatnak, irritáló, szenzibilizáló, ill. toxikus hatásúak (pl. hexán, ciklohexán, triklór-etilén*, tetraklór-etilén*) vagy daganatos betegségek indukálói lehetnek (pl. benzol*).

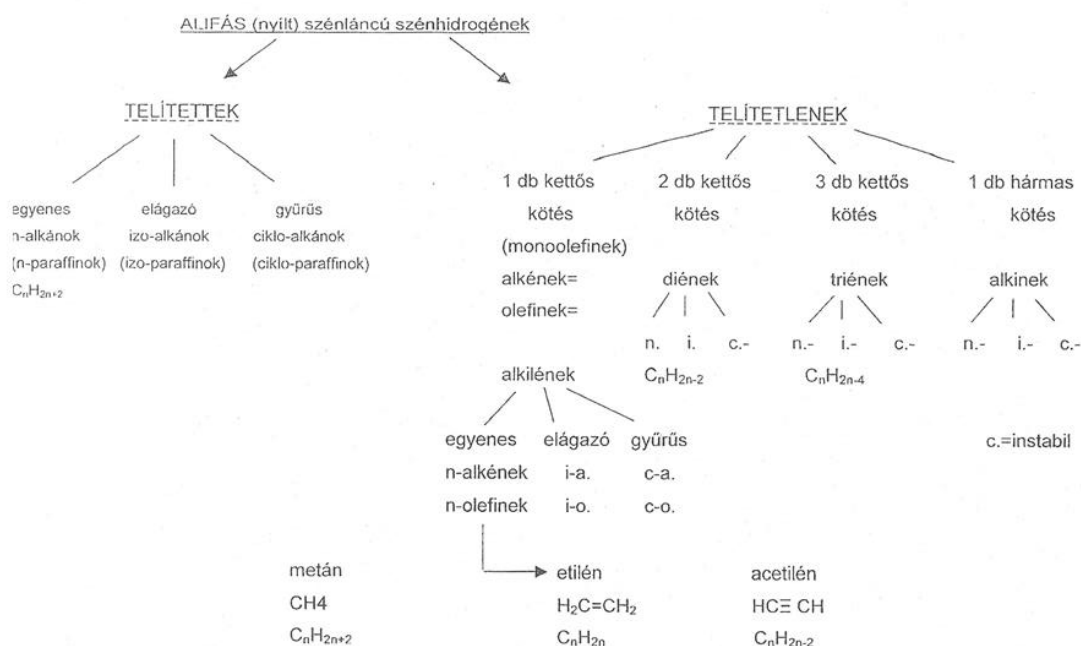
A felszín alatti közegekbe elszivárgó szénhidrogének:

- Hosszabb-rövidebb ideig perzisztálnak a talajban (változatlan kémiai és biológiai reakcióképességgel), kémiai szerkezetük, koncentrációjuk, biológiai hozzáférhetőségük és lebonthatóságuk, továbbá a talaj hidraulikus vezetőképessége, szerves anyag és agyagásvány tartalma függvényében. A TPH vegyületek viszonylag könnyen biodegradálhatók, legkönnyebben a normál paraffinok (n-alkánok), a lebonthatóság esélye a szénatomszám növekedésével romlik.
- Apoláros jellegüknél fogva a talaj kapillárisaiból a vizet, levegőt kiszoríthatják, így éppen azok az oxidatív folyamatok gátlódnak, amelyek a talajok biodegradációs öntisztulásához vezetnek.
- Hatásukra gátlást szenvedhetnek a biológiai anyagkörforgalmi rendszerek, így pl. a cellulóz-, a fehérje- és aminosavbontó mikroszervezetek száma és aktivitása csökken a talajban.
- Potenciális felszíni- és felszín alatti vízszennyezők. A talajvízbe kerülve, azzal messzire eljuthatnak, ivó- és öntözővíz bázisokat, ill. a természetes vizek élővilágát veszélyeztetve.

- Bizonyos alifás (pl. hexán), monoaromás* (BTEX) és poliaromás (PAH)* vegyületek toxikus, mutagén, teratogén és karcinogén hatásúak lehetnek.
- Beléphetnek a táplálékláncba, beépülhetnek a különböző élőlényekbe.

(* : nem TPH vegyületek!)

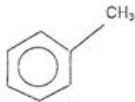
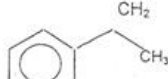
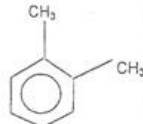
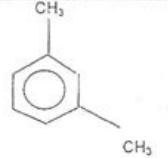
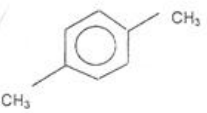
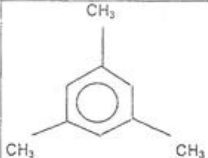
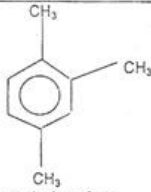
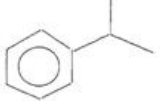
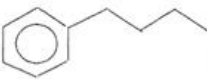
Fontos tudnunk, hogy a TPH vegyületek, az üzemanyagok, motorolajok, hidraulika olajok, háztartási tüzelőolaj sűrűsége kisebb a víznél, ezért, ha az oldékonysági határukat meghaladó koncentrációban jutnak a felszín alatti vízbe, akkor szabad fázisban = felúszó fázisban összegyűlnek annak tetején. Sajnos így terjedhetnek is a víz felszínén, olyan területekre, ahol a felettük lévő földtani közeg tiszta. Ekkor a talajvízszint feletti kapilláris zónába felszívódhatnak, ill. a felszín alatti víz szintjének megemelkedése szétkenheti őket az addig tiszta rétegben. A vízszint visszahúzódása, süllyedése után ezek az új talaj szennyezettségi göcök pl. a csapadékvíz hatására, folyamatos, ill. időszakos szennyezés utánpótlást jelenthetnek a talajvíz felé. A felúszó szennyező réteg vastagsága műszeresen mérhető, ennek eltávolítása az első leglényegesebb beavatkozás az adott kárhelyen. Vannak olyan oldószerek, folyadékok, amelyek sűrűsége viszont nagyobb, mint a vízé (pl. klórozott alifás szénhidrogének zöme, vigyázat nem TPH vegyületek), ezek pedig az első vízzáró réteg felszínén (általában annak mélyedéseiben) gyűlhetnek össze és sokszor a fekvő felszínének lejtése mentén gravitációs hatásra, a talajvíz áramlási irányával szemben is elmozdulhatnak, szivároghatnak. Fentiek alapján belátható, hogy lényeges megismerni az egyes szerves szennyezőanyagok oldhatósági viszonyait és sűrűségüket, illékonyságukat, mert pl. a környezetben való viselkedésüket, mintázásuk módját, a felszámolásukra alkalmazható technológiák közötti választást nagymértékben befolyásolják ezek a tulajdonságok. Fontosabb irányzámként a motorbenzin vízzoldhatósága a 100-500 mg/L, a dízel olajé pedig 10-20 mg/L koncentráció tartományban adható meg.



9. ábra Az alifás szénhidrogének csoportosítása

rendszer tömítelenségeiből származó, üzemanyag eredetű illékony vegyületek. Sajnálatos módon elméletileg kb. 1 liter benzinben lévő benzollal kb. 8 millió liter vizet lehet elszennyezni, úgy, hogy annak benzol koncentrációja elérje a B szennyezettségi határértéket (1 µg/L).

Fontos tudni továbbá, hogy a toluol és a xilolok esetében a benzolhoz képest magas az a toxikológiai szempontból elviselhető koncentráció, amelynél még egészségkárosodás nem várható, de az érzékszervi küszöb koncentráció (ami még diszkomfort-, idegen íz érzést nem vált ki) lényegesen alacsonyabb: 20 µg/L, vagyis e fölött a legtöbb ember számára már fogyasztásra alkalmatlan az ivóvíz, amit pl. egy D-érték meghatározásnál figyelembe kell venni. Bármely kőolaj finomítási termék, különösen benzin (motorbenzin, mosóbenzin, vegyipari benzin, speciál benzin), kerozin és gázolin (gázkondenzátum) előállítása, szállítása, felhasználása, forgalmazása kapcsán történő tényfeltárás esetén feltétlenül vizsgálandó komponens. Korábban, különösen a 33/2000 Kormány rendelet megjelenéséig, igen sok ilyen jellegű felmérés során csak TPH (összes alifás szénhidrogén) vizsgálatokra került sor, melynek következtében sokszor csak évek elteltével, a műszaki beavatkozás lezárása során derült fény arra, hogy a terület BTEX komponensekkel is szennyezett, így a kármentesítést (műszaki beavatkozást) azokra is el kell végezni.

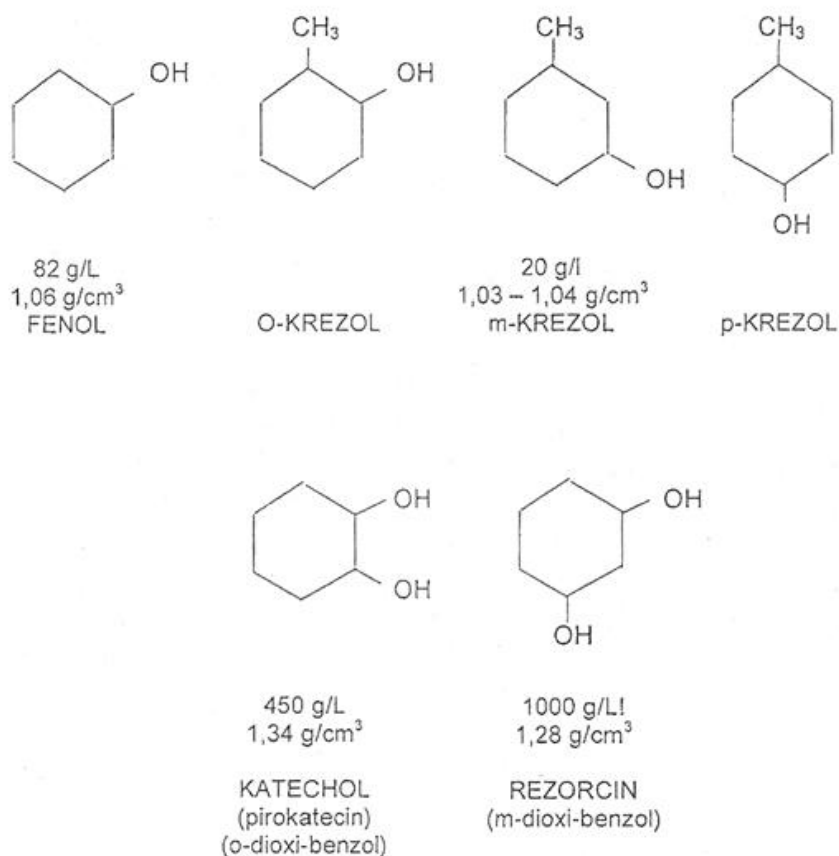
 0,879 g/cm ³ 1,75 · 10 ³ mg/L benzol	 0,866 g/cm ³ 1,75 · 10 ² mg/L toluol	BENZOL ÉS ALKIL-BENZOLOK (BTEX VEGYÜLETEK)
 1,52 · 10 ² mg/L etil-benzol	 1,75 · 10 ² mg/L o-xilol	
 m-xilol	 (para) p-xilol	EGYEDI HATÁRÉRTÉK VAN: - BENZOLRA - TOLUOLRA - ETIL-BENZOLRA - XILOLOKRA
 mezitilén*	 pseudo-kumén**	
 kumén***	 n-butil-benzol	AZ EGYÉB ALKIL-BENZOLOKRA ÖSSZEGZETT HATÁRÉRTÉK VAN, IS ILYEN VEGYÜLETET SOROL FEL A RENDELET PL. - * 1,3,5-TRIMETIL-BENZOL - ** 1,2,4-TRIMETIL-BENZOL - *** IZO-PROPIl-TOLUOL

11. ábra A fontosabb BTEX vegyületek (Bizonyos vegyületeknél megadtuk a vízdoldhatóságukat [mg/l] és sűrűségüket [g/cm³])

FENOLOK

[Fenol B(fk) = 1 mg/kg, B(fav) = 20 µg/L, RfDo $6 \cdot 10^{-1}$ mg/ tt kg/nap; Krezol B(fk) = 0,5 mg/kg, B(fav) = 5 µg/L; Katechol B(fk) = 0,5 mg/kg, B(fav) = 5 µg/L; Rezorcín B(fk) = 0,5 mg/kg, B(fav) = 5 µg/L; összes fenol B(fk) = 1 mg/kg, B(fav) = 20 µg/L; ivóvíz határérték fenolindexre: 20 µg/L]

A fenolok átható szagú, égető ízű vegyületek, amelyek már 1-10 mg/L koncentráció tartományban toxikusak lehetnek a mikroszervezetekre, hagyományos módon a kőszén, fa száraz lepárlásakor keletkeznek. A fenolok olyan aromás vegyületek (benzolszármazékok), amelyekben egy vagy több benzol gyűrűhöz kapcsolt hidrogén atomot hidroxil-csoport helyettesít, ezek száma alapján lehetnek a fenolvegyületek egy-, két- és hatértékűek. Alkohollal, éterrel, kloroformmal, zsíros és illó olajokkal szinte korlátlanul elegyedik. Vízoldhatóságukat és sűrűségüket a **12. ábra** mutatja.



12. ábra Fenol vegyületek neve és szerkezeti képlete Bizonyos vegyületeknél megadtuk a vízoldhatóságukat [mg/l] és sűrűségüket [g/cm³]

Nagy mennyiségű fenolt igényel a **vegyipar** műgyanták (fenol-, krezol-, formaldehid kondenzációs termékek, a fenoplasztok) előállításához, **valamint festékek, gyógyszerek, műanyaglágyítók, szintetikus cserzőanyagok, rovarirtószerek, robbanóanyagok, kenőolajok, oldószerek előállításához.** Gyakran megtalálhatók széntüzelésű erőművek,

kazánok, érces fémolvasztók salakjához kötődően, koksoló művek, szén-, fa-, kőolajleparlók, gyógyszergyárak, papírgyárak melléktermékeiben, szennyvizeiben. Meg kell jegyezni, hogy a növényi és állati szervezetek bomlásakor is folyamatosan keletkeznek fenol-gyűrűket tartalmazó vegyületek, amelyek továbbalakulva a talajban, annak humuszanyagait gazdagítják. A fenolok szerkezetüket illetően a tercier alkoholokhoz hasonlóak, de kémiai sajátosságok tekintetében lényegesen eltérnek tőlük, mert határozottan savanyú (savas) jelleműek, bázisok hatására sószerű vegyületek, fenolátok (pl. nátrium-fenolát) keletkeznek. A savanyú jelleg tovább erősödik, ha a benzolgyűrű a hidroxidon kívül halogént vagy nitro-csoportot is tartalmaz. Az alkoholokhoz hasonlóan a fenolok észtereket és étereket is alkotnak. A fenol vegyületek idegrendszeri és vesekárosodást okozhatnak, a bőrön át is felszívódhatnak, a fenol állatokban bizonyítottan rákkeltő hatású anyag. A katecholról érdemes megjegyezni, hogy az aromás gyűrűt tartalmazó vegyületek biodegradációja során köztiterméként keletkezhet.

A fenol vegyületek érdekessége, hogy annak ellenére, hogy illékonyak, a vízből nem lehet gazdaságosan kilevegőztetni (sztrippelni) őket, hiszen a hidroxil-csoport jelenléte miatt igen jól oldódnak és kapcsolódnak a vízmolekulákhoz. Ritkán fordulnak elő a felszín alatti vízben önállóan, szinte minden esetben, valamely más szénhidrogén szennyezés kísérő vegyületei.

A fenol vegyületek vízzel elegyedve jelentős ízrontó hatást okoznak, amit a klórozás tovább fokoz. Pl. a fenol ízrontó hatása önmagában 300 µg/L-től jelentkezik, klórozva már 2 µg/L-től, a krezolé önmagában 2-3 µg/L-től, klórozás után pedig már 0,1 µg/L-től érvényesülhet.

POLICIKLIKUS AROMÁS SZÉNHIDROGÉNEK (PAH)

[Összes PAH B(fk) = 1 mg/kg, összes PAH naftalinak nélkül B(fav) = 2 µg/L, naftalinak B(fav) = 2 µg/L; ivóvíz határérték benz(a)pirénre: 0,010 µg/L, 4 PAH vegyületre (benz(B)fluorantén + benz(k)fluorantén + benz(g,h,i)perilén + indeno(1,2,3-cd)perilén: 0,1 µg/L]

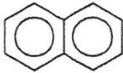
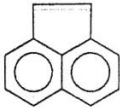
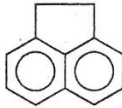
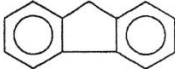
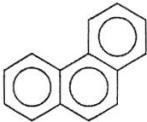
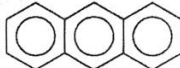
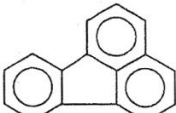
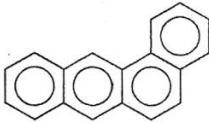
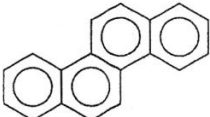
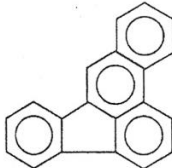
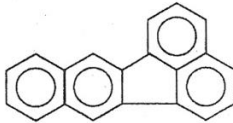
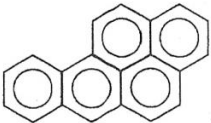
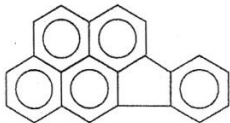
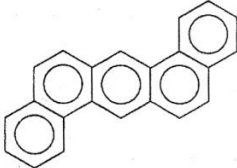
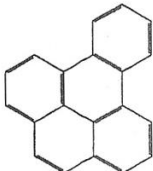
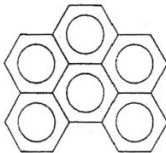
A policiklikus aromás (más néven poliaromás) szénhidrogének **kondenzált aromás gyűrűket tartalmazó vegyületek**, a naftalinok kivételével nem illékonyak. A gyűrűszám növekedésével rohamosan csökken a vízoldhatóságuk, nő a forráspontjuk, ill. a környezetben való lebomlási idejük. Ebbe az anyagcsoportba 3 naftalin vegyület (2 gyűrűsök, a naftalin és metilezett származékai, melyek közül ez utóbbiak főként a kipufogógázokban jelennek meg), és 16- féle 3-7 gyűrűs vegyület tartozik, amelyek szerkezeti képletét a **13. ábra** mutatja. Az ábráról is látható, hogy eddig közülük **hét vegyületről bizonyosodott be, hogy emberben rákkeltő hatásúak**. Ezek közül a benz(a)pirén volt az a PAH-vegyület, amelyről először állapították meg a karcinogenitást, sajnálatos módon bőr, tüdő, bél, húgyhólyag daganatok kialakulásáért teszik elsősorban felelőssé. Érdekes a háztartásokban molyirtóként használt, illékonynak számító naftalin megítélése, ugyanis egerekben, patkányokban tüdő-, ill. orrdaganatot okozott, ezért az IARC (International Agency for Research on Cancer) emberben valószínűsíthetően rákot okozó anyagként tartja nyilván, míg az USA EPA szerint nem bizonyított emberi rákkeltő hatása és a hazai jogszabályok sem tartják annak. (Bizony nehéz az eligazodás rák-ügyben!)

A poliaromás szénhidrogének a kőolaj képződésekor, a növényi, állati szervezetek bomlásakor, szerves vegyületek tökéletlen égésekor pl. tüzelő- és üzemanyagok (tűzifa, szén, fűtőolaj, gázolaj, benzin) elégetésekor, bozót-, erdő-, tőzegtüzek, tarló-, gaz- vagy szemétegetéskor keletkeznek, mindig megtalálhatók a füstgázokban, a cigaretta füstben, gépjárművek kipufogó gázaiban. Az égéskor, égetéskor keletkező PAH vegyületek a porszemcsékre tapadva (idéződjenek fel pl. a sűrű, fekete füstöt okádó dízel motorok, amelyekből szilárd, PAH-okban gazdag, többnyire koromszemcsék távoznak aeroszol formájában) a légáramlással együtt mozognak és érnek el a tüdőbe, a légköri üledékekkel a talajba, felszíni vizekbe. Egyes területeken pl. kőolajfeldolgozó üzemek, alumínium kohók, kokszolók, vaskohászati üzemek, gázgyárak környékén különösen nagy a PAH-szennyezés veszélye, de a háztartásokban sem vagyunk védve tőlük, pl. az odasült pirítós- és hús szeletek, a füstölt ételek, a "fáradt étolaj", a pörkölt kávé, sőt bizonyos gyökérzöldségek, mind-mind tartalmazhatják, de a sör sem biztos, hogy kilóg ebből a sorból, hiszen a malátát is pörkölik, de éppenséggel a whisky gyártás folyamatát is végiggondolhatjuk. A PAH vegyületekből nitrogén-oxidok jelenlétében nitro-PAH vegyületek keletkeznek, de klór molekulák is kapcsolódhatnak az alapgyűrűkhöz. (Ezekben az esetekben megnövekszik a molekulák toxicitása, rákkeltő hatása.) Az előbbi folyamat főként a nitrogén-oxidokkal szennyezett levegőben és a hevített, pl. nitrittel-nitráttal tartósított ételekben könnyen előfordulhat, ez utóbbi pedig hétköznapi példával élve, klórozott csapvízzel való kávéfőzés során (beklórozzuk a pörkölt kávé PAH vegyületeit) is megtörténhet. (A 2-nitronaftalint pl. a 25/2000(IX.30.) EüM-SZCSM együttes rendelet már egyértelműen a karcinogének közé sorolja.)

A PAH vegyületeket is döntően a kőolaj származékok előállítása, szállítása, felhasználása, forgalmazása kapcsán kereshetjük, de a korábbi gázgyártási folyamatokból hátrahagyott ún. gázmassza, ill. a koromgyárak és a széntüzelésű erőművek széntárolói környezetében is igen gyakran előforduló szennyező anyagok. A naftalinokat leszámítva (molyirtó!) nem illékony vegyületek, és a monoaromás szénhidrogénekhez képest igen lassan terjednek a felszín alatti közegekben.

Korábban, igen sok ilyen jellegű tényfeltárás során csak TPH (összes alifás szénhidrogén) esetleg BTEX vizsgálatokra került sor, melynek következtében sokszor csak évek elteltével, a műszaki beavatkozás lezárása során derült fény arra, hogy a terület PAH komponensekkel is szennyezett, így a kármentesítést (műszaki beavatkozást) azokra is el kell végezni. Ma már a hatóságoknál egyre inkább elterjedt gyakorlat, hogy szénhidrogén szennyezések tényfeltárása és kármentesítése esetén - nagyon helyesen - előírják a PAH komponensek vizsgálatát is.

A gyakorlatban sokszor előfordul, hogy az igen rossz vízdékonyságú 3-4-5 gyűrűs PAH vegyületek, a felszín alatti vízben a maximális oldékonyságuknál nagyobb koncentrációban detektálhatók. Ennek oka, nem a hibás laboratóriumi mérés, hanem az, hogy a jobban oldódó szénhidrogén vegyületek jelentős mennyiségben beoldják a felszín alatti vizekbe a poliaromás szénhidrogén komponenseket. Magyarország egyik petrokémiai üzemének tényfeltárása során pl. az 1-5 µg/L oldhatóságú többgyűrűs PAH komponensek több száz µg/L koncentrációban jelentkezték a talajvízben, melynek oka a több százezer µg/L koncentrációban jelen lévő benzol volt. Ugyanakkor a víznél nehezebb PAH vegyületek, némi pH hatással kombinálva, előidéztek azt az igen furcsa helyzetet, hogy a víznél könnyebb monoaromás szénhidrogének, egészen a 20 m mélységben lévő első vízzáró rétegig lejutottak és ott koncentráálódtak.

 32 mg/L 1,145g/cm ³ naftalin*	 acenaftilén	 acenaftén
 fluorén	 fenantrén	 antracén
 2,6*10 ⁻¹ mg/L fluorantén	 pirén	 benz (a) antracén RK
 1,27 g/cm ³ krizén RK	 2,4*10 ⁻³ mg/L benz (b) fluorantén RK	 benz (k) fluorantén RK
 1,3*10 ⁻³ mg/L 1,35 g/cm ³ benz (a) pirén RK	 indenol (1,2,3-c,d) pirén RK	 dibenz (a,h) antracén RK
 benz (a) pirén	 7*10 ⁻⁴ mg/L benz (g,h,i) perilén	[mg/L] = vízoldhatóság [g/cm³] = sűrűség RK = RÁKKELTŐ

13. ábra PAH vegyületek néhány jellemzője

KLÓROZOTT AROMÁS SZÉNHIDROGÉNEK

[Összes halogénezett aromás szénhidrogén $B(fk) = 1 \text{ mg/kg}$, összes halogénezett aromás szénhidrogén $B(fav) = 2 \text{ µg/L}$; ivóvíz határérték nincs.]

Ebbe a csoportba a klórbenzol vegyületek, klórnaftalinok (naftalint lásd a PAH vegyületeknél) és cibrom-benzol tartoznak. A klórbenzol vegyületek felépítésére az jellemző, hogy a benzol gyűrű hidrogénjeit klór atomok szubsztituálják. A mono-, di- és triklórbenzolok illékonyak számítanak, míg a tetra-, penta- és hexaklórbenzol nem. A klórszubsztitúció növekedésével csökken a vízzoldékonyságuk és általában nő a sűrűségük: monoklórbenzol oldhatósága 466 mg/L , sűrűsége $1,106 \text{ g/cm}^3$; az 1,4-diklórbenzol vízzoldhatósága 79 mg/L , sűrűsége $1,458 \text{ g/cm}^3$; az 1,2,4-triklórbenzol oldhatósága 30 mg/L , sűrűsége $1,446 \text{ g/cm}^3$; a hexaklórbenzol oldhatósága már csak $0,006 \text{ mg/L}$, sűrűsége pedig $2,044 \text{ g/cm}^3$, megjelenési formája pedig sokszor inkább szilárd, mint folyékony.

A klórozott aromás szénhidrogének csoportjába elsősorban olyan anyagok tartoznak, amelyek növényvédőszer, gyógyszerek alapanyagai, elrontott szintézis- és/vagy melléktermékei. (Hexaklórbenzol tartalmú növényvédőszer nem forgalmazható Magyarországon.) Ezekből a vegyületekből 1960 és 1980 között jelentős mennyiség került a környezetbe (pl. Garé és Hidas térsége, ahol a korábbi vegyipari melléktermékeket, elrontott szintézisből származó hulladékokat tárolták). Jelentős mennyiségű klórbenzol került a felszín alatti vízbe egy Budapest környéki egykori gyógyszergyári hulladékégető környezetében is. Víznel nehezebb szennyezőanyag lévén, először vertikálisan terjedt az első vízrekesztő rétegig, majd a fekün vándorolva több száz m-re a szennyezőforrástól jelent meg a szennyeződés, egy ivóvízbázis termelő kútjainak közvetlen környezetében.

Az 1,2,4,5-tetraklórbenzol közti termék színezékek, égésgátló szerek, víztaszító készítmények előállításánál is. A hexaklórbenzolt vagy más néven perklorbenzolt növényvédőszer, lángállóvá tevő pácolószer, szerves szintézisekben, PVC lágyítószerként használják.

A hexaklórbenzol tizenegy másik anyaggal, anyagcsoporttal együtt a környezetet leg súlyosabban károsító POP (Persistent Organic Pollutants = Perzisztens Szerves Szennyezők) vegyületek közé tartozik. (Szokás az alapvető POP vegyületeket "piszkos tizenkettő"-nek is nevezni.) Ezek közül 8 növényvédőszer hatóanyag, kettő ipari felhasználású anyag, így a hexaklórbenzol és a poliklórozott bifenilek, ill. kettő melléktermékeként keletkezik, ezek a dioxinok és a furánok, de valószínűsíthetően a lista tovább bővül majd. Ezek az anyagok rendkívül nehezen bomlanak le a környezetben, az állati és az emberi szervezetben halmozódnak, toxikusak, rombolják az immunrendszert, idegrendszeri elváltozásokat, fejlődési rendellenességeket, allergiát, hiperszenzitivitást, sok esetben rákot okoznak. CA hexaklórbenzol anaerob körülmények közötti felezési idejét pl. 23 évre becsülik.)

KLÓROZOTT ALIFÁS SZÉNHIDROGÉNEK

[Összes klórozott alifás szénhidrogén $B(fk) = 0,1 \text{ mg/kg}$, összes klórozott alifás szénhidrogén $B(fav) = 40 \text{ µg/L}$; ivóvíz határérték összes klórozott alifás szénhidrogénre nincs;

vinil-klorid $B(fk) = 0,001 \text{ mg/kg}$, $B(fav) = 0,1 \text{ } \mu\text{g/L}$, ivóvíz határérték: $0,5 \text{ } \mu\text{g/L}$; ivóvíz határértékek 1,2- diklór-etánra: $0,1 \text{ } \mu\text{g/L}$, epiklórhidrinre: $0,1 \text{ } \mu\text{g/L}$, tri- és tetraklór-etilénra együttesen: $10 \text{ } \mu\text{g/L}$, négyféle trihalo-metán (kloroform, bromoform, dibróm-klórmetán, bróm-diklórmetán): $50 \text{ } \mu\text{g/L}$, cisz-1,2-diklór-etilén: $50 \text{ } \mu\text{g/L}$

Az idesorolt vegyületek közül a legnagyobb mennyiségben a diklór-metánt, a triklór- és a tetraklór etilént gyártják (kb. egymillió t/év nagyságrendben). A triklór-etilént és a tetraklór-etilént (perklóretilén) gyanta, szurok, kőszénkátrány, gumi, zsír, viasz, paraffin oldására, extrahálására, fém alkatrészek és gyártmányok tisztítására pl. lakkozás, galvanizálás előtti zsírtalanításra és főleg a triklór-etilént szövetek, ruhák ún. száraz vegytisztítására használják.

A diklór-metánt oldó-, zsírtalanító-, tisztítószerként, olajok, zsírok, parfümök extrahálására és a műselyemiparban használják.

Az 1,1,2 triklór-trifluor-etánt, mint freon vegyület ipari méretű használatát megtiltották Magyarországon, egyébként a szénhidrogén vegyületek specifikus oldószerének számít az analitikai minta-előkészítésben.

A diklór- etánok és etilének a triklór- és a tetraklór etilén bomlásakor keletkezhetnek, csakúgy, mint a vinil-klorid. Ez utóbbi ráadásul vízőldékonyabb és karcinogenitása kifejezettebb (emberben bizonyítottan rákkeltő), mint. a triklór- vagy a tetraklór-etiléné. Az 1,2- diklór-etánt a hazai szabályozás emberben bizonyítottan rákkeltőként kezeli.

A kloroformot és a széntetrakloridot zsírolószerként használták, de toxicitásuk és feltételezett rákkeltő hatásuk miatt korlátozták, ill. betiltották a használatukat Magyarországon. A kloroformmal (triklór-metán) kapcsolatosan meg kell jegyezni, hogy olyan kárhelyeken is előfordulhat, ahol annak előtte soha sem használták, de a felszín alatti vízbe, a területen alkalmazott technológiák nyomán TPH vegyületek és klorid ionok jutottak a talajvízbe. A jelenség valószínű magyarázata az, hogy a klorid ionok beklórozták" az alifás szénhidrogén vegyületeket, és egy volt autógyár területén feltételezhetően így alakulhatott ki egy kb. 7000 m²-es terület alatti talajvíz táblában a max. $120 \text{ } \mu\text{g/L}$ kloroform koncentrációval jellemezhető szennyezettség. A kloroform egyébként a haloform vagy trihalometánok (THMs) csoportba tartozik. Ezeket a vegyületeket kémiaailag CHX formában írhatjuk le, ahol X valamilyen halogén, Cl, F, Br, I. Ilyen vegyület a kloroformon kívül a bromoform (tribróm-metán, CHBr_3), a bróm-diklór-metán (CHCl_2Br , ami az USA EPA szerint rákkeltő) és a dibróm-klór-metán (CHClBr_2). Ezek a vegyületek mind a közvetlen ipari kibocsátás, mind pedig a környezetben a klór és a szerves anyagok reakciója eredményeként juthatnak a környezetbe. Ezek közül kiemelten fontos, hogy az ivóvíz és a tisztított szennyvizek fertőtlenítésére elterjedten használják a klórozást, amelynek következtében mind az ivóvízben, mind a tisztított szennyvizekben kialakulhatnak a trihalometánok (haloformok) pl. a kloroform, vagyis az addig csekély toxicitás ú szerves anyagokat a klórozás akár karcinogénné is alakíthatja.

A vinil-kloridot a PVC-gyártás és feldolgozás során használják, de pl. rézvezetékek műanyagburkolatának ráolvasztása, lágyítása során is a légtérbe, majd a környezeti levegőbe juthat.

A halogénezett alifás szénhidrogének többségének a sűrűsége nagyobb, mint a vízé (ez alól lényeges kivétel a vinil-klorid, amelyé $0,91 \text{ g/cm}^3$.) Ezek a vegyületek környezetvédelmi

szempontból jól oldódnak a vízben és ezért viszonylag könnyen is terjednek vele, amit a humusz anyagokhoz való kötődésük akadályozhat. A telítetlen alifás klórozott szénhidrogének adszorpció-képessége nagyobb, mint a telítetteké.

Íme néhány példa ezeknek a vegyületeknek a vízzoldhatóságára (mg/L) és sűrűségére (g/cm^3):

1,2-diklór-etán: 8520 mg/L és 1,253 g/cm^3 ; kloroform 8200 mg/L és 1,49 g/cm^3 ; széntetraklorid 1,59 g/cm^3 ; bróm-diklór-metán 2,01 g/cm^3 ; triklór-etilén 1100 mg/L és 1,47 g/cm^3 ; tetraklór-etilén 150 mg/L és 1,63 g/cm^3 ; vinil-klorid 2670 mg/L és 0,91 g/cm^3 .

A felszín alatti környezetben - elterjedt zsírtalanítóként való felhasználásuk miatt - leginkább a tri- és a tetraklór etilén ill. bomlástermékeik találhatók. Több jelentős kárhely található Magyarországon is, például egykori tisztítók (Pátyolat vállalatok) telephelyei, fémmegmunkáló üzemek (telefongyárak, precíziós gépgyártás) és haditechnikai gyárak környezetében. Igen jó vertikális és horizontális terjedési tulajdonságaik, relatív jó vízzoldhatóságuk és igen jelentős egészségügyi veszélyeik miatt az egyik legnehezebben kármentesíthető szennyezőanyag ok közé tartoznak, külföldi tapasztalatok azt mutatják, hogy a legnagyobb kárhelyek (ún. megasite-ok) 30-40 év alatt sem tisztíthatók meg, így műszaki beavatkozások során az elmúlt években elsődlegesen a lokalizálásuk került előtérbe ill. egyre több országban kötik szigorú engedélyekhez ill. tiltják be teljes körűen a használatukat.

2. táblázat A klórozott alifás szénhidrogének B(fav) határértékei és az USA EPA adataiból ismert toxicitási valamint karcinogenitási értékek.

Vegyület neve	B (fav) ($\mu\text{g/L}$)	RfDo (mg/kg/nap)	RfDi (mg/tt kg/nap)	Karcinogenitásra jellemző CSF érték orális inhalációs expozíció esetén	
Diklór-etilén 1,1-diklór-etilén 1,2-diklór-etilén	10	$9 \cdot 10^{-3}$ (1,1-)		0,6 (1,1-)	0,175 (1,1,-)
Diklór-metán	10				
1,1,2-triklór-trifluor-etán	10				
Diklór-etánok 1,1-siklór-etán 1,2-diklór-etán	1	$1 \cdot 10^{-1}$ (1,1-) $3 \cdot 10^{-2}$ (1,2-)	$1,4 \cdot 10^{-1}$ (1,1-) $1,4 \cdot 10^{-3}$ (1,2-)	0,091 (1,2-)	0,091 (1,2-)
Kloroform	5	$1 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	0,0061	0,081
2-Klór-etanol	5				
Széntetraklorid	2	$7 \cdot 10^{-4}$	$5,71 \cdot 10^{-4}$	0,13	0,053
1,2-Diklór-propán	20		$1,14 \cdot 10^{-3}$	0,068	
2,3-Diklór-propilén	20				
Bróm-diklór-metán	30	$2 \cdot 10^{-2}$		0,062	
Triklór-etilén	10	$6 \cdot 10^{-3}$		0,011	0,006
Epiklórhidrin	0,1	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-4}$	0,0099	0,0042
2-Klóretil-vinil-éter	5				
1,3-Diklór-propilén cisz-1,3-diklór-propilén transz-1,3-diklór-propilén	10	$3 \cdot 10^{-2}$ (1,3-Diklór-propilén)	$5,71 \cdot 10^{-3}$ (1,3-Diklór-propilén)	0,1 (1,3-Diklór-propilén)	0,1 (1,3-Diklór-propilén)
1,1,2-Triklór-etán	30	$4 \cdot 10^{-3}$		0,057	0,056
Dibrom-klór-metán	30				
1,2-Dibrom-etán	0,3		$5,7 \cdot 10^{-5}$	85	0,76
Tetraklór-etilén	10	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	0,052	0,002
1,1,2,2-Tetraklór-etán	10	$6 \cdot 10^{-2}$		0,2	0,2
Összes klórozott alifás szénhidrogén	40				
Vinil-klorid	0,1	$3 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	1,5	0,03

KLÓRFENOLOK

[Összes klórphenol B(fk) = 0,01 mg/kg, összes klórphenol B(fav) = 6 µg/L; ivóvíz határérték összes klórphenolra nincs.)

A mono- és diklórienolokat általában fertőtlenítőszerként használták, a triklórphenolokat már fa-, bőr- és textilárak tartósítására is alkalmazták. A klórphenolok festékek szintézisében fontos közbenső termékek. A pentaklórphenol elsősorban fungicid hatású anyag, de kitűnő baktericid, alga-, csiga- és kagylóölő szer is. A Magyarországon engedélyezett növényvédőszer között nem szerepel ez a hatóanyag. Elsősorban faárak és fából készült szerkezeti elemek konzerválására használják, de épületeken belüli alkalmazása fokozatosan megszűnt. A pentaklórienol előállítása során klórozott dibenzo-dioxinok és dibenzo-furánok is keletkeznek, amelyek szennyezik a hatóanyagot. A pentaklórphenol a szerkezetben kumulálódik (pl. a vele kezelt rönkökből készült faházak lakóinak vérében még az elköltözést követő 5 év után is kimutatható), talajvízben, anaerob körülmények között félféltideje több mint 4 év. A klóratomok számának növekedésével csökken a klórphenolok vízdékonysága és általában nő a sűrűségük: monoklórphenol oldhatósága 29 000 mg/L, sűrűsége 1,24 g/cm³; a triklórphenol vízdékonysága 800 mg/L, sűrűsége 1,490 g/cm³; a pentaklórphenol oldhatósága 14 mg/L, sűrűsége 1,978 g/cm³.

POLIKLÓROZOTT BIFENILEK (PCB)

[Összesen 7 PCB vegyületre (a 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 IUPAC számot viselő kongenerekre, elnevezésüket és szerkezeti képletüket lásd a 2.9. sz. ábrán) B(fk) = 0,1 mg/kg, B(fav) = 0,001 µg/L; ivóvíz határérték poliklórozott bifenilekre nincs.] A poliklórozott bifenilek rákkeltő hatására jellemző CSF érték orális és inhalációs expozíció esetén egyaránt: 2. A különböző mennyiségű és egymáshoz viszonyított arányú kongenerekből készült PCB keverékek közül az AROCLOR 1016, 1221, 1232, 1242, 1248, 1254, 1260 számúak az USA EPA megítélése szerint szintén rákkeltő hatásúak. Ezeknek a készítményeknek a karcinogénitására jellemző CSF, mind orális, mind pedig inhalációs expozíció esetén 0,07-2 közötti érték.

A bifenil kémiai az izolált policiklusos aromás szénhidrogének közé tartozik (két benzol-gyűrű egyszeres kötéssel közvetlenül kapcsolódik egymáshoz, közös szénatomjuk nincs). A PCB vegyületeknek mind a tíz hidrogén atomja helyettesíthető klórral, ami összesen 209 különböző mértékben klórozott bifenil származék, ún. **kongener** kialakulását engedi meg, (az azonos számú klóratommal szubsztituált kongenerek a PCB izomerek). A kongenerek közül kb. 100 féle került kereskedelmi forgalomba. A forgalmazott készítmények (pl. az USA-ban AROCLOR, (Nyugat-) Németországban CLOPHEN, Olaszországban PHENOCHLOR, Japánban KANECHLOR, Franciaországban PYRALENE, a Szovjetunióban SOVAL, stb, nálunk általában a német eredetű készítményeket használták) különböző kongenerek többé-kevésbé meghatározott arányú keverékei voltak. Ezek a készítmények gyakorta szennyezettek voltak poliklórozott dibenzo-dioxinokkal, ill. dibenzo-furánokkal (lásd 2.4.2.11. fejezetet) is. A PCB vegyületek főként ipari eredetűek, de (műanyag) hulladékok égetésekor és a

kipufogógázok-ban is képződhetnek, ill. a DOT nevű növényvédőszer DDE nevű bomlástermékéből is kelet-kezhhetnek. A poli klórozott bifenilek a környezetben rendkívül stabilak, a POP vegyületek közé tartoznak, félélet idejük több évtized is lehet. Elégetésük során dioxinok képződnek.

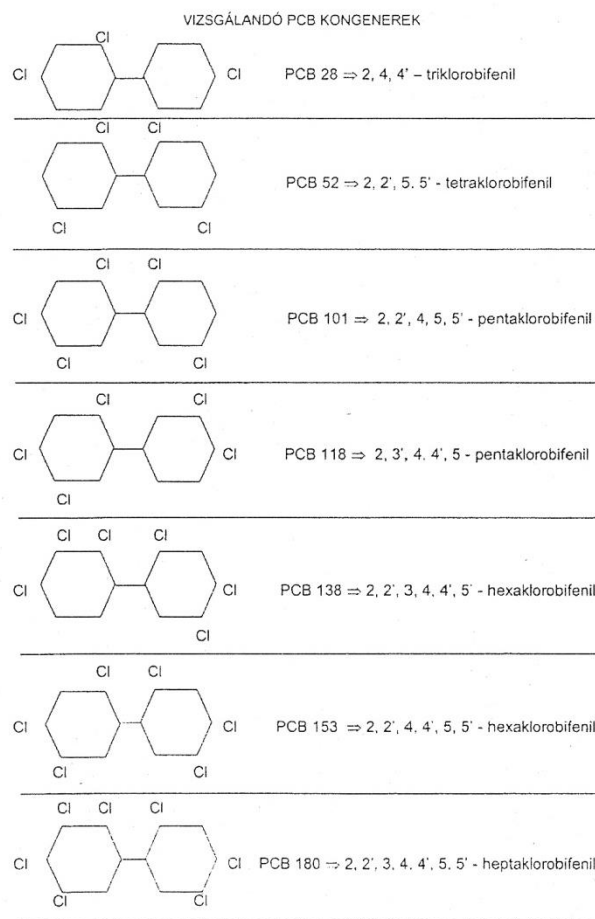
Széleskörű felhasználásukat jó hőstabilitásuknak, kémiai anyagokkal szembeni ellenállásuknak, kiváló dielektromos tulajdonságuknak, nagy viszkozitásuknak köszönhetők: leggyakrabban transzformátor-, kondenzátor-, vákuumszivattyú-, hidraulika-, hőcserélő- és kenőolajokban, kenőzsírokban, forgácsoló gépek kenő- és hűtőfolyadékában használták, de alkalmazták töltő-, lágyító-, adalék- és vivőanyagként műanyagok, gumik, műgyanták, ragasztók, tinták, festékek, viaszok, szigetelőanyagok, növényvédőszer-készítmények gyártásánál.

Használatukban fordulópontot jelentett 1968-ban egy rizs olajat előállító japán üzem balesete: a PCS-vel adalékolt olajat tartalmazó hőcserélő oszlop megrepedt, így a PCB vegyületek bejutottak a rizs olajba, amit nem vettek észre, így az olaj forgalomba került és több mint ezer ember szenvedett súlyos mérgezést. Ezután világszerte korlátozták alkalmazásukat, így az utóbbi évtizedben világszerte visszaszorult a gyártásuk. Magyarországon az 1980-as évek elejétől tilos a felhasználásuk. Az elektromos berendezésekben PAH vegyületekkel, ill. alkilaril-foszfátokkal próbálják pótolni őket.

A PCB vegyületek apoláros oldószerekben jól oldódnak, a talajban a humuszanyagok hidrofób részei adszorbeálják őket, az üledékekből pedig folyamatosan oldódnak a vízbe. Az emberek többsége az élelmiszerek útján veszi fel őket. Erősen lipofil vegyületek, főleg az állati zsírszövetekben, ill. az anyatejben dúsulnak fel. (Egy, az Ontario-tóban végzett vizsgálat szerint a planktonokban tízezerszeres, a heringekben pedig tízmilliószoros volt a PCS vegyületek bioakkumulációs faktora. A dúsulás táplálékláncon keresztüli növekedését biomagnifikációnak nevezzük.)

Néhány adat vízben való oldhatóságukra: bifenilek 7,5 mg/L, monoklór-bifenilek 1-6 mg/L, diklór-bifenilek 0,08-5 mg/L, hexaklór-bifenilek $9,5 \cdot 10^{-4}$ mg/L.

Magyarországon, annak ellenére, hogy, több mint 20 éve betiltották, még mindig találhatók működő transzformátorokban és kondenzátorokban PCB tartalmú olajok, Ennek az oka, hogy sok helyen (a magas ártalmatlanítási költség miatt) nem cserélték le az ilyen olajokat, hanem a folyamatos utántöltéssel "várják", hogy a PCB tartalom a kívánt határérték alá csökkenjen. Más telephelyeken a mai napig találhatók olyan, több évtizede lerakott PCB tartalmú olajszigetelésű kábelek a felszín alatt, amelyek egyszerűen ki lettek iktatva a rendszerből, de kiemelésük nem történt meg, Az elmúlt években Budapest szívében egy kiállító területen több km ilyen működő (!!!) elektromos vezeték került elő.

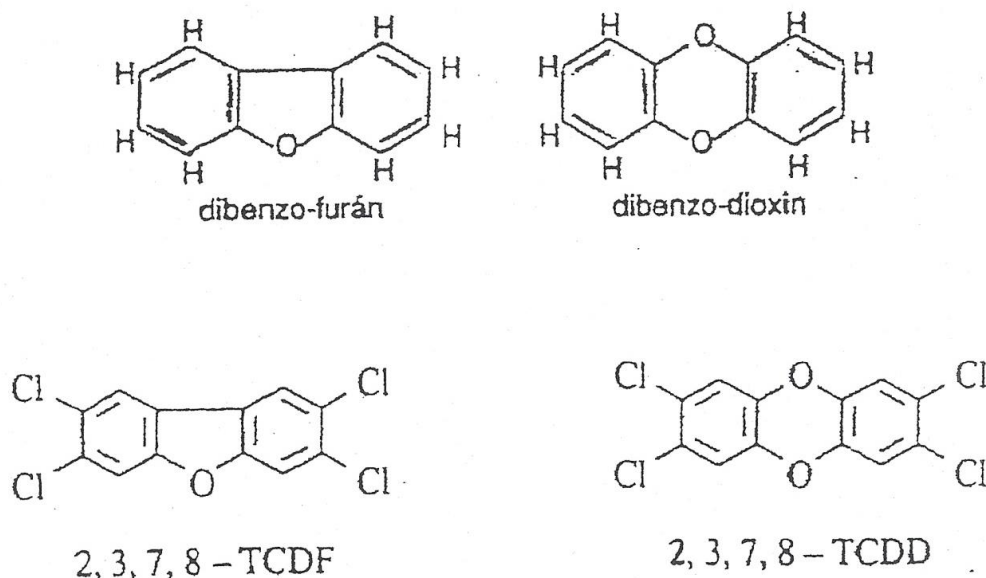


14. ábra A 6/2009 rendelet szerint vizsgálandó PCB kongenerek

POLIKLÓROZOTT DIBENZO-DIOXINOK ÉS DIBENZO-FURÁNOK (PCDD/PCDF)

[PCDD/PCDF B(fk) = 5 TEQ ng/kg, B(fav) = 0,3 TEQ pg/L; ivóvíz határérték nincs, TEQ= toxicitási egyenérték, amely a dioxin vegyület koncentrációjának és a toxicitását kifejező toxicitási egyenérték faktornak, más néven relatív toxicitási faktornak a szorzata] A dioxinek közül az USA EPA rákkeltőként tartja számon a 2, 3, 7, 8 tetraklór-dibenzo-dioxint, amelynek rákkeltő hatására jellemző CSF értéke orális és inhalációs expozíció esetén egyaránt: 150.000!!!

Ezeket a vegyületeket összefoglaló néven dioxinoknak nevezik, szerkezeti képletüket lásd a **15. ábrán**. Ezeknek a vegyületeknek a hidrogén atomjai klórral helyettesíthetők, amelyeket kongenereknek nevezünk. Ezek közül a legtoxikusabb, ill. rákkeltő hatású a 2, 3, 7, 8 tetraklór-dibenzo- dioxin, amelynek relatív toxicitási faktora: 1.



15. ábra Dibenzo-furánok és dibenzo-dioxinok szerkezeti képlete

Dioxinok keletkezhetnek a poliklórozott bifenilek, a klór-fenolok, a vinil-klorid gyártása és felhasználása során, ill. a papírmassza klórgázzal végzett fehérítése közben. Jelentős mennyiségben képződhetnek magas hőmérsékleten végbemenő folyamatok során (pl. hulladékégetők, robbanómotorok, fémkohászati tevékenység, PCB-kkel feltöltött transzformátorok és kondenzátorok robbanása, stb.). A környezetben stabilak, a POP vegyületek közé tartoznak, lipofil és bioakkumulációra hajlamos anyagok. A környezetben, a levegőben, a talajban, a felszíni vizek üledékeiben rendszeresen előfordulnak, az emberi szervezetbe főként a porral és az élelmiszerekkel, pl. hús, tej, tojás, hal stb. fogyasztása révén kerülnek be. Az emberi szövetekben 2-20 év közöttire becsülik féleletidejüket, általában a zsírszövetekben és a májban halmozódnak fel. Vízoldhatóságuk $3,5 \cdot 10^{-4}$ - $3,6 \cdot 10^{-7}$ mg/L közötti érték.

2.3.3.4. Növényvédőszer

A felszín alatti vízre és a földtani közegre vonatkozó határértékeket, a toxicitási valamint karcinogenitási jellemzőket - ahol azok ismertek - összefoglaltuk a **3. táblázatban**. Az ivóvízben az összes peszticid határérték $0,5 \mu\text{g/L}$, de bővebb információkat tartalmaz a 201/2001. (X.25.) Karm. rendelet 1.számú melléklete B) és F) táblázata.

A 6/2009 (IV. 14.) e. rendelet szerint vizsgálandó peszticidek tulajdonságai közül a fontosabb tudnivalókat igyekeztünk összefoglalni, néhányuk szerkezetét a **16. ábra** mutatja.

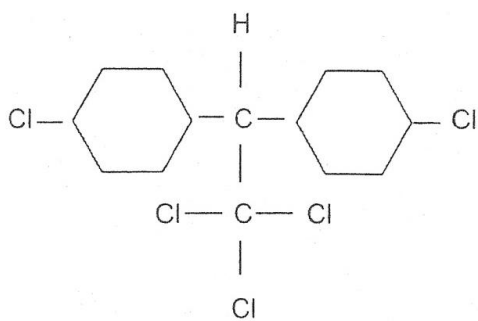
A DDT [p,p'-diklór-difenil-triklór-etán vagy 2,2-bisz- (p-klór-fenil)-1, 1, 1-triklór-etán] egy olyan klórozott szénhidrogén vegyület, amelyet már 1874-ben leírtak., majd 1934-ben egy svájci vegyész, Paul Müller újra felfedezte és megállapította rovarölő tulajdonságát. 1943-ban került forgalomba és Paul Müller 1948-ban Nobel-díjat kapott érte. A szer valóságos csodafegyvernek számított, nagymértékben mérgezőnek bizonyult a rovarokra, de csaknem

veszélytelennek tartották az emlősökre, olcsó, stabil, olajban és vízben egyaránt oldhatóvá tehető vegyület volt (bár önmagában vízben gyakorlatilag oldhatatlan, vízdoldékonysága: 1,2 µg/L), főként porszórással juttatták a célterületre, ami pl. a II. Világháborúban harcoló katonák, ill. polgári lakosság szőrzetét is jelenthette, megóvando őket a rovarok által terjesztett betegségekkel szemben.

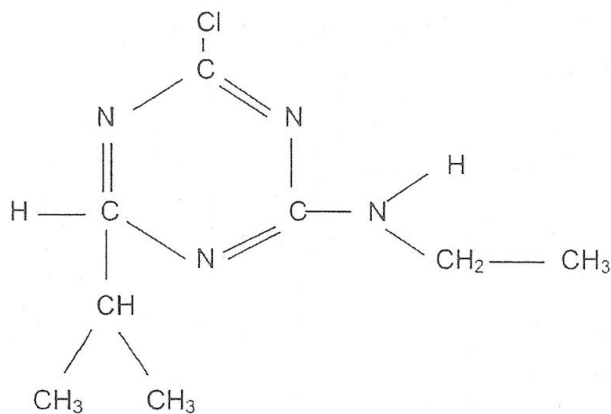
3. táblázat A növényvédőszer B (fk), B (fav) határértékei és az USA EPA adataiból ismert toxicitási valamint karcinogenitási értékek

Vegyület neve	B (fk) (mg/L)	B (fav) (µg/L)	RfDo (mg/kg/nap)	RfDi (mg/tt kg/nap)	Karcinogenitásra jellemző CSF érték	
					orális expozíció esetén	inhalációs
DDT			$5 \cdot 10^{-4}$		0,34	0,34
o,p'-DDD					0,24	
p,p'-DDD						
DDE					0,34	
DDT/DDD/DDE	0,2	0,001				
Aldrin			$3 \cdot 10^{-5}$		17	17
Klórdrin			$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0,35	0,35
Dieldrin			$5 \cdot 10^{-5}$		16	16
Endrin			$3 \cdot 10^{-4}$			
Összes drin	0,1	0,03				
alfa-HCH					6,3	6,3
béta-HCH					1,8	1,8
delta-HCH						
gammaHCH (Lindán)			$3 \cdot 10^{-4}$		1,3	
Összes HCH (1)	0,01	0,2				
Triazinok (pl. Simazin Atrazin)	0,1	0,1	$5 \cdot 10^{-3}$ $3,5 \cdot 10^{-2}$		0,12 0,22	
Foszforsavészterek (pl. Parathion)	1,0	0,1	$6 \cdot 10^{-3}$			
Fenoxikarbonsav származékok (pl. 2,4-D)	1	0,1	$1 \cdot 10^{-2}$			
Karbamátok	1	0,1				
Összes növényvédő szer		0,5				

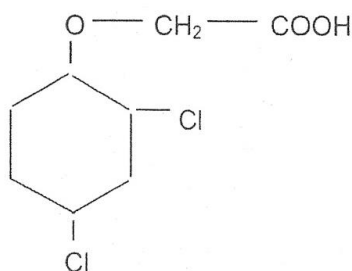
A túlzott adagok mezőgazdasági (pl. „krumplibogár” elleni) kijuttatása és az egészségügyi célzatú felhasználás csodaszerből környezetvédelmi rémálommá tette a DDT-t. A halakban koncentrálnodva (tízezerszeres bioakkumuláció révén) halevő és ragadozó madarak tömeges pusztulása következett be, mára már a malária szúnyogok kétharmada rezisztens vele szemben, a légáramlatokkal messzire (több ezer km) eljutva "pesticid esők" formájában szennyezik azokat a területeket is, ahol már nem használják, kimutatták rákkeltő hatását, nehezen bomlik le, ezért a POP vegyületek közé sorolták. Míg a DDT 3-5 évig marad változatlan a környezetben, addig a bomlástermékei a DDD és a DDE 15-25 évig is kimutathatóak a talajból és ők is rákkeltők. A DDT globális környezetszennyező vegyületnek tekinthető, a legkülönbözőbb élő szervezetekben detektálható, bioakkumulációt és biomagnifikációt mutat. Az állati szervezetekben a zsírszövetekben, az emlőmirigyben, a herékben, a petefészekben és a csontvelőben halmozódik, az immunrendszert és a hormonháztartást befolyásolja negatívan.



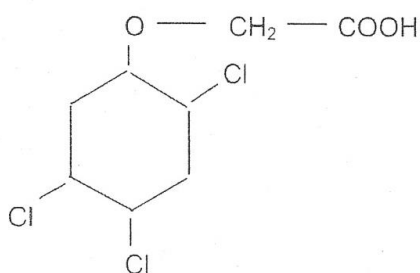
DDT (p, p' – diklór -
difenil - triklór – etán)



ATRAZIN
[2 – klór – 4 – (etil-amino -
-6 – (izopropil – amino) –
- 1,3,5 triazin



2,4-D
(2,4 – diklór – fenoxi-
ecetsav)



2,4,5 - T
(2,4,5 – triklór- fenoxi-
-ecetsav)

16. ábra Néhány peszticid szerkezete

Magyarországon 1968 óta betiltották a DDT használatát, de importárakkal továbbra is bekerülhet az országba (pl. teák, kávé, fűszerek, olajos magvak, de figyelemre méltó az a tény is, hogy a világ legszennyezettebb területei nagy gyapottermesztő körzetekben vannak: Azerbadzsán, Kirgízia, Örményország, Üzbegisztán és Tadzsikisztán). A klórozott szénhidrogéneket a használat megszüntetése ellenére a talajból évtizedeken át ki lehet mutatni (pl. a DDT, ill. bomlástermékei, és az aldrin, a dieldrin 39%-a 17 évvel a felhasználás után még

mérhető volt) és a növényekbe is bekerülhetnek. Az egyik gyógyhatású készítményben 2004-ben kimutatott dieldrin (0,03-0,08 mg/kg kapszula) itthon is arra irányítja a figyelmet, hogy még negyven évvel a szer alkalmazásának betiltása után sem termeszthetők bizonyos növények a szermaradékok mobilizálódásának kockázata nélkül.

A klórozott szénhidrogének peszticidként való alkalmazását világszerte tiltják, ill. korlátozzák, de ezeknek az intézkedéseknek a szigorúsága nem egységes a különböző országokban. Nehéz ugyanis megmagyarázni a "fejlődő országok" területén, hogy a rovarcsípéssel terjedő betegségek (pl. malária, sárgaláz, vírusos agyvelőgyulladás, álmokor, pestis, hastífusz stb.) állati vektorai és a termést pusztító rovarok ellen eredményesen használható, és így milliók életét közvetlenül megmentő szerek alkalmazását miért kellene korlátozni egy valamikori, a távoli jövőben bizonytalan valószínűséggel jelentkező, és etleg 1 millió ember közül egyet, vagy tízet halálosan érintő rákkockázat miatt.

Az aldrin kémiaiailag a ciklodiénok csoportjába tartozó inszekticid, amelyből elsősorban a talajban élő mikroszervezetek gyorsan **dieldrint** képeznek és ezért általában a környezetben is ezt a vegyületet találjuk. **Az aldrin, a dieldrin, a klórdan és az endrin POP vegyületek, használatuk az EU-ban tilos.**

A **hexaklór-ciklohexánok (HCH)** inszekticid hatású vegyületek, növényvédőszerként nem alkalmazhatók Magyarországon, rákkeltő és bioakkumulációra hajlamos anyagok tartoznak ide.

A triazinok N-t tartalmazó heterociklikus gyűrűs gyomirtószer, amelyek a fotoszintézis gátlásán keresztül fejtik ki a hatásukat. A közéjük tartozó simazin és atrazin az LISA EPA megítélése szerint rákkeltő hatású. Magyarországon az atrazin többek között „Hungazin” és „Maizina” név alatt kerül forgalomba (leggyakoribb vízszennyező kukorica gyomirtó szerünk). A szerves foszforsav észterek inszekticid hatásúak és az acetil-kolinhoz hasonló szerkezetűek, mivel gátolják a kolinészteráz enzimek működését idegbénító hatásúak. A fenoxi-karbonsav származékok közül legismertebbek a 2,4-D (2,4-diklór-fenoxiecetsav) és a 2,4,5-T (2,4,5-triklór-fenoxi-ecetsav), amelyek herbicidek, és a növényi növekedést szabályozó indolecetsavhoz hasonló szerkezetük révén fejtik ki hatásukat. A 2,4-D a gabonafélék elterjedt gyomirtószer.

A karbamát típusú peszticidek olyan gyűjtőfogalom azokra az eltérő rendeltetésű és toxikológiai tulajdonságú növényvédő szerekre, melyek felépítésüket tekintve a karbamidból származtathatóak. Közülük pl. fungicidek a ditio-karbamátok (pl. cineb, maneb, mankoceb), herbicidek a tiokarbamátok (pl. butilát, molinát), az ún. inszekticid-karbamátok (pl. dioxikarb, karbaril, pirimikarb). Ezek a vegyületek a szervezetbe bekerülve (bőr, légutak, emésztőcsatorna) általában heveny mérgezéseket okozhatnak.

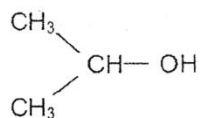
2.3.3.5. Egyéb vegyületek

Az ún. egyéb vegyületek fontosabb tulajdonságait a **17. ábrán** foglaltuk össze.

Metanol (CH_3OH)

Oldó- és kristályosítószerként elterjedten használja a vegyipar
8-36 óra után hasi görcsök, látási zavarok, delírium, kóma.

Izopropil – alkohol



Erős vízelvonószer, fagyásgátló anyag, illóolajok, észterek, viaszok oldószere, ásványolajok paraffinmentesítése stb.

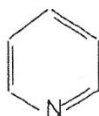
Glikolok

pl. etilén-glikol



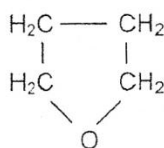
Oldószer, fagyálló hűtőkeverékek komponense.
Idült hatás: vérképző rendszeri elváltozások.

Piridin ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$)



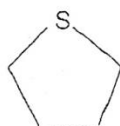
Elterjedten használja a vegyipar-, bőripar, alkalmazzák szeszenaturálásra, rovarirtókészerek szintézisében.

Tetrahidro-furán



Polimeranyagok pl. a polivinilklorid, kaucsuk jó oldószere. Peroxidképzésre hajlamos
USA EPE: RÁKKELTŐ

Tetrahidro-tiofén ($\text{C}_4\text{H}_8\text{S}$)



Vegyipari alapanyag

17. ábra Az egyéb szennyező anyagok fontosabb tulajdonságainak összefoglalása

Felhasznált irodalom:

Dr. Szoboszlai László, Dr. Kriszt Balázs: Környezeti elemek védelme, Gödöllő, 2008

3. A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI VÍZ KÁRMENTESÍTÉSE

A földtani közeg felől a felszín alatti vizekre áttevődő szennyezések vagy közvetlenül a felszín alatti vízbe való szennyezőanyag bevezetés elleni védekezés, ill. a felszíni és a felszín alatti vizek jó állapotban való megőrzésének alapvető követelményeivel az EU ún. Vízkeret Irányelve (2000/60/EK) foglalkozik. A felszíni vizek minőségévei, védelmével kapcsolatos fontosabb tudnivalókat a későbbiekben foglaljuk össze. Mint azt a 2.4. fejezet bevezető részében és a 2.4.1. fejezetben már említettük a földtani közeg és a felszín alatti közeg védelmével kapcsolatos teendőket, eljárási módokat a jelenleg hatályos **219/2004 (VI.1.21.) Korm. rendelet** határozza meg. A rendelet foglalkozik a felszín alatti vizek jó állapotának megőrzésével (mennyiségi és minőségi védelem) a vízkivételek, a szennyező anyagok elhelyezésének és bevezetésér-ek engedélyezésével, adatszolgáltatásával, ill. a már bekövetkezett szennyezések felszámolásának szabályaival. Ez utóbbi témakörben a rendelet definiálja a **kármentesítés fogalmát**:

„Olyan helyreállítási intézkedés, amely a felszín alatti víz és a földtani közeg károsodásának enyhítésére, az eredeti állapot vagy ahhoz közeli állapot helyreállítására, valamint a felszín alatti víz által nyújtott szolgáltatás helyreállítására, vagy azzal egyenértékű szolgáltatás biztosítására irányul, így különösen az a műszaki, gazdasági és igazgatási tevékenység, amely a veszélyeztetett, szennyezett, károsodott felszín alatti víz, illetőleg földtani közeg megismerése, illetőleg a szennyezettség, károsodás és a kockázat mértékének csökkentése, megszüntetése, továbbá monitorozása érdekében.”

A definícióból következően a kármentesítés három fő szakaszát különbözteti meg a rendelet:

- tényfeltárás, (amely felderítő és részletes vizsgálatból állhat)
- beavatkozás, (korábban műszaki beavatkozás)
- kármentesítési monitoring,

azzal a megjegyzéssel, hogy ezek a szakaszok felcserélhetők és szükség szerint megismételhetők.

A (részletes) **tényfeltárás** fő célja megfelelő információk szolgáltatása az érintett terület környezet-szennyezettségi állapotáról, amely alapján mérlegelhető a további intézkedések szükségessége, és meghatározható azok módja. Közvetlen célja az adott területen meg lévő szennyezőforrások azonosítása, a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezettségének a megismerése, lehatárolása, készletezése, a szennyezés-terjedés modellezése, a szennyezés környezeti, egészségügyi, ökológiai **kockázatainak a feltárása, bemutatása**, ill. szükség esetén javaslattétel a kármentesítés további szakaszainak megindítására, a (D) kármentesítési célállapot határértékeire és mindezek összefoglalása a 219/2004 (VI.1.21.) Korm. rendelet 7. számú melléklete szerint elkészített **tényfeltárási záródokumentációban**.

A **(műszaki) beavatkozási szakasz célja** a földtani közeg és a felszín alatti víz (D) kármentesítési célállapot határértékeire való tisztítása. Ezt a szakaszt a rendelet 9. számú melléklete szerint elkészített (műszaki) beavatkozási záródokumentáció elfogadása után lehet befejezni. A **kármentesítési monitoring** fő célja a tényfeltárás és a (műszaki) beavatkozás

szakaszaiban folytatott tevékenységek környezetre gyakorolt hatásának folyamatos nyomon követése, eredményességüknek a mérése. A rendelet szerint a kármentesítési monitoringot a (D) kármentesítési célállapot határérték elérését követően legalább még 4 évig (utómonitoring), ill. a tartós környezetkárosodás teljes időtartama alatt folytatni kell. (Tartós környezetkárosodás: a földtani közeg, ill. a felszín alatti víz olyan szennyezettsége, amely a természeti folyamatok vagy a beavatkozás révén a tényfeltárási záródokumentáció elfogadásától számított öt éfenn belül sem csökken a (D) kármentesítési célállapot határérték alá.] A **kármentesítési monitoring záródokumentáció** (tartalmi követelményeit lásd a Rendelet 10. számú mellékletében) alapján dönt a területileg illetékes környezetvédelmi felügyelőség a kármentesítés befejezéséről vagy további folytatásáról.

3.1. TÉNYFELTÁRÁS

A tényfeltárás fontosabb fázisait az alábbiakban foglalhatjuk össze:

1. Az adott területen meg lévő szennyezőforrások, szennyezések (hatótényezők) feltárása és lehatárolása (B) szennyezettségi határértékre mintavételezésekkel és mintavizsgálatokkal,
2. Az adott területen a természetes és mesterséges környezeti elemek (és ezek rendszerei) állapotminőségének (a szennyezettség fokának, a szennyeződés vertikális és horizontális eloszlásának, a szennyeződés tulajdonságainak) bemutatása, értékelése.
3. A szennyezés lehetséges hatásainak, hatásviselőinek (amely lehet pl. a földtani közeg valamelyik rétege, a felszín alatti víz, levegő, felszíni víz, egy ivóvízbázis, egy ivóvíznyerő kút, emberek, állatok stb.) a megjelölése, áthatásviselők érzékenységének a bemutatása.
4. A szennyezés terjedésének modellezése.
5. A szennyezésből adódó környezeti, egészségügyi, ökológiai kockázatok értékelése, a területhasználatok és költség-haszon elemzés alapján javaslattétel a (D) kármentesítési célállapot határértékre.
6. A tényfeltárás során megszerzett információk rendszerzése, dokumentálása, alátámasztása (pl. mintavételi és fűrási jegyzőkönyvek, vizsgáló laboratóriumok jelentései, a mintavételi pontokat, a hidrogeológiai viszonyokat, a szennyezés eloszlását, a szennyezés várható terjedését feltűntető térképek, stb.)
7. A költség-haszon és költség-hatékonyság elemzések figyelembe vételével javaslattétel a feltárt környezeti károk felszámolásának módszereire (legjobb elérhető technika - BAT kiválasztása), tényfeltárási záródokumentáció készítése.

A tényfeltárás elvégzése alábbi esetekben lehet szükségeszerű, ill. kötelező:

1. Valamely környezet igénybevételei, környezetterhelései, környezet-szennyezéssel járó tevékenység, szennyezőforrás környezeti elemekre gyakorolt hatásának megítéléséhez.
2. A környezetkárosodás mértékének, fokának megállapításához, a háttér szennyezettség felméréséhez. A környezetvédelmi kármentesítési munkák megalapozásához, tervezéséhez, a kármentesítés kezdetén meg lévő szennyezettségi állapot rögzítéséhez, hatásainak értékeléséhez.

3. Környezeti hatásvizsgálat köteles tevékenységek megindítása előtt [20/2001 (II.14.) Korm. rendelet].
4. Környezetvédelmi felülvizsgálatok készítésének megalapozásához [12/1996 (VIIA.) KTM
5. rendelet].
6. Felszámolási eljárás és a végelszámolás esetében [106/199 (XII.8.) KTM rendelet].

A 3. pont kivételével valamennyi esetben - hatósági mérlezelés alapján előfordulhat - , hogy a tényfeltárás előzőekben említett fázisaiból nem követelmény a szennyezés teljes körű lehatárolása, lehetséges hatásainak, hatásviselőinek, áthatásviselők érzékenységének részletes bemutatása, a szennyezésből adódó környezeti, egészségügyi, ökológiai kockázatok részletes értékelése, ill. a javaslatként a (D) kármentesítési célállapot határértékeire. Ebben az esetben a gyakorlati szakemberek sokszor a **környezetállapot felmérés** kifejezést használják, a tényfeltárás helyett. Ezek a fajta vizsgálatok sokszor csak tájékoztató jellegűek és a jelenlegi jogi szabályozásban a felderítő tényfeltárás elnevezés illik ezekre a tevékenységekre. Azonban ezekben az esetekben is fel kell készülni arra, hogyakörnyezetállapot felmérés (felderítő tényfeltárás) eredményei alapján, a szennyezés jelentőségének az ismeretében, a területileg illetékes környezetvédelmi felügyelőség előírja a 219/2004 (VI.21.) Korm. rendelet szerinti részletes tényfeltárás elvégzését. A környezet állapotának felmérését célszerű elvégezni területek, cégek megvétele előtt, egyszerűen "csak" vevői, ill. eladói szándékból fakadóan is, mivel az ún. múltból eredő vagy **maradó környezeti károk** megszüntetéséhez kötődő költségek jelentős árnódosító tényezők lehetnek. [A környezetvédelmi auditokban maradó környezeti kárként vagy múltból eredő környezetvédelmi kötelezettségként (L = Liability) megnevezett feladatok azok, amelyeket a területen akkor is fel kell számolni, ill. el kell végezni, ha az adott telephelyen a jelenlegi tevékenységet nem folytatják tovább. Maradó környezeti károknak minősülnek pl. a földtani közeget és a felszín alatti vizet ért szennyezések, ill. a területen felhalmozott, sokszor már jogellenesen, a környezetet szennyező módon tárolt hulladékok, veszélyes hulladékok.]

Magyarországon a kármentesítésekkel összefüggő kérdésekben, feladatokban az első fokú engedélyező hatóságok a területileg illetékes környezetvédelmi felügyelőségek vagy teljes nevükön a Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség"-ek. Ezekből 12 működik az országban, nem megyei szerveződésű területi hatókörrrel, hanem inkább a vízgazdálkodási körzetek szerinti elrendezésben. Gödöllőn, ill. a főváros területén pl. a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség az illetékes elsőfokú engedélyező hatóság. A környezetvédelmi felügyelőségek mellett, velük azonos területi kompetenciával 12 Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság és 10 Nemzeti Park Igazgatóság is működik, amely szervezetek a szakmai munkát végzik, míg a Felügyelőségek döntően a hatósági, jogi kérdésekben döntenek. [Sok esetben a hatóságnak benyújtott anyagok az ügyintézőtől (Felügyelőség) átkerülnek a szomszéd szobába szakmai bírálatra (Igazgatóság)] A környezetvédelemben a másodfokú engedélyező hatóság az Országos Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Főfelügyelőség (székhelye Budapesten van).

A tényfeltárás megindítása előtt a felügyelőség a tudomására jutott szennyezésekkel kapcsolatos hatósági eljárás megalapozása érdekében, a 219/2004 (VI.21.) Korm. rendelet

19.§ szerinti .kivizsgálást folytathat le. A szennyezettség a jogszabály szerint az alábbi esetekben valószínűsíthető:

- a szennyezőforrások, a potenciális szennyezőforrások kibocsátásai, jellemzői, a tevékenység nagyságrendje alapján,
- a terület szennyezettségére vonatkozó információk alapján, ha a termőföld talajában legalább öt mintában, talaj esetében 0,2 m alatt legalább öt mintában, felszín alatti víz és talajnak nem minősülő földtani közeg esetén legalább 1 ponton egy mintában a szennyező anyag koncentrációja meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket.

Valószínűsíthető szennyezettség esetében kármentesítést kell végezni, ami a legtöbb esetben (a felderítő vagy a részletes) tényfeltárással kezdődik, de pl. ezt egy köola]- vagy termék vezeték törése következtében kialakult nyilvánvaló talaj- és talajvíz szennyezés esetében megelőzheti a kárenyhítés keretében végzett műszaki beavatkozási szakasz, amelynek feladata a nyilvánvalóan szennyezett közeg eltávolítása, így a szennyezés utánpótlódási, szétterjedési lehetőségének gyors megszüntetése. A tényfeltárást elrendelő hatósági (felügyelői) határozat tartalmazza a tényfeltárással kötelezett megnevezését, a valószínű szennyezettség által érintett feltételezhetően érintett terület megjelölését, a szennyezettség valószínűsítését megalapozó tényezőket, az elvégzendő vizsgálatok körét, a tényfeltárási terv készítésének szükségességét, ennek, és a tényfeltárási záródokumentáció benyújtási határidejét. Tényfeltárási tervet akkor kell készíteni, ha a szennyezettség várható kiterjedése, ill. a földtani felépítés és a vízföldtani viszonyok bonyolultsága ezt indokolja.

3.2. A TÉNYFELTÁRÁS LÉPÉSEI

A tényfeltárási munkák a következő, logikailag és/vagy időben elkülöníthető fontosabb lépésekre oszthatók.

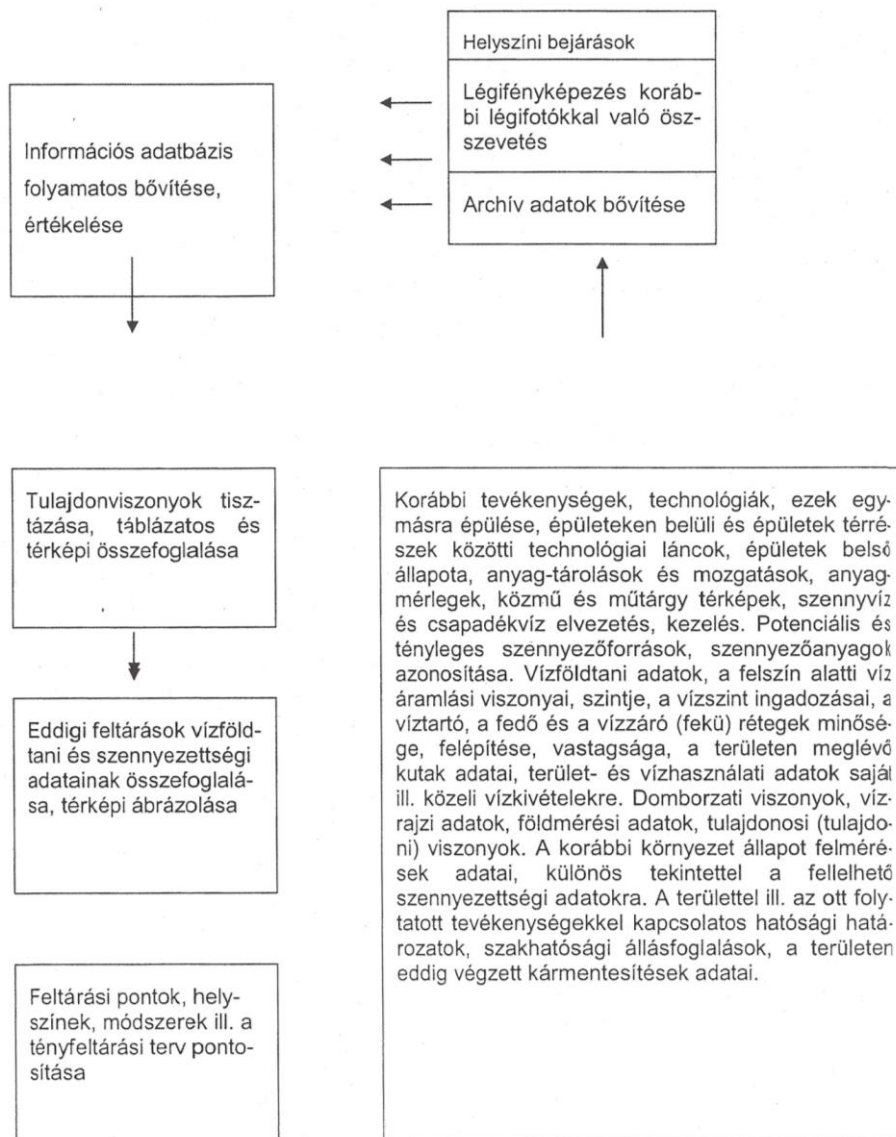
3.2.1. Adatgyűjtés

Az információk naprakész bővítése, archív adatok gyűjtése a tényfeltárási terv pontosításához, hatósági és tulajdonosi egyeztetések. Potenciális és tényleges szennyezőforrások, szennyezőanyagok azonosítása (részletesen lásd a **18. ábrán**).

3.2.2. Mintavétel, mintavizsgálat

A lerakott hulladékok, ill. hulladékokkal és/vagy vegyi anyagokkal szennyezett földtani közeg és felszín alatti víz térbeli lehatárolása, a felszín alatti közeg szennyezettségének minőségi és mennyiségi jellemzése mintavételezéssel és mintavizsgálatokkal. A 14/2005 (VI.28.) KvVM rendelet a kármentesítési tényfeltárással szűrővizsgálatával kapcsolatos szabályokról előírásai szerint a részletes kémiai analitikai vizsgálatok megkezdése előtt - amennyiben az un. "történeti kutatás" ezt indokolta teszi - a szennyezett területen található szennyezőanyagok mind teljesebb körű felderítése, a tényfeltárással és a monitoring alatt

részletesen vizsgálandó szennyezőanyagok megalapozott kielölése érdekében mintavételezései és kémiai analízissel szűrővizsgálatot kell végezni. (Történeti kutatás: a vélelmezett szennyezettség kialakulására, a szennyezett területen folytatott, feltehetően szennyezettséget okozó tevékenységre, technológiákra, az alkalmazott technológiákból, termelési folyamatokból származtatható, feltételezhető szennyezőanyagok körére, a terület használatára, továbbá a vizsgált területen előfordult eseményre vonatkozó információk összegyűjtése. Mint azt a **18. ábrán** láthatjuk a történeti kutatás fogalma az archív adatgyűjtésnek csak egy részét fedi le.)



18. ábra Tényfeltárás – Információk naprakész bővítése, archív adatok gyűjtése s tényfeltérési terv pontosításához

A mintavételi vagy feltérő pontok számának és helyének meghatározását alapvetően a szennyeződés jellege (pl. légköri ülepedés, pont-, vonalszerű, diffúz, felszíni vagy felszín alatti szennyezőforrás, stb.), a szennyezőanyag minősége (pl. vízdékonyság, sűrűség), a

környezetérzékenységi inhomogenitások (szigetelő- vízzáró rétegek vastagsága, kiterjedése) és a kockázatos, veszélyeztetett objektumok, receptorok, expozíciós útvonalak, elhelyezkedése, talajvízáramlás iránya. A mintavételi stratégiákról, a mintavételi pontok kielégüléséről részletesebben az MI-10-450-85 műszaki irányelvből és a www.norisc.com és az USA EPA www.epa.gov honlapokról tájékozódhatunk.

A tényfeltárás során mintavételezéseket csak arra akkreditált szervezet végezhet!

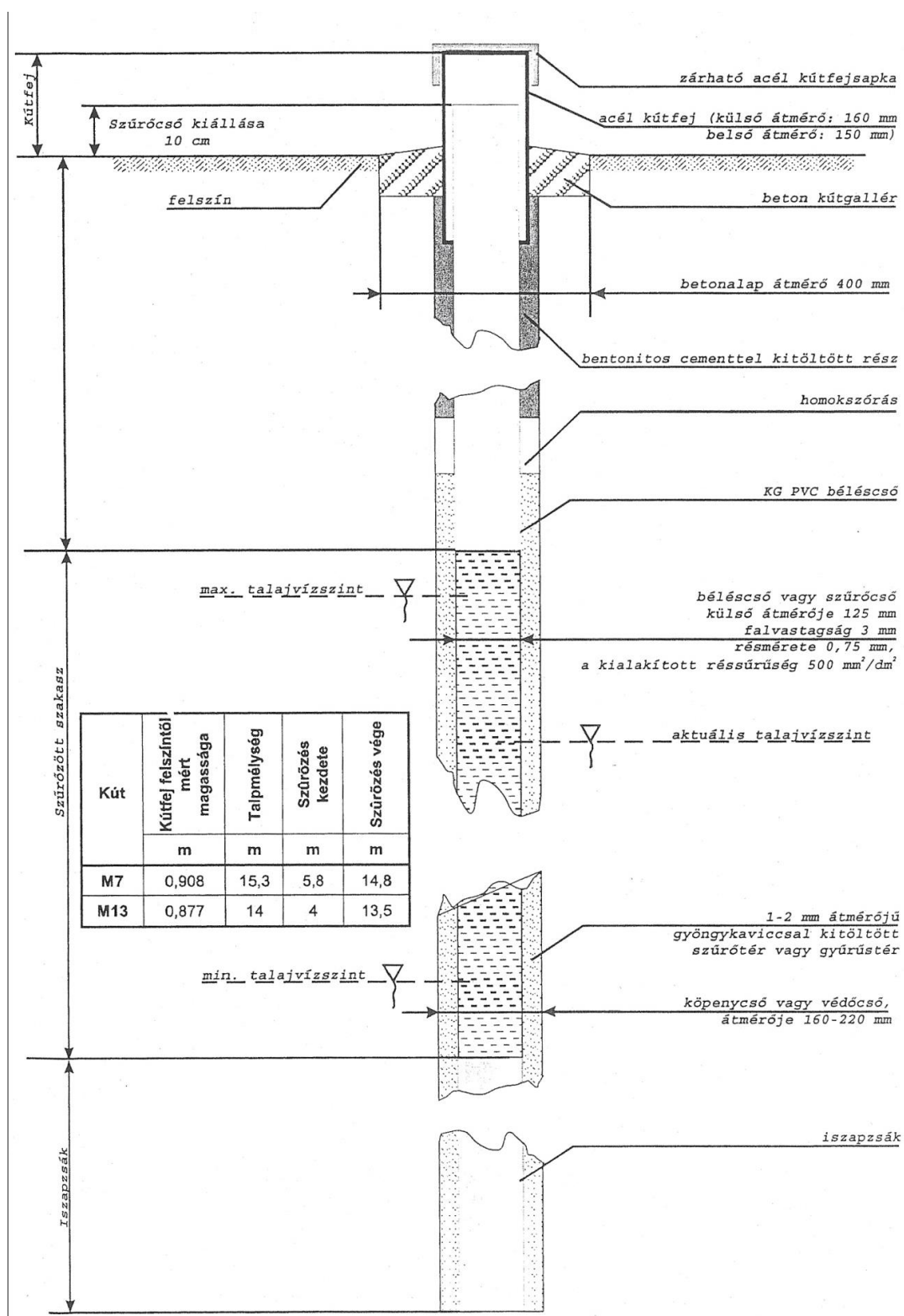
A földtani közeg mintázásánál a mélységi mintavételek történhetnek előre meghatározott mélységi horizontokból pl. méterenként, félméterenként, rétegváltásonként vagy a felszíni, a kapilláris és a kétfázisú zónából, ill. ezek mindegyike kiegészíthető annak a fúrással harántolt rétegnek a mintázásával, amelyben nyilvánvaló szennyezést (pl. kőolajszármazékot) észlelünk érzékszervi úton. A környezetvédelmi mintavételezéseknél, azokat a fúrási módszereket kell előnyben részesíteni, amelyek leginkább kiküszöbölik a szennyezett és szennyezetlen rétegek mintában való keveredését, az illékony szennyező anyagokat minél jobban megőrzik, ilyenek lehetnek a kanálfúrókkal és magmintavevőkkel végzett feltárások, omlékony közeg esetén védőcső alkalmazásával kivitelezve. A földtani közegből származó, illékony szennyező anyagokat pontmintákból kell vizsgálni, keverései nem képezhetünk a pontmintákból átlagminták, mivel így elveszíthetjük a ténylegesen szennyező anyagmennyiség jelentős hányadát. A fúrások során felszínre került, szennyeződéseket tartalmazó furatanyagokat gyűjteni és megfelelő módon ártalmatlanítani szükséges. A földtani közeg, ill. a felszín alatti víz mintázása után a mintavételi furatot - abban az esetben, ha további vizsgálatok céljára nem építik ki védett furattá vagy monitoring kúttá - általában saját anyagával, bentonittal vagy tiszta homokkal el kell tömedékelni.

A talajvíz mintázása történhet ideiglenes csövezésű fúrásokból, talajvíz mintavételezésre alkalmas ideiglenes csövezésű védett furatokból, vagy kiépített monitoring kutakból. Alapvető szabály az ideiglenes csövezései végzett mintavételezések esetén, hogyamegütött talajvíz szint alá 1-1,5 m-rel lejjebb kell a mintavevőcső (szűrőcső) perforált (vízbeeresztő) részét bevezetni, az ideiglenes csövezésű védett furatok és a kiépített monitoring kutak esetében pedig a mintavevő csövet = béléscsövet = szűrőcsövet a várható maximális vízszint fölé, ill. a minimális vízszint alá kell szűrőzni. A monitoring kutak átlagos kiépítési vázrajzát lásd a 3.2. sz. ábrán.

A felszín alatti vizek mintavételezése előtt tisztító szivattyúzást kell végezni, mindaddig, amíg a víz pH és a vezetőképesség értéke állandósul vagy addig, amíg a kút számított víztérfogatának legalább a háromszoros mennyiségét ki nem szivattyúztuk. A szivattyúzás után a mintavétellel addig kell várakozni, amíg a mintavételi pontban a víz min. az eredeti szint 85 órára visszatöltődik. Ezeknek a szabályoknak a betartása azért fontos, mert csak így kaphatunk valós képet a talajvíz tábla szennyezettségéről, egyéb ként a kutakban becsapdázott, fel dúsult szennyezőanyagok a talajvíz tényleges minőségétől eltérő eredményt adhatnak. Természetesen a szennyezett vizeket gyűjteni, kezelni, ártalmatlanítani kell.

A víznél nehezebb szennyezőanyagok esetében a szűrőzést az első vízzáró réteg ig kell végezni, szükség esetén az iszapzsákot pedig a feküben kell rendkívül körültekintően kialakítani. Ezekben az esetekben gyakran szükségessé válhat a víztábla különböző mélységeiől való mintavételezés is. A másodlagos szennyezések kiküszöbölése miatt az első vízzáró réteget

csak akkor szabad átfúrni, ha a fekü feletti víztartó réteg kizárásáról gondoskodunk. Ilyen esetekben szükségessé válhat a fekü fölé és alá szűrőzött kút-párok kialakítása is.



19. ábra Monitoring kutak általános kiépítési vázrajza

A talajvízből a nem illékony vegyületek mintázása történhet szivattyúval és golyós mintavevővei, más néven bailer-rel (ejtsd béU)ler-rel = hengeres mintavevőcső gömbszeleppel ellátva), azonban az illékony vegyületeket tartalmazó felszín alatti víz mintázásánál kerülni kell a szivattyú használatát. A mintavevő anyagának megválasztásánál alapvető szabály, hogy nem tartalmazhat olyan összetevőt, amelynek kimutatása céljából a mintavételezés, ill. a kémiai analitikai vizsgálat történik.

A mintatároló edények térfogatának, anyagának, zárhatóságának és a minta helyszíni kezelésének (pl. szűrés, tartósítás) meg kell felelnie a vizsgáló laboratórium akkreditációjában foglalt előírásoknak.

A tényfeltárás során mintavizsgálatokat csak arra akkreditált szervezet végezhet!

A szennyezések lehatárolásánál, az újabb feltárási pontok kijelölésénél nagy segítséget jelenthetnek az ún. terepi gyors tesztek, amelyek alkalmazásával rövid idő alatt (5-20 perc), egyszerű vizuális értékeléssel (pl. színreakció erősségének megítélésévei), megbecsülhetjük a földtani közegben, ill. a felszín alatti vízben a keresett szennyezőanyag koncentrációját.

3.2.3. Földtani, vízföldtani és kioldódási vizsgálatok

A szennyezettség feltárással összefüggésben, a szennyezés felszín alatti viselkedésének pontosabb megítéléséhez (terjedési modellezés) igen fontos a földtani és vízföldtani adatok gyűjtése, rendszerezése. (Rétegsorok leírása, kőzet szemcseösszetétel, szemeloszlás meghatározása, porustérfogat becslése, megütött és nyugalmi talajvízszint mérése és mBf vagy mBf értékkel megadva, talajvíz áramlási irány meghatározása, Q-H görbék felvétele, (k-) szivárgási tényező meghatározása.)

A feltárt szennyeződés felszín alatti terjedésének, más környezeti elemre való áttérjedésnek akadályozását szolgáló természetes gátak, geokémiai csapdák bemutatása, jellemzése, a környezeti kockázatok becslése .. (Vízáró réteg vastagsága, minősége, térbeli elhelyezkedése, agyagásványok és szerves anyagok mennyisége, minősége, összetétele, kémhatás, redox-potenciál, pufferkapacitás, adszorpciós és deszorpciós kísérletek lefolytatása. Ez utóbbi vizsgálatok elméleti alapjait és kivitelezésük fő vonalait az alábbiakban adhatjuk meg:

1. A deszorpciós vizsgálat nem más, mint a korábban elszennyeződött vagy mesterségesen elszennyezett talajmintákon folyadék átáramoltatása (vizes extrakció). Kísérlet közben a kilépő víz vizsgálatából kiderül, hogy mekkora vízoszlop átszivárgása után csökken az extraháló folyadék szennyezőanyag koncentrációja nullára vagy az általunk meghatározott küszöbérték alá. A kísérlet után a kőzetminta kitolható a kolonnából (általában átlátszó üveghenger), és vagy szeletelés (térbeli változékonyság) vagy homogenizálás után kerül sor a maradék szennyező anyagok koncentrációjának meghatározására.
2. A deszorpciós-adszorpciós vizsgálatot olyan esetben érdemes végezni, ami kor szennyezett kőzettest érintkezik nem szennyezettel és az a kérdés, hogy szennyezett kőzetből milyen minőségű fluidum kerül ki és az milyen távolságig, milyen mértékben szennyezi el a szomszédos kőzettestet. A kolonnapárból a deszorpció megegyezik az 1. ponttal, az adszorpciós oszlopokon térbeli változások is nyomon követhetők, az oldalszelepeken való

mintavétellel megállapítható a szennyezés terjedése térben és időben, többkomponenses szennyezőanyag esetén az egyes komponensek esetleges szétválása (a talaj „kromatográfiás” hatása).

3.2.4. Érzékenységi besorolás

A kárhely besorolása a felszín alatti víz állapota szempontjából meghatározott érzékenységi kategóriákba [kritériumait lásd a 219/2004 (VI.21.) Korm. rendelet 2. számú mellékletében. a 7/2005 (111.1.) KvVM rendelet a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területeken lévő települések besorolásáról szóló 27/2004 (XI.25.) KvVM rendelet módosításáról jogszabályban, más néven „településsoros lista”-ban, a VITUKI 1: 100.000 méretarányú országos érzékenységi térképén. Megjegyezzük, hogy a településsoros listából, ill. az érzékenységi térképről megállapított érzékenységi besorolást a 219/2004 (VI.21.) Korm. rendelet 2. számú mellékletében közölt kritériumok alapján lefolytatott lokális vizsgálat alapján a felügyelőség határozatban rögzített módon eltérhet, más, egyedi érzékenységi besorolást is megállapíthat a rendeletben nevesített kategóriák közül az adott kárhelyre. A 219/2004 (VI.21.) Korm. rendelet 2. számú mellékletében nevesített érzékenységi kategóriák: "fokozottan érzékeny terület", "érzékeny terület", "kevésbé érzékeny terület"].

3.2.5. Terjedési modellezés

Szükség esetén a felszín alatti szennyeződés térbeli és időbeli terjedését leíró vízmozgás és szennyezőanyag-transzport modellezés elvégzése. A modellezéshez leggyakrabban Processing Modflow for Windows (áramlási modellek felállítása), SURFER for Windows (geostatistikai számítások, interpolációk elvégzése), GRAPHER for Windows (idősorok elemzése és megjelenítése), DIDGER (digitalizálás, koordináta-rendszer transzformáció, raszteres képállományok koordinátákhoz rendelése) programokat használják. (Részletesebben ld. Kovács Balázs: Hidrodinamikai és transzportmodellezés 1. c. könyvében.)

3.2.6. Kockázatelemzés

A kockázat a szennyező anyag hatásának kitett ökoszisztéma állapota, ill. az emberi egészség romlásának, károsodásának várható mértékeként és bekövetkezési valószínűségeként értelmezhető.

A mennyiségi kockázatfelmérés egy adott szennyezett terület tényfeltárására támaszkodó részletes vizsgálat, amelynek eredménye egy kockázati hányados formájában kifejezett érték. Ez az érték a környezet elemeinek tényleges szennyezettségéből, ill. a környezetre (estünkben a földtani közegre és a felszín alatti vízre), az ökoszisztémára és az emberre még elviselhető szennyező anyag szintek arányából nyerhető. A kockázatelemzés során nélkülözhetetlen a szennyezettség hatásviselőinek feltárása, felkutatása (ökoszisztéma, vízbázis, lakókörnyezet, ember stb.).

A szennyezettség mennyiségi és minőségi tulajdonságainak, viselkedésének, modellezett terjedésének, az expozíciós utak és a potenciálisan fenyegetett hatásviselők ismeretében következhet a környezeti, ökológiai- és egészség kockázat elemzésének és becslésének elvégzése. A környezeti kockázatok értékelésénél különösen a C-Go pontok alatt elvégzett vizsgálatok eredményeinek mérlegelését kell elvégezni, az ökológiai kockázatok elemzésénél pedig minimálisan a B. pontban megemlített, az adott kárhelyen a vizsgált közegre, receptorra vagy expozíciós útvonalra nézve értelmezhető ökotoxikológiai vizsgálatok adatait kell felhasználni. (Expozíciós útvonal az a szennyezés terjedési út, amelyen keresztül a szennyező anyag a szennyezőforrásból a receptorhoz eljut.)

Az egészségkockázat felmérés célja és fő elemei:

A kockázat általános értelemben valamely károsodás ill. nem kívánatos következmény bekövetkezési valószínűségének, valamint súlyosságának, mértékének kombinációja, szorzata. A környezetbe kerülő vegyi anyagok veszélyeztethetik az ökoszisztémát, s annak részeként az embert is. E veszélyeztetés mértékének megállapítását, ill. becslését célozza a kockázatfelméreés, amelynek célja - az emberi egészségre vonatkozóan - annak megállapítása, hogy adott körülmények között a környezetbe került vegyi anyagok milyen valószínűséggel okoznak egészségkárosodást vagy esetleg halált. A kockázatot számszerűleg kifejezve, annak értéke - valószínűségi eleméből következően - nulla (a károsodás biztosan nem következik be) és egy (a károsodás biztosan bekövetkezik) között változik.

Tekintettel arra, hogy a környezetvédelem alapvető célja a környezet és az emberi egészség károsodásának elkerülése vagy minimalizálása, a kockázatfelméreésnek - amennyiben annak megbízhatósága megfelelő - a társadalmi, gazdasági következmények figyelembe vétel évei döntő szerepe van a szükséges kockázatkezelési lépések, ill. egy bekövetkezett környezet-szennyezés esetén a kármentesítési célértékek meghatározásában.

A kockázatfelméreés folyamatának fő elemeil áll, ezek a veszély azonosítása, a dózis-válasz összefüggés megállapítása, az expozíció (a hatásnak való kitettség) felméreés és a kockázat jellemzése. Az azonosított veszélyek által okozott kockázat meghatározásának alapja a károsító hatásnak való kitettség (expozíció) mértékének összevetése a receptorok - a dózisválasz összefüggés alapján megállapított - tűrőképességével.

Veszélyazonosítás, dózis-válasz összefüggés megállapítása:

A veszély azonosítása tipikus esetben a környezetanalitikai vizsgálatok eredményeinek feldolgozásán, a környezetbe került szennyezőanyagok fizikai, kémiai, toxikológiai tulajdonságainak áttekintésén alapul. A veszélyazonosítás célja annak megállapítása, hogy adott esetben mely vegyi anyagokat szükséges figyelembe venni a kockázatfelméreés további lépéseiben. Már ebben az "előkészítő" lépésben kiemelkedő jelentősége van az adott körülmények között előforduló anyagoknak az - esetlegesen - érintett receptorokra (hatásviselőkre) gyakorolt hatását jellemző dózis-válasz összefüggésről rendelkezésre álló szakirodalmi adatok feldolgozásának, amely nélkül a veszélyazonosítás nem végezhető el megfelelő megbízhatósággal.

Az expozíció felmérése

Az expozíció a receptorok veszélynek, károsító hatásnak való kitettségét jelenti. Felméréséhez szükség van annak meghatározására, hogy a veszély (környezetbe került vegyi anyag) mely receptorokat érinthet, illetve terjedéssel mely receptorokhoz juthat el, milyen módon expozíciós úton - juthat a receptor szervezetbe (lenyelés, belélegzés, felszívódás bőrön keresztül), továbbá meg kell határozni e receptoroknál a hatás mértékét (a vegyi anyag - környezeti közegekben, felvett táplálékban stb. - mért vagy modellezései számított koncentrációját), valamint a kitettség időtartamát, gyakoriságát is.

Az expozíció általános kifejezése a szervezetbe került vegyi anyag testtömeg- és időegységre vonatkoztatott mennyiségévei, vagyis az átlagos napi dózissal (ÁND) történik, az alábbi tényezők figyelembe vételével:

$$\text{ÁND (mg/testtömeg kg} \cdot \text{nap)} = \text{Ck} \cdot \text{BM} \cdot \text{EG} / \text{TT}$$

Ahol

Ck: az anyag koncentrációja a szennyezett közegben /pl, talaj/ (mg/kg)

BM: lenyelt/felvett mennyiség (kg/nap)

EG: az expozíció gyakorisága (nap/365 nap)

TT: testtömeg (kg)

Amint a fentiekből látható, az expozíciót jellemző ÁND érték számításához szükséges egyfelől a szennyezőanyagok koncentrációjának méréssel vagy modellezései történet megállapítása, másfelől a további expozíciós paraméterek - a receptorok és az expozíciós szituáció tanulmányozása, ill. szakirodalmi adatok alapján történő - meghatározása.

Külön említést érdemel az expozíció jellemzése azon esetekben, amikor a vegyi anyagok nem lenyeléssel (per os) jutnak a szervezetbe, hanem más módon: bőrön keresztüli felszívódással (dermálisan), vagy belélegzése (inhalációval).

Kockázatszámítás, a kockázati mérőszámok értékelése:

Az expozíció mértékének megállapítása után végezhető el az expozíció és a receptor tűrőképességének összevetése, vagyis a kockázatokat jellemző mérőszámok kiszámítása. A különböző vegyi anyagokkal való érintkezés esetén az adott anyag koncentrációjának, ill. felvett mennyiségének az okozott hatások, károsodások bekövetkezésévei való összefüggése - a dózis-válasz összefüggés - lehet küszöbdózissal jellemezhető, determinisztikus, vagy valószínűségi értékekkel jellemezhető, sztochasztikus. Az anyagok egyes szerveket, szervrendszereket károsító, toxikus hatása küszöbdózissal jellemezhető, azaz hatás (károsodás) csak egy bizonyos értéket meghaladó dózis esetében jelentkezik. A toxikus hatásoknál így a kockázat az expozíciót jellemző Átlagos Napi Dózis és a megengedhetőnek tartott terhelést jellemző referencia dózis (RfD) arányaként fejezhető ki:

$$\text{Kockázati hányados} = \text{ÁND} / \text{RfD}$$

(A referencia dózis és koncentráció értékek nemzetközi toxikológiai adatbázisokban fellelhetők)

A kockázati hányados minden, a veszélyazonosítás során meghatározott szennyező anyagra kiszámítandó. Annak érdekében, hogy az egyidejűleg jelenlévő, a receptorra hatást gyakorló anyagok által okozott kockázatokat a valóságnak megfelelően összesítve jelenítsük

meg a hasonló tulajdonságú, biológiai hatású anyagok kockázati hányadosait - receptoronként - össze kell adni.

A fentiek szerint számított, a vegyi anyagok toxikus hatásának való kitettségéből eredő egészségkockázat értéke általánosságban - a nemzetközi gyakorlat és a szakirodalom szerint (Szennyezett területek részletes mennyiségi kockázatelemzése, Kármentesítési Kézikönyv, Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest, 2001.; Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I Human Health Evaluation Manual (Part O), Final, Publication 9285.7-47, Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC 20460, December 2001) - akkor tekinthető elfogadhatónak, ha az összesített kockázati mutató értéke egynél nem nagyobb. A kockázati mutató deskriptív jellemzővel is kifejezhető, az alábbi táblázatban bemutatottak szerint.

Az egészség kockázat leíró jellemzése

Kockázati mutató	A kockázat mértéke
0,01-nél kisebb	elhanyagolható
0,01-0,1	kicsi
0,1-1	mérsékelt
1-10	nagy
10-nél nagyobb	igen nagy

A fentiekben tárgyalt toxikus hatásoktól eltérő a dózis-válasz összefüggés a potenciálisan daganatképződést okozó, karcinogén hatások esetében, amikor a szennyezőanyag a receptor szervezet genetikai anyagát (DNS) károsítja. Az ilyen ún. genotoxikus hatások vonatkozásában küszöbdózis nem határozható meg, tetszőlegesen kis dózis is megnöveli a daganatképződés valószínűségét, így zero kockázat csak zero dózisonál van.

A daganatképződés kockázata a dózis-karcinogén hatás összefüggés meredeksége alapján ítéltethető meg. Minél meredekebb a görbe, annál kisebb dózis illetve alacsonyabb koncentráció szükséges adott daganatkockázati szint eléréséhez. Általánosan elfogadott, hogy a karcinogén kockázat zero expozíció mellett nulla és alacsony dózistartományban a dózis-válasz összefüggés megközelítően lineáris.

Vagyis az egyes anyagok karcinogén hatása a dózis nagysága és a daganatképződés valószínűsége közötti függvénnyel jellemezhető, amely függvény alacsony dózistartományban megközelítően lineáris, így a függvény meredeksége a karcinogén hatást jól jellemzi. A karcinogén hatások kockázatát jellemző számított daganatkockázati érték a daganatképződés incidencia háttérértéken felüli elméleti többletkockázatát jelenti. A daganatkockázat 1 E-6 számított értéke azt fejezi ki, hogy egymillió ember közül egy esetben valószínűsíthető, hogy az adott expozícióra visszavezethetően lép fel rákos megbetegedés. Általában - a nemzetközi gyakorlatban, ill. szakirodalomban (pl. Szennyezett területek részletes mennyiségi kockázatelemzése, Kármentesítési Kézikönyv, Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest, 2001.; Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I Human Health Evaluation Manual (Part D), Final, Publication 9285.7-47, Office of Emergency and Remedial Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC 20460, December 2001) - ezt az 1E-6 értéket tekintik a daganatkockázat társadalmilag elfogadható mértékének, míg a több jelen lévő

szennyező komponens karcinogén hatásának összegződése esetén számítandó kumulatív daganatkockázat esetében az elfogadhatóság határa általában 1 E-5 .

A kockázatfelmérés módszerével tehát meghatározható, hogy egy vegyi anyag valamely környezeti közegben, adott koncentrációban való jelenléte milyen mértékű kockázatot jelent az egyes hatásviselőkre, receptorokra. Ugyanezen logikai és számítási lépések ellentétes irányban is végigjárhatók (ún. reverz kockázatfelmérés): az elfogadhatónak tekintett kockázati, ill. expozíciós szintekből kiindulva meghatározhatjuk, hogy adott helyen, adott közegben milyen szennyező anyag koncentráció nem eredményez még az elfogadható szintet meghaladó kockázatot a receptorok számára. Ez a reverz kockázatfelmérés alapozhatja meg talajés talajvíz-szennyeződések esetén a "D" kármentesítési célállapot határérték megállapítását.

3.2.7. Ökotoxikológiai vizsgálatok

A szennyezőanyagok általában nem önmagukban, hanem más szennyezőanyagokkal együtt, ún. kevert szennyezések formájában jelennek meg a kárhelyek túlnyomó többségében, így a tényleges környezeti kockázat ill. kármentesítési célállapot pontosabb megítéléséhez egyre fontosabb kérdéssé válik összegzett biológiai hatásaik kimutatása. Ennek fontos eszközei az ún. ökotoxikológiai tesztek, amelyek közül a szabványosított vizsgálatok általában különböző fejlettségű szervezeteken végzett akut toxicitási tesztek:

- veszélyes hulladékok vizsgálatánál
 - *Azomonas agilis* (a talajban szabadon élő nitrogénkötő mikroszervezet)
 - *Algaeszt* (*Scenedesmus obtusiusculus*)
 - Halteszt- szivárványos guppi (*Lebistes reticula*)
 - *Daphnia* teszt - vizi bolha vagy ágascsapú rák (*Oaphnia magna*)
 - Csíranövény teszt - fehér mustár (*Sinapis alba*)
- szennyvíziszap kihelyezés
 - talajtoxicitási teszt *Azotobacter chroococcum* (a talajban szabadon élő nitro-génkötő mikroszervezet)
 - talajtoxicitási teszt - *Pseudomonas fluorescens*
- felszíni víz, ivóvíz- *Pseudomonas putida* .
- szennyvíz, édes víz, sós víz, karszt víz, vizes extraktumok és szűrletek - *Vibrio fisher*; *lumineszcens* fényt kibocsátó baktérium

ADIN és az OECD szabványok között találunk olyan ökotoxikológiai tesztet, amely a talajlégzés aktivitásának vizsgálatából következtet a talajlakó mikroszervezetekre gátló hatású szennyező anyagok összegzett biológiai hatásáról. Egy ilyen vizsgálati rendszert mutat a 20. ábra. (Magyarázataát lásd az előadáson!)



20. ábra Talajlégzés aktivitásának mérésére alkalmas edények

3.2.8. A tényfeltárás folyamatának és eredményeinek dokumentálása

A tényfeltárást és annak eredményeit dokumentálni kell. A tényfeltárási záródokumentációt a 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet 7. számú melléklete szerint kell összeállítani és be kell nyújtani a területileg illetékes felügyelőséghez (Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség).

A (D) kármentesítési célállapot határérték - szükség esetén részterületenként és mélység szerint eltérő - kockázati alapon történő meghatározásánál figyelembe kell venni:

- a) a terület földtani, vízföldtani viszonyait és érzékenységet;
- b) a szennyező anyagokra vonatkozó (B) szennyezettségi határértéket;
- c) a szennyezettséget, károsodást megelőző korábbi, feltételezhető állapotot, továbbá az (Ab) bizonyított háttér -koncentráció értékeit;
- d) a kármentesítés (így a műszaki beavatkozás) során biztosítani kell, hogy a szennyező (8) szennyezettségi határértéket meghaladóan ne tevődjön át más környezeti elemre, a felszín alatti víz, a földtani közeg nem szennyezett részeire, illetve, hogy az a lehető legkisebb környezeti terheléssel járjon, és ne okozzon környezeti veszélyeztetést, szennyezést, környezetkárosodást, továbbá a környezeti állapot további romlásának tilalmát;
- e) a szennyezett területen és a teljes hatásterületen folyó, illetve tervezett területhasználatokat a településrendezési tervek alapján, és ennek megfelelően a kockázat mértékét;
- f) az alkalmazásra javasolt, bizonyítottan legjobb elérhető, kármentesítési műszaki beavatkozási technológiát;
- g) amennyiben a szennyezettség, illetve a veszélyeztetettség mértéke szükségessé teszi
 - a részletes mennyiségi kockázatfelmérés eredményét, illetve
 - a kármentesítés műszaki beavatkozás pénzügyi-műszaki megvalósíthatóságát, költséghasznosságát.

A (D) kármentesítési célállapot határérték:

- a) A(D) nem lehet alacsonyabb, mint a bizonyított (Ab) háttér-koncentráció vagy a részletes mennyiségi kockázatfelmérés alapján számított (O) kármentesítési célállapot határérték (mint alsó határ);
- b) nem lehet magasabb, mint a felszín alatti vizek környezetvédelmi célkitűzéseinek és a területhasználatok, illetve a műszaki beavatkozás pénzügyi-műszaki megvalósíthatósága, költséghasznossága figyelembevételével, az a ténylegesen mért átlag koncentráció egy adott területen (térrészben), amely nem veszélyezteti a még nem szennyeződött környezeti elemeket, az emberi egészséget, az élővilágot, a vízkivételeket, továbbá a területhasználatot (mint felső határ).

A felügyelőség a tényfeltárási záródokumentáció, a szakhatóságok állásfoglalása - illetőleg a területhasználat tekintetében szükség esetén az érintett önkormányzat bevonásával, az érvényben lévő, illetve a tervezett településrendezési terv - figyelembevételével határozattal dönt a **záródokumentáció elbírálásáról**, valamint a **szennyezettséggel, károsodással kapcsolatos további feladatokról**, így:

- a) a tényfeltárási folytatásáról;
- b) az (E) egyedi szennyezettségi határérték, illetőleg a (O) kármentesítési célállapot határérték megállapításáról;
- c) a műszaki beavatkozás elvégzésének szükségességéről, illetve a műszaki beavatkozás megvalósítási tervének elkészítéséről és benyújtásáról, amennyiben a szennyezettség meghaladja a (O) kármentesítési célállapot határértékét;
- d) a tényfeltárást követő kármentesítési monitoring elrendeléséről;
- e) a kármentesítés befejezéséről, ha minden körülmény együttes mérlegelése azt mutatja, hogy további kármentesítési munkára nincs szükség.

A záródokumentáció elfogadására, a műszaki beavatkozás szükségességének megítélésére, a (D) kármentesítési célállapot határérték megállapítására irányuló eljárásban minden esetben a közegészségügyi hatóság, valamint szennyezett termőtalaj esetén a talajvédelmi hatóság, mint érintett szakhatóságok vesznek részt.

A földtani közeg és a felszín alatti víz kármentesítése, (műszaki) beavatkozás Mint azt az előző fejezetekből megismerhettük, a földtani közeg és a felszín alatti víz kármentesítése három fontos (rész)tevékenységből (szakaszból) épül fel: tényfeltárási, (műszaki) beavatkozási és kármentesítési monitoring. (Kármentesítési monitoring alatt a tényfeltárási és a műszaki beavatkozási szakaszban, ill. az azokat követően folytatott monitoring tevékenységet értjük.)

A tényfeltárási szakasznak már a (műszaki) beavatkozási szakaszhoz is szorosan kapcsolódó néhány fontosabb szabályát, kívánalmát - emlékeztetőül - az alábbiakban foglalunk össze.

3.3. A (MŰSZAKI) BEAVATKOZÁS MEGINDÍTÁSA

A **kármentesítési (műszaki) beavatkozási szakasz** a (műszaki) beavatkozás megvalósítási tervének elkészítéséről és benyújtásáról szóló hatósági (felügyelőségi) határozat alapján kezdődik.

A (műszaki) beavatkozási terv tartalmi követelményeit a 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet 8. számú melléklete tartalmazza és a felügyelőség a (műszaki) beavatkozási terv alapján dönt a (műszaki) beavatkozás elrendeléséről. A (műszaki) beavatkozási terv összesen nyolc fejezetet tartalmaz. Ezek a fejezetek négy fő, egymásra épülő logikai egységet képeznek.

- a) Az első logikai egységbe akárhely helyszínének alapadatai és a területre vonatkozó, a kármentesítést érintő előzmények tartoznak. (A terv 1. és 2. fejezete.) Alapadatok pl.: sarokpontok EOY koordinátái, 1:10 000 m.a. átnézetes térkép, ingatlan-nyilvántartási adatok, tulajdoni lap másolat, a terület tulajdonosa inak, kezelőinek, használóinak adatai, a műszaki beavatkozással érintett egyéb területek adatai, légifotó, a (műszaki) beavatkozásra kötelezett adatai, a (műszaki) beavatkozás tervezőjének, a dokumentáció készítőjének, adatai, jogosultságai, ezek érvényessége és ha ismert a (műszaki) beavatkozás kivitelezőjének megnevezése. Az előzmények között be kell mutatni pl. a területen korábban végzett környezetvédelmi beavatkozásokat, a korábban kiadott hatósági határozatokat, így a kármentesítési célállapot határértéket tartalmazó határozatot, a szennyezettséget: a szennyezőforrás jellemzői, a szennyezettség szennyező anyagokénti lehatárolása, a veszélyeztetett terület lehatárolása a szennyező anyagok térbeli és időbeli mozgásának előrejelzése, modellezése alapján, a szennyezett terület jellemzőit: a területhasználatok története, az azok során feltételezhetően a környezetbe került anyagok, a terület földrajzi, éghajlati, talajtani, földtani, vízföldtani adottságai, az élővilág, a védendő természeti értékek, az épített környezet, beleértve a régészeti és műemléki értékek, a terület érzékenységi besorolását, ha készült, akkor a mennyiségi kockázatfelmérés eredményeit, a területen szóba jöhető (műszaki) beavatkozási lehetőségeket, a költség-haszon és a költség-hatékonyság elemzésének az eredményeit. **Mint látjuk zömében olyan adatokat kell ismertetni, amelyeket a tényfeltárás során már megszereztünk, de szükségesek a (műszaki) beavatkozás érdemi elméleti és gyakorlati megalapozásához, tervezéséhez!**
- b) A második logikai egységbe a (műszaki) beavatkozás **konceptiójának és a tervezett (műszaki) beavatkozásnak a részletes bemutatása** (méretezett engedélyezési terv) tartozik. (A terv 3. és 4. fejezete.)

A (műszaki) beavatkozási terv konceptiójának kialakítása során először, be kell mutatni mindazokat a kármentesítési technológiákat - előnyeikkel és hátrányaikkal együtt - , amelyek a szennyezett terület adottságainak és a szennyező anyagok tulajdonságainak ismeretében alkalmasak lehetnek a szennyezettség adott kármentesítési célállapotának elérésére. A tervezőnek ezután meg kell indokolnia, hogy lehetséges remediációs (tisztítási) technológiák közül miért döntött az általa megvalósításra javasolt mellett, ill. meg kell adnia a tervezett technológia olyan referenciáit, ahol a technológiát hasonló adottságok esetén alkalmazták.

A méretezett engedélyezési terv összeállításakor ismertetni kell a (műszaki) beavatkozás lépéseit, az egyes lépéseknél alkalmazott technológiákat, a technológiák megvalósításához felhasználandó berendezéseket, létesítményeket, infrastruktúrát (pl. energiaellátás, vízfelhasználás, tisztított víz elvezetés, stb.) és mindezek költségeit valamint **a kármentesítési (műszaki) beavatkozási technológiák környezetre gyakorolt hatásait, esetleges kockázatait**, az alkalmazás korlátait, ill. ezeknek a hatásoknak az ismertségét,

vagyis értékelni kell (műszaki) beavatkozási technológia **környezetbiztonsági szempontból**. A kármentesítési eljárások esetében ugyanis lényeges követelményként fogalmazható meg, hogy a technológia kivitelezése során a környezet (valamennyi elemét egységesen kezeve) veszélyeztetése vagy károsítása ne növekedjen, sőt folyamatosan csökkenjen, ill. megszűnjön. Ezért nagyon fontos, hogy az egyes technológiákat aszerint is minősítsük, hogy milyen időszakos vagy végleges környezetterhelő vagy éppen környezetszennyező hatásuk lehet. [Tágabb értelemben véve a környezetbiztonsági kérdések között igen lényeges annak megítélése, hogy milyen veszélyek fenyegetik a természetes (beleértve az embert is) és a mesterséges környezeti elemeket, ill. ezek rendszereit, egyrészt a természet oldaláról (pl. környezeti katasztrófák), másrészt az emberi tevékenységek oldaláról (pl. ipari, mezőgazdasági vagy akár a kármentesítések (műszaki) beavatkozási szakaszában alkalmazott technológiák.)] A fentiekből következően a méretezett engedélyezési tervben ki kell térni a javasolt technológiák környezetre gyakorolt hatásának ellenőrzésére is. Az engedélyezési tervnek tartalmaznia kell a munkafolyamatok leírását, a beavatkozások dokumentálásának módját, a betartandó környezetvédelmi és egyéb jogszabályi (pl. munkavédelmi) előírásokat, a próbaüzemi tervet, a technológiák megvalósításának hosszát, egymásra épülését, időütemezését és a (műszaki) beavatkozási szakasz befejezését követően a létesítmények bontására vonatkozó tervet.

- c) A harmadik logikai egységbe a tényfeltárás alatt és azt követően üzemeltetett, valamint a (műszaki) beavatkozáshoz kapcsolódó **kármentesítési monitoring bemutatása** tartozik. (A terv 5. és 6. fejezete.) A tényfeltárást követően működtetett monitoring rendkívül lényeges lehet, ha pl. az adott kárhelyen elhúzódik a (műszaki) beavatkozás megindítása. A (műszaki) beavatkozáshoz kapcsolódó monitoring tevékenységnek pl. jelentős szerepe lehet abban, hogy meggyőződjünk az alkalmazott technológiák, berendezések, létesítmények működésének hatásosságáról, ill. hiányosságai esetén póttintézkedésekkel javítani tudjunk a beavatkozások hatékonyságán. Ugyanakkor pl. a (műszaki) beavatkozáshoz kapcsolódó kármentesítési monitoring arra is figyelmeztetheti a kivitelezőt, hogy a víztisztítási tevékenység során szomszédos területekről szennyezést indított el a beavatkozási terület felé. A (műszaki) beavatkozási tervben a monitoring tevékenységhez kapcsolódóan be kell mutatni a monitoring rendszer létesítményeit, a vizsgált paraméterek körét, a vizsgálatok gyakoriságát, a mérések, megfigyelések, észlelések, mintavételezések módszertanát, nyilvántartásuk és a rájuk vonatkozó adatszolgáltatás rendjét. A felügyelőség számára nyújtott adatszolgáltatásból- többek között - ki kell derülnie, hogy a mért adatok hogyan viszonyulnak a határértékekhez (pl. kármentesítési célállapot határérték, szennyezettségi határérték), milyen megbízhatóak ezek az adatok, ill. milyen tendenciák, trendek (pl. a tisztulásra vonatkozó) figyelhetők meg az idősoros adatokból.
- d) A negyedik logikai egységbe a (műszaki) beavatkozás **várható eredményének** a bemutatása tartozik. (A terv 7. fejezete.) Ebben a részben meg kell becsülni, hogy a (műszaki) beavatkozás befejezése után hátrahagyott szennyezettség mekkora területre fog kiterjedni, milyen mennyiségi kockázata várható, ill. a szennyezettség miatt milyen jelenlegi és jövőbeni területhasználati korlátozásokat kell bevezetni az adott területen, ill. környezetében.

A (műszaki) beavatkozási terv 8. fejezetében kerülnek elhelyezésre a tervet alátámasztó, az egyes megállapítások megértését segítő dokumentumok, térképek, ábrák, fotók.

3.4. A (MŰSZAKI) BEAVATKOZÁS SORÁN ALKALMAZHATÓ TECHNOLOGIÁK BEMUTATÁSA

A földtani közeg és a felszín alatti víz kármentesítési célállapot határértékre való megtisztítása során jelenleg ismert és igénybe vehető technológiák legteljesebb, folyamatosan frissített felsorolását, értelmezését, alkalmazási referenciáik esettanulmányait az USA Környezetvédelmi Hivatalának (USA EPA = Environmental Protection Agency) honlapján (www.gov.gov) vagy közvetlenül az Federal Remediation Technologies Roundtable = FRTR honlapján (www.frtr.gov) találjuk meg.

Ezt a technológia alkalmazási mátrixot az USA különböző szövetségi kormányzati hivatalainak (Honvédelmi Minisztérium, Energiaügyi Minisztérium, Belügyminisztérium, Űrhajózási Hivatal - NASA, Környezetvédelmi Hivatal - USA EPA) kerekasztalszerű (roundtable) együttműködésével alakították ki. A technológiák ismertetésénél az FRTR rendszeréhez képest bizonyos összevonásokat alkalmaztunk és bővebb környezetbiztonsági szempontú megjegyzéseket fűztünk az egyes technológiákhoz. Itt kell megjegyeznünk, hogy az FRTR rendszerben és az általunk bemutatott technológiákat az egyes kárhelyeken nem önmagukban hanem ún. technológiai láncokban (egyidőben, egymást kiegészítve vagy egymást követően) szekták felhasználni.

A technológiák konkrét kárhelyen való alkalmazásánál, ill. a technológiák minősítésénél figyelembe veendő főbb szempontok:

- a folyamatok technikai jellemzői
- a kezelhető szennyezőanyagok típusa, a kockázatos anyag minősége és mennyisége (koncentrációja)
- a környezeti elem
- a kármentesítendő hely (földrajzi elhelyezkedés, felszíni, felszín alatti vizek elhelyezkedése, földtani, vízföldtani környezet, stb.)
- környezetegészségügyi szempontok, ökológiai hatások
- BAT (best available technics), BPEO (best practical environmental options), BATNEEC (best available technique not exceeding excessive cost) elvek figyelembevétele
- a technológia hatására átkerül, átkerülhet-e más környezeti elembe a szennyezés
- a technológia alkalmazása következtében a szennyezőanyag átalakul(hat)-e más, veszélyesebb anyaggá
- a technológia során adalék és/vagy segédanyag (pl. mikroszervezet, enzim, detergens, emulgeáló szer, műtrágya stb.) kerül-e felhasználásra
- az alkalmazható adalék- és/vagy segédanyagok köre, szempontjai
- emisszionál a kibocsátás megfelel-e a jogszabályban meghatározott előírásoknak, határértékeknek, nemzetközi vállalások miatti kritériumoknak
- az alkalmazás módja

- helyszíni, nem helyszíni (on-site, off-site; in-situ, ex-situ módszerek), mobilegység alkalmazása; in-situ módszer preferálása
- kockázat elkerülés, kockázatsökkentés módjai
- felhasznált adalék- és segédanyagok és további sorsuk
- a keletkező hulladékok típusa, újrahasznosíthatósága, ártalmatlaníthatósága
- monitoring-szükséglet megítélése

A leggyakrabban használt kármentesítési technológiák vagy más néven (műszaki) beavatkozási technológiák alkalmazhatósági mátrixát a következő szövegközi táblázatban mutatjuk be. (A gyakorlati szempontból jelentősebb technológiák ábrászerű bemutatására az előadások keretében kerül majd sor.)

KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLÓGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
1. BIODEGRADÁCIÓS ELJÁRÁSOK	A szerves szennyező anyagok, mikroszervezetek által végzett, lebontási, illetve átalakítási folyamat, melynek során, különböző oxidáltsági fokú vegyületeken (közti termékeken) keresztül, döntő hányadban széndioxid és víz, anaerob körülmények között metán keletkezik.	Figyelembe kell venni: – alacsony hőmérsékleten a bontás csökken, vagy megáll – amikroszervezetek szennyezés-tűrő képességét (a szennyező anyagok bizonyos koncentráció felett gátolhatják a mikroszervezetek szaporodását, vagy elpusztíthatják őket) – a biodegradációs módszerek alkalmazása előtt a szabad fázisban lévő szennyező anyagokat el kell távolítani – a mikroszervezetek szennyezőanyag-bontási képességét (kevert szennyezés esetén képesek-e valamennyi szennyezőanyagot lebontani) – a patogén, vagy fakultatív patogén mikroszervezetek helyben, vagy tartályokban történő felszaporítása jelentős egészségügyi kockázattal járhat.
1.1. Ellenőrzött spontán (természetes) biodegradáció	A kárhelyen a talajban, illetve a talajvízben élő mikroszervezetek által végzett természetes szennyezőanyag lebontás, átalakítás, kémiai analitikai, biológiai (mikrobiológiai) monitoringja, nyomon követése.	A kárhelyen élő mikroszervezetek esetlegesen korlátozott képességei [magas szennyezőanyag koncentráció, kevert szennyezés, hiányos (szénhidrogén) bontási spektrum, a közeg kimeríthető elektronakceptor (pl. O_2 , CO_2 , SO_4^{2-} , NO_3^- , Fe_3) és tápanyag (pl. N, P, K) szolgáltató képessége] és a folyamat elhúzódása miatt sok esetben csak részleges hatású, illetve eredménytelen.
1.2. Stimulált (irányított) aerob biodegradáció	Emberi beavatkozással felgyorsított biodegradáció, ami a szennyezés lebontásának intenzív feltételeit teremti meg általában az oxigén-, tápanyag- és nedvesség pótlásával, kiegészítésével.	A beavatkozások kémiai és mikrobiológiai monitoringját folyamatosan el kell végezni, kiterjesztve a vizsgálatokat akárhelyen élő, illetve felszaporodó patogén, fakultatív patogén mikroszervezetekre is.
1.2.1. Levegő (oxigén) közléses eljárások – bioventilláció (talaj, in situ) – intenzifikált – bioremediáció (talaj, in situ, ex situ) – intenzifikált – bioremediáció (talaj-víz, in situ)	Az oxigén ellátás javítása érdekében perforált csőveken keresztül levegő, vagy levegővel (oxigénnel) dúsított víz bejuttatása a talaj mélyebb rétegeibe, a talajvíztáblába, vagy a bioágynon (prizmában) felhalmozott talajba. A csőveken keresztül tápanyag (N, P, K), illetve nedvességpótlás is alkalmazható.	Az illékony kockázatos anyagok esetén, ha a rendszer nem zárt, a szennyezés átvezetése történhet a talajvízből a talajba, illetve a talajból a levegőbe. Ennek a mértéke nem haladhatja meg a más, hatályos jogszabályokban megengedett értékeket. Az oxigén-fejlesztő anyagok adagolása (pl. hidrogén-peroxid, ózon) csak akkor alkalmazható, ha kizárják a talaj mikroszervezeteire gyakorolt toxikus hatásukat. Meg kell továbbá akadályozni, hogy különösen a kevert, sok komponensű szennyezések esetén hatásukra számos, részlegesen oxidált vegyület keletkezzen a szennyező anyagokból, vagy a földtani közeg szerves anyagából, és ezek egymással, vagy a kiindulási anyagokkal reagálva ökotoxikológiailag kockázatos, időlegesen, vagy véglegesen nehezen befolyásolható helyzetet teremtsenek a kárhelyen. In situ, on site mentesítés során a talajvízbe csak abban az esetben juttatható szerves anyag (pl. detergens), szerves anyag (pl. nitrát, foszfát), mikroszervezet, ha a talajvíznek a kezelendő területről való kijutását megakadályozzák, a kitermelt vizet tisztítják, a felhasznált adalék anyagok veszélyességét (pl. toxicitás, patogenitás) kizárják, veszélytelenségüket bizonyítják. Bioágyas (prizmás) kezelésnél az alsó műszaki védelemről és a csurgalékviz kezeléséről gondoskodni kell. A mentesítendő közegben az aeráció, az oxidatív folyamatok erősödése, a detergensnek használata, a kémhatás változása a toxikus elemek oldékonyságának növekedéséhez vezethet.
1.2.2. Talajlazításos eljárások	Mind az in situ, mind az ex situ eljárásoknál a talaj lazításával	Az illékony kockázatos anyagok esetén, ha a rendszer nem zárt, a szennyezés átvezetése történhet a talajból a levegőbe. Ennek a

– talajműveléses kezelés (ICEj. hsiu) – bioágyas kezelés (talaj, ex situ) – komposztálás (talaj, ex situ) – agrotechnikai kezelés (talaj, ex situ)	(szántás, tárcsázás, mélylazítás, forgatás, átrakás, stb.) biztosítják a biológiai bontás hoz szükséges oxigénellátást, melynek során általában adalékanyagokat is kevernek a közegbe (leggyakrabban vizet, szerves tápanyagokat, kiegészítő anyagokat). Az ex situ technológiák során az adalékolás kiegészülhet térfogatnövelő (szerkezetjavító) szerves anyagokkal, melyek segítségével a biodegradáció számára serkentő C:N arány és porozitás állítható be.	mértéke nem haladhatja meg a más, hatályos jogszabályokban megengedett értékeket. Bioágyas (prizmás) kezelésnél az alsó műszaki védelemről és a csurgalékvíz kezeléséről gondoskodni kell. A kezelések során a szerkezet- és a tápanyagellátás javítása okán a közegbe bevitt adalékanyagok mennyisége nem érheti el az 5 tömeg %-01. illetve nem vezethet a szennyezőanyag tartalom kihígításos csökkentéséhez.
KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLOGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLOGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
1.2.3. Tartályos eljárások – Iszapfázisú biológiai kezelés (talaj, ex situ) – bioreaktor (talajvíz, ex situ)	A szennyezett talajt (talajvízzel) zagyá szuszpendálják, adalékolják, keverik, levegőztetik a mikroszervezetek és a szennyezőanyagok minél jobb hatékonyságú talákoztatása és azaerob viszonyok megteremtése érdekében. A tisztítás után az iszapot víztelenítik. A kitermelt, szennyezett talajvizet tartályokban, medencékben aerob viszonyok között, a talajvízben található mikroszervezetek felszaporításának és ezáltal a biodegradáció elősegítése érdekében kezelik.	Az iszapfázisú talajtisztítás kiindulási szakaszában kiválogatott szennyezett kő, kavics, egyéb anyagok sorsáról, esetleges ártalmatlanításáról gondoskodni kell. A tisztított talaj továbbhasznosítása során figyelembe kell venni, hogy a kezelés hatására a talaj eredeti szerkezete megsemmisül, tápanyag-szolgáltató képessége romlik, a mikroba populáció összetétele megváltozik (patogének vizsgálata). A víztelenítés során keletkező csurgalékvíz, illetve a tisztított talajvíz toxikus-elem koncentrációjáról meg kell győződni, mivel a levegőztetés hatására bekövetkező redox-potenciál változások, illetve az aeráció és a pH beállítás megváltoztathatja bizonyos vegyületek oldhatóságát.
1.2.4. Tudatos / tervezett oltóanyag használat	Szemben az 1. pontban fentebb felsorolt technológiákkal, amelyek során általában definiálatlan faji összetételű és tulajdonságú mikroszervezetek kerülnek felhasználásra, ebbe a csoportba azokat az eljárásokat soroljuk, melyek faj-szinten identifikált, ismert tulajdonságokkal rendelkező és származású mikroszervezeteket alkalmaznak. A közeg oltása azt jelenti, hogy általában 10^6-10^{10}/ml élő sejtszámban a szennyező anyagok intenzív lebontására képes mikroszervezet szuszpenziót (inokulumot, vagy oltóanyagot) juttatnak a kezelendő közegbe. Az 1.2 pontban fentebb felsorolt valamennyi eljárásban alkalmazhatóak.	A szennyező anyag eredményes lebontását a közegben általában többféle, együttműködő mikroszervezet végzi. In situ, on site mentesítés során a talajvízbe csak abban az esetben juttatható szerves anyag (pl. detergens), szerves anyag (pl. nitrát, foszfát), mikroszervezet, ha a talajvíznek a kezelendő területéről való kijutását megakadályozzák, a kitermelt vizet tisztítják, a felhasznált adalék anyagok veszélyességét (pl. toxicitás, patogénitás) kizárják, veszélytelenségüket bizonyítják. Az oltóanyagok (mikroszervezeteknek) az alábbi szabályoknak meg kell felelni: – definiált faji összetétel, – ismert a bontási spektruma (azoknak az anyagoknak a köre, melyeket hasznosítani tudnak), – obligát és fakultatív patogén mikrobaktóji mentes, – a nehézfém-, illetve vegyszertűrő képessége ismert, összevethető az oltás előtt a mentesítésre váró közegből származó adatokkal, – letétbe vannak helyezve, célszerűen a Mezőgazdasági és Ipari Mikroorganizmusok Nemzeti Gyűjteményénél (NCAM). A kármentesítés során kiemelten fontos az oltás, a beavatkozás hatékonyságának nyomon követése (pl. szénhidrogén bontó mikrobák számának és összetételének alakulása, a talajlégzés aktivitása, a szénhidrogén-tartalom mennyiségi és miniségi változása), hogy az esetleges pótlólagos intézkedéseket - kiemelten a közeg újratárolását - el lehessen végezni.
KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLOGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLOGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
2. FIZIKAI-KÉMIAI ELJÁRÁSOK	Különböző fizikai és/vagy kémiai eljárásokon alapuló in situ és/vagy ex situ eljárások, melyek segítségével a földtani közeg és/vagy a felszín alatti víz kármentesítése történhet.	
2.1. Talajmosás – in situ – ex situ	Víz, vagy egyéb adalékot tartalmazó vizes oldat talajba juttatása, illetve a talajvíz-tükör szintjének megemelése a szennyezések kioldásának fokozására, majd a szennyezett (talaj)víz kitermelése, tisztítása. A	A mosófolyadék és a talaj kölcsönhatása következtében a porozitás, ezáltal a szennyezés mobilitása csökken. Alkalmazási feltételek: – In situ, on site mentesítés során a talajvízbe csak abban az esetben kerülhet szerves, vagy szerves anyag (adalék), ha a talajvíznek a kezelendő területéről való kijutását megakadályozzák, a kitermelt vizet tisztítják, a felhasznált

	kitermelt szennyezett talaj részeihez kötött szennyezőanyagok eltávolítása kioldással, vagy kisebb térfogatba koncentrációja a finom szemcsék leválasztásával (pl. gravitációs úton, kicsapással).	adalék anyagok veszélyességét (pl. toxicitás, patogenitás) kizárják, veszélytelenségüket bizonyítják. – Az eljárás során keletkező és a talajban esetlegesen visszamaradó mosóoldat további kezelését meg kell oldani. Komplex, kevert szennyezés esetén nem alkalmazható hatékonyan. – Ex situ mentesítés során, tekintettel a felhasználandó mosószerekre és adalékokra, a kezelt talaj kémiai-analitikai és ökotoxikológiai szempontból is a vizsgálandó, kontrollálandó a visszahelyezés előtt. – A talaj magas humusztartalma akadályozhatja a kezelés hatékonyságát.
2.2 Levegőztetés, talajlevegő elszívás talajszellőztetés (talaj, talajvíz, in situ) – átlevégőztetés (talaj, ex situ) – légbekeverés + talajgáz kitermelés (talajvíz, in situ) – sztrippelés, (talajvíz, ex situ)	Vákuum, vagy nyomás hatására kialakuló nyomás/koncentráció gradiens eredményeként az illékony gáz fázisú, illetve gáz fázisba kerülő szennyező anyagok eltávolíthatók a felszín alatti, illetve a kitermelt közegből.	Mind az in situ, mind az ex situ eljárások csak zárt rendszerben történhetnek, a kitermelt gázok (szennyezett levegő) a más, hatályos jogszabályokban előírtak szerint tisztítandók. In situ ta/ajszel/őztetésnél a talaj heterogenitása és magas szerves anyag tartalma gátolhatja a módszer eredményességét. A telített zóna (talajvíz) tisztítására önállóan nem alkalmas. A talaj ex situ átlevégőztetése nem javasolt, mert a kitermelésnél és szállításnál az illékony szennyezők óvatlan kezelés esetén a levegőbe kipárolognak. In situ légbekeverés (air sparging) során az illékony szennyezőanyagok a telített zónából a telítetlenbe kerülnek, (kapillaris zóna, talaj) ahonnan kitermelésük elengedhetetlen. A módszer alkalmazásához igen körültekintő, pontos geológiai és szennyezés-eloszlási felmérés szükséges. A technológia beindítása előtt az esetleges szabad (úszó) fázist el kell távolítani. Ex situ talajvíz sztrippelés: – 5 mg/L feletti vastartalom esetén vastalanító berendezés szükséges, – csak G,Q1-nél magasabb Henry állandójú szerves szennyezőanyaggal szennyezett víz esetén hatásos, – biológiai eltömődés miatt rendszeres karbantartást igényel.
2.2.1. Gázkitermelés vákuummal (kúton belüli sztrippelés)	Levegőt sajtolnak a kútba, megemelve a vízszintet, lehetővé téve nagyobb mennyiségű talajvíz beáramlását és az illékony szerves szennyezőanyagok eltávolítását a telítetlen talajrétegbe, ahonnan vákuumos elszívó berendezéssel a szennyezés kitermelhető.	Kis vastagságú vízadó réteg esetén alkalmazása kerülendő. Biológiai eltömődés veszélye nagy, rendszeres karbantartást igényel.
2.3. Kémiai kivonás (extrakció) – oldószeres kivonás (talaj, ex situ) – savas kivonás (talaj, ex situ)	A szennyezett közeget oldószerrel (savval) keverik, a szennyezett oldatot szétválasztják, ezáltal a szennyezés kisebb térfogatba kerül.	A szennyezőanyagot tartalmazó oldat ártalmatlanításáról a más, hatályos jogszabályokban leírtak szerint gondoskodni kell. A talajban esetlegesen visszamaradó oldószer további kezelését meg kell oldani. Tekintettel a felhasznált kivonó szerekre, a kezelt talaj kémiai analitikai és ökotoxikológiai szempontból a visszahelyezés előtt vizsgálandó. Magas agyag- és nedvességtartalom, nagy molekulatömegű szerves szennyezők és hidrofíli szennyezők jelentősen csökkenti a hatásfokot.
KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLÓGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
2.4. Kémiai oxidáció/redukció	A mentesítendő közegben lévő szennyezőanyagok az oxidáló/redukáló szer (pl. ózon, hipoklorit, klór, hidrogén-peroxid) hatására közömbösülnek, mobilitásuk, oldhatóságuk csökken, vagy megszűnik.	Az oxidáló és/vagy redukáló szerek adagolása csak akkor alkalmazható, ha kizárják a talaj mikroszervezeteire gyakorolt toxikus hatásukat. Meg kell továbbá akadályozni, hogy különösen a kevert, sok komponensű szennyezések, vagy magas szennyezőanyag-koncentráció esetén hatásokra számos, részlegesen oxidált, illetve klórozott vegyület keletkezzen, mind a szennyező anyagokból, mind a földtani közeg szerves anyagából és ezek egymással, vagy a kiindulási anyagokkal reagálva ökotoxikológiailag kockázatos, időlegesen, vagy véglegesen nehezen befolyásolható helyzetet teremtsenek a kárhelyen.
2.5. Elválasztás (szeparáció) – gravitációs (talaj, ex situ) – szűrési (talajvíz, ex situ) – desztillációval (talajvíz, ex situ)	A szennyezőanyagok elválasztása a hordozó közegtől fizikai és/vagy kémiai úton [gravitációs ülepítés, mechanikus szűrés, desztilláció (párányomás különbség alapján), membrán szűrés, fordított ozmózis].	A leválasztott szennyezőanyagok, illetve a szennyezett szűrőközegek ártalmatlanítása a más, hatályos jogszabályokban előírtak alapján kell, hogy megtörténjen. A módszerek leginkább a szennyvíztisztításban használatosak.

– fordított ozmózissal (talajvíz, ex situ) – membrán- szűréssel (talaivíz, ex situ)		
2.6 Megszilárdítás, stabilizálás – bitumenes – aszfalt emulzióba keverés – portland cementbe keverés – oldható foszforozás, meszezés – iszap-stabilizálás	A szennyezés fizikai megkötése, bezárása (szilárdítás), vagy kémiai reakciók segítségével a szennyezés mobilitásának csökkentése, megszüntetése (stabilizálás).	Az. eljárás kis mennyiségű, nagy koncentrációjú, hulladékká vált talajok esetén javasolt, ahol nincs lehetőség atalaj eredeti szerkezetének visszaállítására, regenerálására, továbbá revitalizációjára. A szilárdítás, stabilizálás eredménye kioldódási vizsgálatokkal, monitoring-szerűen ellenőrizendő, mivel a hosszú távú immobilitás, a hatékonyság sok esetben még nem bizonyított.
2.7. Aktívszenes szűrés (adszorpció)	A kitermelt és szennyezett talajvíz aktív szénnel töltött szűrőn való átszivárgtatása során a szennyezőanyagok adszorbeálódnak az aktív szénen, amely telítődése után regenerálható, vagy ártalmatlanítható.	A szennyezett aktívszén regenerálása és/vagy ártalmatlanítása más, hatályos jogszabályokban előírtak alapján kell, hogy történjen. Oioxinokkal / furánokkal szennyezett aktívcszenek nem regenerálhatók, ártalmatlanításuk lerakással (megfelelő füstgáz kezelő esetén égetéssel) történhet. 50 mg/L feletti lebegőanyag-tartalom esetén előkezelés (pl. homokszűrő) szükséges. A bemenő, illetve a kimenő víz szennyezőanyag koncentrációját időszakonként ellenőrizni kell az aktívszén-telítődés időpontjának megállapítása céljából. Mindig a szennyezőanyagnak megfelelő aktívszén kiválasztása javasolt, kevert szennyezés esetén többféle szűrő sorba kötése célszerű. Úszó fázisú szennyezést a szűrés előtt le kell választani és/vagy szeparáltan kell kitermelni a szennyezett közegből. Folyamatos üzem esetén, biztonsági és hatékonyság i okokból célszerű több, sorba kötött kisebb térfogatú szűrő használata.
2.8. Ioncsere	A vizes fázisban lévő szennyezőanyagok anionjait, illetve kationjait a cserélő közeg ionjai váltják fel az alkalmazott (mű)gyanták felületén (szintetikus szerves anyagok, szervesetlen természetes polimerek).	A kimerült ioncsereélők regenerálása és/vagy ártalmatlanítása más, hatályos jogszabályokban előírtak alapján kell, hogy történjen. A bemenő és kimenő víz szennyezőanyag koncentrációját időszakosan ellenőrizni kell, a gyantakapacitás-kimerülés időpontjának megállapítása céljából. Szerves szennyezések, különösen olaj és zsír szennyezések esetén nem alkalmazható. 10 mg/L lebegőanyag tartalom felett előkezelés (előszűrés) szükséges. A szennyezőanyag minősége és a kezelendő víz pH-ja alapján választandó a megfelelő ioncsereélő.
KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLÓGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
2.9. Kicsapás és elválasztás (koaguláció és flokkuláció)	A vizes fázisban lévő szennyezőanyagok (fémek) oldhatatlan vegyületekké alakíthatók (pH beállítás, kémiai kicsapó szerek, koagulánsok), majd fázisszétfaválasztással eltávolíthatók. A szilárd szemcsék méretének növelésével az ülepedés sebessége növelhető (pelyhesítés, flokkuláció).	A keletkezett és elválasztott iszap kezelése az egyéb jogszabályokban előírtak alapján kell, hogy történjen, különös tekintettel a nehézfémekre. Komplex fémvegyületek esetén az alkalmazása nem ajánlott (EDTA, cianidok). Cr (VI) esetén megelőző kezelésre van szükség. A tisztított víz pH-ja, sótartalma és toxikus elem koncentrációja folyamatos monitoringot igényel. Döntően ipari szennyvíztisztításba használt módszer.
2.10. UV oxidáció (UV fotolízis)	Erős oxidálószer (ózon, hidrogén peroxid) és UV sugárzás hatására a szerves szennyezőanyagokroncsolódnak, teljes oxidáció esetén a végtermék széndioxid, víz és különböző sók.	Különösen magas koncentrációjú, illetve kevert szennyezések esetén (végtermék CO₂ és H₂O) az UV fotolízis a teljes oxidációra önállóan nem alkalmas. Meg kell akadályozni és kémiai-analitikai, illetve ökotoxikológiai mérésekkel bizonyítani kell, hogy nem keletkeznek részlegesen oxidált, sok esetben a kiindulási szennyező anyagoknál toxikusabb, környezetegészségügyi szempontból kockázatosabb vegyületek. A szerves illékony komponensek inkább elillannak, mint lebomlanak, ezért a rendszerből távozó gázokat tisztítani kell. A szennyezett talajvíz összes nehézfém tartalma 10 mg/L alatt kell, hogy legyen. A kezelendő folyadéknak az UV fényt jól kell vezetnie, azaz nem lehet zavaros.
3. HŐKEZELÉSES (TERMIKUS ELJÁRÁSOK)		
3.1. Égetés – Forgódobos kemence – Infravörös kemence	Magas hőmérsékleten (870-1200 °C) oxigén jelenlétében történő, sokszor kiegészítő fűtőanyaggal végzett kezelés, döntően	Alkalmazása csak abban az esetben javasolható, ha más, eredményes megoldás nincs, mert a talaj multifunkcionalitása, szerkezete irreverzibilisen megszűnik.

– Ruidágyas kemence – Olvasztóágyas kemence	halogénezett és egyéb nehezen kezelhető, magas koncentrációjú szerves szennyezések ártalmatlanítása céljából.	A keletkező hamu, salak, illetve füstgáz az egyéb jogszabályok előírásai szerint kezelendő, mivel egyrészt a gáz kibocsátás során lebegő részecskék, savképző gázok, illékony fémek (ólom, ón, higany, nem fémes arzén) és tökéletlenül elégett anyagok (pl. PAH, dioxin) keletkezhetnek, másrészt a salakban, hamuban a toxikus elemek jelentősen feldúsulhatnak.
3.2. Pirolízis (hőbontás)	Magas, közepesen magas hőmérsékleten (430 -950 °C, max. 1650 oC) szerves szennyezők megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény, vagy oxigénmentes közegben - esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetése közben, szabályozott körülmények között bekövetkező vegyi lebontása.	Alkalmazása csak abban az esetben javasolható, ha más, eredményes megoldás nincs, mert a talaj multifunkcionalitása, szerkezete irreverzibilisen megszűnik. A hőbontás során gázállapotú, folyékony (olaj, kátrány, szennyezett bomlási víz) és szilárd végtermékek keletkeznek, melyek kezelése a más, hatályos jogszabályok előírásai szerint végzendők. 1 %-os nedvességtartalom alatt alkalmazható, előszárítás szükséges, sok esetben szükséges a talaj egyéb előkezelése (apritás, rostálás, homogenizálás) is.
3.3. Termikus deszorpció	A szennyezett közeg (talaj) melegítésének hatására a víz és a szerves (szennyező) komponensek kipárolognak. Fizikai szétválasztó folyamat, a hőmérséklet és az időtartam függvényében az egyes illékony komponensek kipárolognak, de általában oxidációjuk már nem következik be.	A magas hőmérsékletű termikus deszorpció alkalmazása csak abban az esetben javasolható, ha más eredményes megoldás nincs, mert a talaj irreverzibilisen elveszti szerkezetét, multifunkcionalitását. A keletkező gázok, gőzök (adszorpció, szűrés, katalitikus oxidáció, másodlagos égetés) az egyéb jogszabályok előírásai szerint kezelendők, a tisztított talaj toxikus elem (nehézfém) tartalma vizsgálendő, szükség esetén stabilizálendő, ártalmatlanítandó. Izapos és agyagos talajok esetén nem javasolt az eljárás alkalmazása. Előkezelésként sok esetben a talaj apritása, rostálása, homogenizálása, előszárítása is elvégzendő.
KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLOGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLOGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
4. SZIGETELÉSEK (IZOLÁCIÓS) ELJÁRÁSOK	Fizikai elválasztása a szennyezett, illetve a nem szennyezett közegeknek a szennyező anyagok minimális bolygatásával szennyezést nem szünteti meg, csak a terjedését akadályozza. Általában technológiai sor része.	A szigeteléses technológiák - jellegüknek fogva - nem bontják le, vagy távolítják el a szennyezést, ezért a hosszú távú működés és az integritás kérdése különös jelentőséggel bír. Folyamatos, hosszú távú monitoring minden esetben szükség es. A tervezéskor a kiépítendő műtárgy várható élettartamát is figyelembe kell venni.
4.1. Részfalazás	A részfal függőlegesen mélyített, általában kis szélességű, de a vízzáró réteget elérő, abba bekötött rés, amely vízzáró el egytel (zagy) van kitöltve. A zagy általában bentonit-talaj, bentonit-agyag, bentonit-cement, valamilyen polimer, vagy összetett fóliabetétes, esetleg membrán (HDPE, LDPE, PVC) szerkezetű.	A részfalat a hatáson szigetelés érdekében a vízzáró fektetésgbe min. 1m mélyen be kell kötni. Függő, lebegő (nem bekötött) részal esetén - a talajvíz áramlás akadályoztatása miatt kialakuló esetleges turbulens mozgása következtében - a víznél könnyebb szennyezőanyagok is tovább terjedhetnek. A bentonit töltésű részfalak általában nem képesek erős savaknak, lúgoknak, sóoldatoknak és néhány szerves anyagnak ellenállni. A cementtöltésű részfalak általában nem képesek szerves oldószerek terjedését megakadályozni.
4.2. Szádfalazás	Függőlegesen mélyített, általában acél anyagú fal, amely a szennyezőanyag terjedését megakadályozza.	Önmagában a szádfal nem ad vízzáró szigetelést, ezért csak membrán kiegészítéssel (PVC, HDPE, PE, PP) lehet hatásos. Alacsony pH-jú talajokban ki van téve a korrózióknak, ezért alkalmazása ilyen esetekben körültekintést igényel.
4.3. Hidraulikus szigetelés (gát)	A talajvíz folyamatos, vagy időszakos kitermelésével, nyelésével kialakított depresszió, vagy vízdóm segítségével a szennyezés terjedésének megakadályozása.	Igen alapos hidraulikai felmérést és transzport modellezést igényel, továbbá meg kell győződni arról, hogy beavatkozás nem idézi-e elő a víztartó réteg, vagy a védendő objektum, közeg (pl. ivóvízbázis, felszíni víz) még nagyobb elszennyezését.
4.4. Felső szigetelés (lezáras)	Általában talajvizet nem érő talajszennyezések, hulladéklerakók esetén a felszíni kipárolgást, a fizikai hozzáférhetőséget és a mélyebb rétegekbe mosódást megakadályozó felszíni, vagy felszín közeli vízszintes szíóetelő réteg kialakítása.	A csurgalékvíz elvezetéséről, szükség esetén kezeléséről gondoskodni kell. A lezárt terület környezetében a talajnedvesség, illetve a talajvíz folyamatos monitoringját biztosítani kell.

KÁRMENTESÍTÉSI TECHNOLOGIA	ÉRTELMEZÉS	MEGJEGYZÉS (A TECHNOLOGIÁK ALKALMAZHATÓSÁGI KORLÁTAI, ALKALMAZHATÓSÁGUK KÖRNYEZETI KOCKÁZATAI)
5. GÁZOK, GŐZÖK TISZTÍTÁSÁRA	A talaj- és talajvíz-tisztítási eljárások, különös tekintettel a	

SZOLGÁLÓ ELJÁRÁSOK	sztrippelésre és talajlevegő elszívásra, során keletkező szennyezett levegő tisztítására alkalmas technológiák.	
5.1. Aktívszenes adszorpció	A szennyezett gázok, gőzök átvezetése aktív szénrel töltött szűrőn, melynek során a szennyezőanyagok adszorbeálódnak a tölteten, amely telítődése után regenerálható, vagy ártalmatlanítható.	A szennyezett aktívszén regenerálása és/vagy ártalmatlanítása más, hatályos jogszabályokban előírtak alapján kell, hogy történjen. Dioxinokkal/furánokkal szennyezett aktívszenek regenerálása nehézségekbe ütközhet, ártalmatlanításuk lerakással (megfelelő füstgáz-kezelő esetén égetéssel) történhet. Mindig a szennyezőanyagoknak megfelelő aktívszén kiválasztása javasolt, kevert szennyezés esetén többféle szűrő sorbakötése célszerű. Folyamatos üzem esetén, biztonsági és hatékonysági okokból célszerű több, sorbakötött kisebb térfogatú szűrő használata. 50 % feletti relatív páratartalom és 38 °C-nál magasabb hőmérséklet az aktívszén adszorpciók kapacitását jelentősen csökkenti.
5.2. Oxidáció – termikus (égető) – katalitikus (CuO, MnO ₂ , NiO, GrO, platina, palládium)	A gáz fázisú szerves szennyező komponensek a termikus oxidáció során magas hőmérsékleten (700- 1000°C) eloxidálódnak. A katalizátor alkalmazásával lényegesen alacsonyabb hőmérséklet (320-540°C) is elégleges.	A gázkoncentráció nem haladhat ja meg az alsó robbanásáthatár 25%-át. A füstgáz kibocsátás a más, hatályos jogszabályokban előírtak szerint ellenőrizendő. A nehézfém, a kén és néhány katalizátor esetében a klórozott szénhidrogének jelenléte a katalizátor tönkremeneteléhez vezethet. A halogénezett komponensek bontása speciális katalitikus közeget és gázmosót (tekintettel pl. sósav képződésre), vagy savas gázkibocsátást csökkentő szűrőt igényel.
5.3. Biológiai szűrés (biofilter)	A gáz fázisú szerves szennyező komponensek áthajtása szűrőágyon, ahol a szennyezők időlegesen megkötődnek és biológiai úton lebomlanak.	Rossz méretezés esetén, illetve alacsony hőmérsékleten, mikor a biológiai bontás csökken, vagy megáll, az illékony szennyező anyagok átvezetése történhet a levegőbe. Mikroszkópikus gombák a biofilter szerves anyagait eltömíthetik, kisebb-nagyobb mértékben lebonthatják. A felhasznált oltóanyagoknak (mikroszervezeteknek) az alábbi szabályoknak meg kell felelni: – definiált faji összetételű, – ismert a bontási spektruma (azoknak az anyagoknak a köre, melyeket hasznosítani tudnak), – obligát és fakultatív patogén mikrobáktoi mentes, – a nehézfém, illetve vegyszertűrő képessége ismert, – összevethető az oltás előtt a szűrőközeg várható terhelésévei, – letétbe vannak helyezve, célszerűen a Mezőgazdasági és Ipari Mikroorganizmusok Nemzeti Gyűjteményénél (NCAM). A biológiai szűrés során kiemelten fontos az oltás, a beavatkozás hatékonyságának nyomon követése (pl. a szennyező anyagokat bontó mikrobák számának és összetételének alakulása, a szűrőközeg légzési aktivitása, a szennyezőanyag tartalom mennyiségi és mi nős égi változása), hogy az esetleges pótlólagos intézkedéseket, kiemelten a közeget újraoltását, el lehessen végezni.

Megjegyzés: a táblázatban, a hazai és nemzetközi szakirodalomban meghonosodott szóhasználat miatt, a talajtisztítási módszerek értelemszerűen a teljes földtani közegre értendők.

A (műszaki) beavatkozási szakasz alatt végzett kármentesítési monitoring alapvető feladata a tisztulás folyamatának nyomon követése, ill. annak jelzése, ha az adott (műszaki) beavatkozási technológiák alkalmazása nem vezet a várt eredményekre. Ez utóbbi esetben szükség lehet ezek módosítására, ill. lehetséges, hogy a Felügyelőség a kialakult helyzet értékelésére újabb tényfeltárás elvégzését írja elő. A (műszaki) beavatkozási szakasz lezárásáról a Felügyelőség a kármentesítési monitoring adatai, a hatósági záró mintavételezés és a 219/2004(VII.21.) Korm. rendelet 9. szárnú mellékletében foglalt felépítésű és tartalmú (műszaki) beavatkozási záródokumentáció alapján dönt. A (műszaki) beavatkozási záródokumentációban be kell mutatni a területre vonatkozó alapadatokat, előzményeket, az elvégzett (műszaki) beavatkozás részletes leírását és eredményét, a (műszaki) beavatkozás során üzemeltetett kármentesítési monitoringot és javaslatot kell tenni a (műszaki) beavatkozás hatékonyságát ellenőrző kármentesítési monitoringra (utómonitoringra).

Abban az esetben, ha akárhelyen működő természeti folyamatok vagy a (műszaki) beavatkozás révén a tényfeltárási záródokumentáció elfogadásától számított öt éven belül sem csökken a szennyező anyag koncentráció a (D) kármentesítési célállapot határérték alá, akkor a terület ingatlan-nyilvántartási adataiba be kell jegyezni a **tartós környezeti károsodás tényét**.

A (műszaki) beavatkozás eredményességének megítélésére, a (D) kármentesítési célállapot határérték tartós elérésének bizonyítására szolgál a kármentesítési monitoring utómonitoring szakasza. Az utómonitoringot a kármentesítési célállapot határérték elérését követően legalább négy évig kell végezni. (A kármentesítési monitoringot a tartós környezeti károsodás = tartós környezetkárosodás teljes időtartama alatt folytatni kell.)

A sikeres utómonitoring szakaszt követően a teljes kármentesítés lezárásáról a kármentesítési monitoring záródokumentáció alapján a Felügyelőség dönt. A **kármentesítési monitoring záródokumentációt** a 219/2004. (VII.21.) Korm. rendelet 10. számú mellékletében foglalt formában és tartalommal kell elkészíteni. A kármentesítési monitoring záródokumentáció megállapításai alapján a felügyelőség előírhatja:

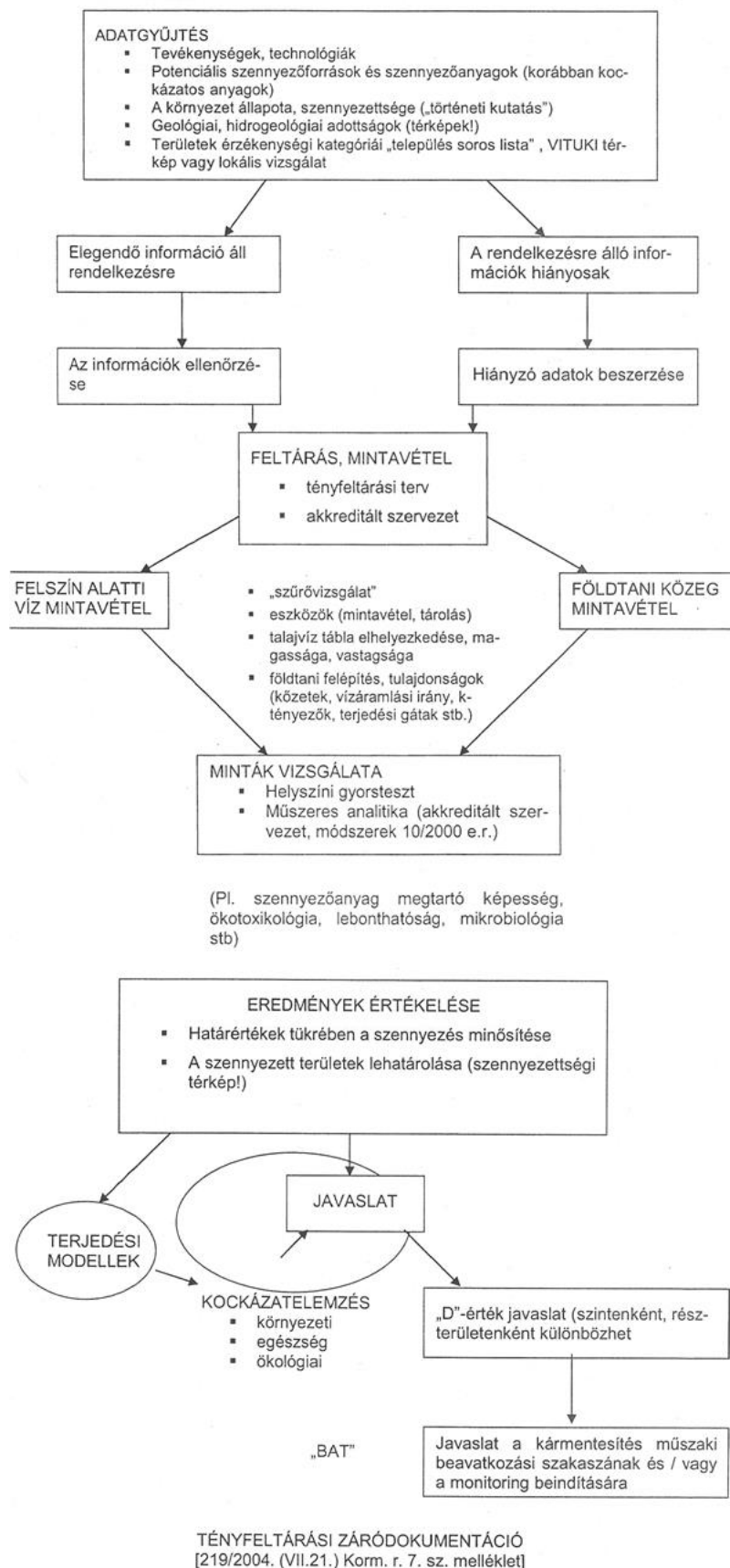
- szükség esetén a tényfeltárás, ill. a (műszaki) beavatkozás további végzését, ill. kiegészítését,
- a monitoring folytatását
- a monitoring befejezését
- a kármentesítés befejezését, ha minden körülmény együttes mérlegelése azt mutatja, hogy további kármentesítési munkára nincs szükség.

A kármentesítés folyamatának fontosabb elemeit a könnyebb áttekinthetőség miatt a **21. ábrán** foglaljuk össze.

Felhasznált irodalom:

Dr. Szoboszlay László, Dr. Kriszt Balázs: Környezeti elemek védelme, Gödöllő, 2008

1. TÉNYFELTÁRÁS + (KÁRMENTESÍTÉSI MONITORING)



21. ábra A tényfeltárás szakaszai, lépései

4. A FELSZÍNI VIZEK VÉDELME

4.1. VÍZTERHELÉS - VÍZSZENNYEZÉS, VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK

A felszíni vizekbe rendszeresen nagy mennyiségű szerves és szervetlen anyag jut be. Ezen anyagok egy része - bizonyos mennyiségi határok között - nélkülözhetetlen a vízi anyagforgalom fenntartásához. Más részük ugyanakkor gátolhatja az élőlénytársulások egyes elemeinek, vagy egészének életműködését, illetve jelentős - az emberi felhasználás szempontjai szerint - kedvezőtlen irányú változásokat eredményez az érintett ökoszisztéma struktúrájában.

A vízbe vezetett, illetve ott termelődő anyagokat az ökoszisztémákra gyakorolt hatásuk alapján a vízi rendszereket terhelő, illetve a vízi rendszereket szennyező anyagokra oszthatjuk. A **vizeket terhelő anyagnak** tekintünk - szűkebb értelemben - minden olyan szervetlen vagy szerves anyagot, amelynek jelenléte az adott ökoszisztéma működéséhez szükséges, illetve amelynek megnövekedett koncentrációját az adott ökoszisztéma fel tudja dolgozni anélkül, hogy fajösszetételében és működésében hosszantartó és lényeges változások következnenek be. Tágabb értelemben a vizekbe jutó minden anyag többlet vízterhelésnek tekinthető. **Vízszennyezésről** akkor beszélünk, ha az adott anyag, vagy anyagok jelenlévő koncentrációja az adott ökoszisztéma valamely elemének vagy egészének létét, illetve minőségét veszélyezteti, illetve annak fajösszetételében és működésében hosszantartó, - a humán felhasználás igényeinek szempontjából kedvezőtlen irányú - és jelentős mértékű változást eredményez.

A két fogalomkör között nem lehet éles és egyértelmű határokat húzni. Hogy valamely anyagot az adott ökoszisztémára nézve terhelőnek, vagy szennyezőnek minősítünk, az igen gyakran az anyag előfordulási koncentrációjától, a környezeti feltételektől, illetve a szubjektív emberi megítéléstől is függ. A foszfor például a biológiai produkció, ezen belül az elsődleges termelés egyik, gyakran elsődleges limitáló tényezője a vizekben. Ebből kiindulva a vizekbe jutó foszfor szűkebb értelemben vízterhelésnek, de nem vízszennyezésnek tekinthető. Különösen igaz ez, ha belegondolunk, hogy a szükcesszió során feldúsuló szervesanyagterhelés révén a tavak foszfor forgalma elve folyamatosan növekszik. Márpedig nehezen lehet szennyezőnek tekinteni egy olyan komponenst, amelynek dúsulása az adott ökoszisztéma "természetes működésének" következménye. A humán hatás következtében hirtelen megnövekedő külső foszfor bevitel továbbra sem mérgezi meg a szervezeteket, éppen ellenkezőleg, a növények - elsődlegesen az algák - azonnali intenzív növekedését váltja ki. Ez önmagában még mindig nem elegendő ahhoz, hogy a foszforra, mint szennyező anyagra gondoljunk. Ha egy adott vízben a foszforterhelés olyan szintet ér el, melynek eredményeként a bizonyos algafajok szélsőségesen elszaporodnak, miközben más alga fajokat és számos egyéb vízínövényt kiszorítva a rendszer diverzitását csökkentik, az ökológiai szempontból már hosszantartó és jelentős változásnak ítéltető, tehát ebben az esetben már szennyezésről is beszélhetünk. Csakhogy nem mindegy, hogy a fenti folyamat egy üdülési célokat szolgáló tóban (például Balaton) vagy egy intenzív hal előállításra szánt halastóban zajlik-e le. Előbbi esetben az algásodás miatt a víz színének a fürdőzők szempontjából kedvezőtlen irányú megváltozása egyértelműen kárt jelent az emberi megítélés szempontjából, tehát a jelenségért felelős foszfort szennyező anyagnak tekinti. Utóbbi esetben viszont a több foszfor nagyobb biológiai produkciót, ebből adódóan nagyobb hal eltartó képességet, azaz nagyobb hasznot jelent. A halgazda számára tehát a foszfor a halastóban nem szennyező anyag, hanem természnövelő

eszköz. A folyamat megítélését ismét megváltoztatja, hogy a foszfor révén jelentősen megnövekedett algaprodukciónak elpusztult szervesanyagának bomlása olyan mértékű oxigén elvonással jár, hogy az aerob szervezetek életfeltételeit veszélyezteti. Ebben az esetben már egyértelműen vízszennyezésről beszélhetünk, melynek kiváltója végső fokon a vízbe jutott hirtelen megnövekedett foszfor.

Itt kell kitérni még röviden az ökológiai egyensúly kérdésére. E gyakran használt fogalom szakmai igényességgel legfeljebb erős korlátozásokkal használható. Az ökológiai rendszerek folyamatos változásban és átalakulásban állnak. Az ökoszisztéma működésének lényege, hogy a környezeti feltételek változására reagálva mindig az adott körülmények között az életfeltételeiket optimálisan megtaláló fajok, illetve társulások kerülnek túlsúlyba. Ennek megfelelően egyensúlyról, vagy inkább valami dinamikus egyensúlyról, maximum adott, változatlan körülmények között beszélhetünk. Ebben az összefüggésben kérdéses az is, hogy mit tekintünk természetes állapotnak. Számos, ma védett "természeti értékünk" egy-két száz évvel ezelőtt végrehajtott gyökeres természet átalakító tevékenység eredményeként jött létre (lásd például a hortobágyi szikes pusztákat, melyek létüket döntően a Tisza 19. századi szabályozásának köszönhetik) Ebből nem az következik, hogy az így kialakult társulásokat nem kellene védeni, pusztán szem előtt kell tartani azt a tényt, hogy a természetes állapot megítélése időről időre eltérő lehet. Az ökológiai rendszereknek a környezeti változásokra adott reakcióit anyagforgalmi, energetikai és evolúciós törvényszerűségek irányítják. A természetben nincsenek kedvező, vagy kedvezőtlen irányú változások. Ez utóbbi kategóriák szubjektív fogalmak, megítélésük pedig mindig az adott hasznosítási céltól függ, tehát ugyanazt a folyamatot különböző szempontok alapján különböző módon ítéldhetjük meg. Igaz ez a vizeket terhelő, illetve szennyező anyagok megítélésére is!

4.1.1. Felszíni vizeket terhelő, illetve szennyező anyagok csoportosítása

Vizeket, terhelő anyagokat (e kategóriába a továbbiakban a szennyező anyagokat is beleértve) az alábbi főbb szempontok szerint csoportosítjuk:

- Rendszerbe jutás módja szerint
- Kémiai jellemzők szerint
- Biológiai jelentőségük szerint.

A továbbiakban röviden áttekintjük e csoportokat.

4.1.1.1. A vízi ökoszisztémába történő bejutás módja szerinti csoportosítás

Eszerint megkülönböztetjük az adott ökoszisztémában keletkező anyagokat, az úgynevezett belső terhelést, valamint a kívülről a rendszerbe jutó anyagokat, melyeket összefoglalóan külső terhelésnek nevezünk.

A külső terhelés állóvizek esetében alapvetően két fő csoportra osztható.

- **Pontszerű bevezetések:** Idetartoznak a tavakat tápláló természetes vízfolyások (ez a bejutási forma elsősorban a nagy vízgyűjtővel rendelkező sekély tavakban meghatározó jelentőségű.), valamint a mesterséges vízbevezetések. Közös jellemzőjük, hogy bár

rendszerint jelentős terhelés forrásai, az ezúton bejutó anyagok mérése és szükség szerinti kontrollálása viszonylag egyszerű feladat, hiszen a bevezetés egy adott, egyértelműen lokalizálható pontra korlátozódik

- **Diffúz terhelés:** Idetartozik a közvetlen 'vízgyűjtő területéről a csapadékkal bemosódó anyagmennyiség, valamint a talajvízből történő beszivárgás. A pontszerű szennyezésekhez képest lényegesen nehezebben kezelhető környezetvédelmi problémát jelenthetnek, mivel nagy területen, nehezen modellezhető eloszlásban, egy adott helyen és időpontban, kis koncentrációban jelenlevő terhelésekről van szó.

4.1.1.2. Kémiai jellemzők szerinti csoportosítás

A hidrobiológiában általánosan alkalmazott disztinkció a vizeket terhelő szerves és a szerves anyagok megkülönböztetése.

A vizek összes szerves anyag terhelésének állapotát leíró tulajdonságcsoporthoz a halobitást tartoztatják. A vizekben található szerves anyagok tápanyagforrásként és vízminőség alakító tényezőként is jelentősek. A természetes vizek gyakorlatilag híg sóoldatok, azaz az oldott komponensek ionos formában vannak jelen. A nagyobb vizek összes só koncentrációja feltűnően állandó (általában 50-500 mg/l). Töményedő vizek esetében előbb a Ca^{2+} , HCO_3^- , majd a SO_4^{2-} ionok kicsapódnak, így uralkodó kationná a Na^+ , anionná a CO_3^{2-} , Cl^- és SO_4^{2-} ionok válnak. Kontinentális sóstavak összes só koncentrációja elérheti a 20 000 mg/l-t is. A tengerek összes sótartalma: 35 000 mg/l körül alakul.

A vizek összes szervesanyag tartalmát legegyszerűbben az elektromos vezetőképesség, vagy az összes oldott ion koncentráció értékével jellemezhetjük.

A vizek **szervesanyag terhelési állapotának** leírására szolgáló kategória a **szaprobítás**. A szerves anyagok tápanyag- és energiaforrást jelentenek a heterotróf szervezetek számára, de emellett jelentős vízminőség-befolyásoló szereppel is bírnak.

A szerves anyagok a vízi ökoszisztémákban történő lebontása oxigén igényes folyamat. Tekintettel arra, hogy biológiailag hozzáférhető oxigén a vizekben csak korlátozott mértékben van jelen, a nagy mennyiségű szervesanyag terhelés oxigén elvonást eredményez, ami enyhébb esetben az oxigén igényes fajok (pl. halak) pusztulását, szélsőséges esetben anaerob viszonyok kialakulását eredményezi.

Tavak belső szervesanyag terhelését elsősorban az eutrofizációs folyamatok eredményezhetik. Az eutrofizáció révén azonban csak egészen szélsőséges esetben képződik annyi szerves anyag, amely az oxigén elvonás révén erősen oxigén szegény állapotot eredményezne. Intenzíven trágyázott, nagy telepítési sűrűségű hipertróf halastavak esetében, magas hőmérséklet esetén a hajnali oxigénhiány eredményezhet halpusztulásokat. Ezért is szokták ezeket a tavakat intenzív keveréssel, vagy levegő befújással levegőztetni.

A külső eredetű szervesanyag terhelés részben kommunális szennyvíz eredetű, de jelentős az állattenyésztési tevékenység révén képződő vizekbe jutó szervesanyag mennyisége is. Különösen a hígtrágyás tartástechnológia jelent komoly kockázatot a befogadó felszíni vizek minőségére.

Az ipari szennyvizek egy része olyan szerves komponenseket is tartalmazhat, melyeket az adott vízben élő szervezetek nem képesek lebontani, vagy amelyek toxikus hatásúak az élővilágra.

Az összes szervesanyag tartalom jellemzésére a vízminőség-védelmi gyakorlatban a kémiai oxigén igény (KOI), illetve a Biológiai oxigén igény (BOI) mérése terjedt el. A KOI meghatározás lényege, hogy a vizsgált minta szervesanyag tartalmát valamilyen erős kémiai oxidáló szerrel roncsolják el. A teljes oxidációhoz felhasznált oxigénfogyást mérik, amely szoros korrelációban áll a mintában található összes kémiailag feltárható szervesanyag mennyiségével. A biológiai oxigénigény meghatározása során ezzel szemben azt vizsgálják, hogy az adott mintában jelenlevő mikroorganizmusok időegység alatt (általában öt nap) mennyi oxigént használnak fel a jelenlevő szerves anyag lebontása során.

A két eljárás közötti elvi különbség az, hogy míg a KOI esetén az összes szervesanyag mennyiségről kapunk információt, addig a BOI a biológiailag lebontható szervesanyag mennyiségét jellemzi. Teljes értékű információt a két érték együttes alkalmazásával nyerhetünk. Különösen fontos ez például biológiai szennyvíz tisztítók üzemeltetése esetén, melyekben a szervesanyag lebontást aerob mikroorganizmusok biztosítják. Abban az esetben, ha egy a szennyvíztisztító biológiai fokozatára vezetendő sarzs vizsgálata során egy magas szervesanyag tartalomra utaló KOI érték mellett egy alacsony BOI₅ értéket mérünk, biztosra vehető, hogy a kérdéses tétel vagy biológiailag nem bontható, vagy a lebontó szervezetekre nézve toxikus hatású. Az ilyen jellegű szennyvíz biológiai tisztítóban nem kezelhető.

4.1.1.3. Biológiai hatás szerinti csoportosítás

A vizekben található anyagokat biológiai szerepük alapján tápanyagokra, illetve az életfolyamatokra gátlóan ható mérgező anyagokra bonthatjuk.

Trofitás, eutrofizáció

Tápanyagok közül a heterotróf szervezetek számára táplálékot jelentő szerves vegyületekkel feljebb már foglalkoztunk.

A növények számára a különféle ásványi anyagok jelentenek tápanyagot. A növények megfelelő tápanyagellátása a teljes biológiai produkció alapja, hiszen - néhány produkció-biológiai szempontból elhanyagolható kivételtől eltekintve - minden más szervezet csak a fotoszintetizáló növények által megtermelt szerves anyagot képes hasznosítani. Az élőlények formált szervesanyag termelő képességét a **trofitás** fogalmával jellemezzük. A trofitás szűkebb értelemben a növényi produkció mértékét írja le. A csekély növényi produkcióval jellemző vizeket oligotrófnak, a közepes produkciójúakat mezotrófnak, míg az intenzív növényi produkcióval (elsősorban algatermelő képességgel) rendelkezőket eutrófnak nevezzük. A szélsőségesen eutróf vizek (Jellemzően intenzív halastavak) esetében használt a hipertrófia fogalma. Oligotróf vizek általában a bányavizek, hiszen ezekben a rövid életkor miatt még csekély a rendelkezésre álló tápanyag mennyiség. A Balaton az 1980-as 90-es években egységesen eutróf víznek minősült. Napjainkra a tó legkevesbé algásodott NY-i medencéje a

július-augusztusi időszakot eltekintve ismét javuló, a mezotrófia felé hajló algásodási mutatókkal rendelkezik.

Az állóvizeknek a megnövekedett növényi tápanyagtartalom hatására bekövetkező intenzív növényi (döntően alga) produkcióban megtestesülő szervesanyag termelő képességét nevezzük eutrofizálódásnak, illetve magát a folyamatot **eutrofizációnak**.

Az eutrofizáció minden állóvíz természetes tulajdonsága, melyet alapvetően az azokban zajló szukcessziós folyamatok generálnak. Gyakorlati szempontok alapján ugyanakkor igen lényeges különbség van az évszázadok, évezredek alatt lezajló természetes eutrofizáció és az emberi tevékenység eredményeként hirtelen, akár évtizedek alatt lezajló humán eredetű eutrofizáció között, Köznapi értelemben eutrofizáció alatt ez utóbbi kategóriát értik.

Az eutrofizáció következményeként számos, általában negatívan megítélt hatás jelentkezik. Így például csökkenti a vizek idegenforgalmi, fürdési értékét; növeli a vizek szervesanyag terhelését, ezáltal oxigén hiányt okozhat; gyorsítja a tavak feltöltődési folyamatait.

Ugyanakkor a megnövekedett produkció növeli a vizek haleltartó képességét, ezért például halastavak esetében nem tekinthető feltétlenül káros folyamatnak.

Az eutrofizációs folyamatok folyóvizekben általában a fény-, míg állóvizek esetében többnyire a növényi tápanyagellátás, ezen belül is a foszfor rendelkezésre állása által limitáltak. Ez azt jelenti, hogy állóvizekben a hirtelen bekövetkező eutrofizációt az esetek döntő többségében a foszfor terhelés növekedése eredményezi. Az eutrofizáció ütemének csökkentése, illetve a vizek trófikus állapotának javítása érdekében különösen fontos a foszfor terhelés csökkentése. Ez külső terhelés esetén a kommunális szennyvízhálózat kiépítésével, a kommunális szennyvíztisztítóknál foszfor leválasztó egységek telepítésével, illetve jelentős foszfor visszatartó hatású biológiai tisztítórendszerek alkalmazásával valósítható meg. A belső foszfor terhelés csökkentésére az üledék felső részének kotrása jöhet számításba. Ez esetben azonban problémát jelent a kitermelt üledék környezetvédelmi szempontból megfelelő további kezelése.

Toxicitás

A vizek toxicitása alatt az adott víznek, illetve a benne jelen levő szerves, illetve szerves anyagoknak az élő szervezetekre gyakorolt mérgező hatását értjük. A toxikológia, s ezen belül a víz-toxikológia rendkívül kiterjedt önálló tudományterület, részletes tárgyalása nem e jegyzet feladata. Az alábbiakban néhány toxikológiai alapfogalom megismerésére és a vizekben előforduló fontosabb toxikus komponensek áttekintésére szorítkozunk.

Az egyes toxikus komponensek önállóan, vagy más komponensekkel együttesen a mérgezésnek az enyhe növekedés, vagy reprodukciós képesség korlátozóistói, a különféle életfolyamatok részleges gátlásán keresztül az azonnali elhulláshoz vezető széles skáláját okozhatják. Azokat a toxikus jelenségeket melyek az életfolyamatokat károsan befolyásolják, de nem eredményeznek azonnali halált sublethalis hatásoknak nevezzük.

Az állományok jelentős részének rövid időn belüli elhullását kiváltó toxikus hatás esetén akut lethális toxicitásról beszélünk.

A sublethalis koncentrációban jelenlevő toxikus komponensek a táplálékhálózatba bejutva az élő szervezetek - elsősorban a másodlagos és harmadlagos fogyasztói szinteken álló fogyasztók szervezetében felhalmozódhat. Ez a folyamat a **bioakkumuláció**. A bioakkumuláció során feldúsuló toxikus komponens a lethalis dózis értéket elérve az adott egyed elhullásához vezethet. További problémát jelent, ha az akkumuláló szervezetek (vízi rendszerek esetében legtöbbször halak) maguk is tápláléklul szolgálnak az ember számára, ilyen módon immár közvetlen humán-egészségügyi kockázatról beszélünk.

A toxicitás mértékét két alapvetően eltérő megközelítésből kiindulva vizsgálják. Az egyik esetben azt vizsgálják, hogy az adott komponens milyen koncentráció érték mellett vált ki sublethalis, illetve lethalis hatást (LC_{50} , illetve LD_{50}) tesztek, illetve milyen mértékben hajlamos az élő szervezetekben történő felhalmozódásra (statikus és dinamikus bioakkumulációs tesztek). Egyebek mellett az ilyen jellegű vizsgálatok alapján kerülnek meghatározásra az egyes vízszennyező komponensek felszíni vízbe ereszhető határkoncentráció értékei. Az ilyen típusú vizsgálatok során analitikai módszerekkel méri az adott komponensnek az ökoszisztéma különböző elemeiben, vagy az egyes szervezetek különböző testrészeiben található mennyiségét, illetve rögzítik az adott koncentrációhoz tartozó biokémia folyamatokat, illetve az egyedek pusztulási szintjét.

A másik megközelítés nem egyenként vizsgálja a jelenlevő komponensek hatását, hanem arra kíváncsi, hogy az életközéget biztosító víz a benne található összes komponenssel együtt, mint komplex mátrix, gyakorol-e hatást a különféle vízi szervezetek életfeltételeire, s ha igen milyen mértékű ez a hatás. Ez utóbbi kategóriába tartoznak az ökotoxikológiai tesztek. E vizsgálatok keretében általában valamilyen jellemző élőlénycsoport szolgál a teszt alanyául, Vízi rendszerek esetében zöldalgákkal (*Scenedesmus* sp.), ágas csápú rákokkal (*Daphnia* sp), és halakkal (guppi, vagy pisztráng) szokták elvégezni e vizsgálatokat. A teszt során azt vizsgálják, hogy eredeti töménységben, illetve egy ismert hígítási sor mentén hígítva időegység alatt a teszt-szervezetek hány százalékát pusztítják el a vizsgált mintában levő (nem ismert összetételű és koncentrációjú) összetevők.

- Olyan esetekben, amikor az elsődleges kérdés, hogy egy adott víz rendelkezik-e vagy sem valamilyen toxikus tulajdonsággal, az ökotoxikológiai vizsgálatok néhány igen jelentős előnnyel rendelkeznek a klasszikus analitikai kémiai megközelítésű vizsgálatokkal szemben. Amennyiben nagyszámú szerves és szervetlen szennyező komponens jelenléte feltételezhető a vízben, (pl. vegyipari szennyvizek, hulladéktárolók csurgalékvizei és egyéb komplex szennyezések) gyakorlatilag lehetetlen valamennyi komponens, valamint ezek összes lehetséges intermedierjének és bomlástermékének analitikai vizsgálatát elvégezni.
- További előny az ökotoxikológiai megközelítés mellett, hogy azon rendkívül alacsony koncentrációban is toxikus anyagok jelenlétét is kimutatja, melyek analitikai detektálása nem lehetséges.
- Végezetül az ökotoxikológiai tesztek viszonylag kis költségigényűek szemben a klasszikus műszeres analitika általában nagyon költséges berendezés igényével.

Abban az esetben, ha valamely oknál fogva lényeges a toxikus hatást kiváltó komponens pontos ismerete, természetesen nem kerülhető el a műszeres analitika. Ez a nem fémes szervetlen komponensek esetében fotometria, vagy titrimetria, a fémes szennyezők esetében

ICP, vagy atomadszorpciós spektroszkópia, szerves komponensek esetében pedig gáz-, illetve magas nyomású folyadék-kromatográfia, illetve az ezekkel kombinált tömeg spektroszkópia alkalmazását jelenti.

4.2. A FELSZÍNI VIZEK VÉDELME NEK JOGI ALAPJAI

Felszíni vizek védelmével kapcsolatos legfontosabb rendelkezéseket 2006. januári állapot szerint a következő főbb jogszabályok tartalmazzák:

- 1995. évi LIII. tv. a környezet védelméről
- 1995. évi LVII. tv. a vízgazdálkodásról
- 220/2004. (VII.21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
- 221/2004. (VII.21.) Korm. rendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól
- 204/2001. (X.26.) Korm. rendelet a csatornabírságról (2006. július 1-jével hatályát veszti, rendelkezései a 2005. december 31-ig lefolytatott ellenőrzésekre, és bírságolásokra alkalmazandók)
- 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól

4.2.1. A felszíni vízvédlem alapelvei

A vonatkozó jogi szabályozás többszintű rendszerként épül fel, a törvényben rögzített kötelezettségek kormány-, illetve szakminiszteri rendeletek általi lebontásával, és a részletszabályok rögzítésével.

Az 1995. évi LIII. törvény víz védelmére vonatkozó előírásai kiterjednek a felszíni és felszín alatti vizekre, azok készleteire, minőségére és mennyiségére, a felszíni vizek medrére és partjára, a víztartó képződményekre és azok fedőrétegeire, valamint a vízzel kapcsolatosan - jogszabályban vagy hatósági határozatban - kijelölt megkülönböztetett védelem alatt álló (védett) területekre.

A vizek igénybevételét minden esetben a törvényben rögzített általános környezeti célkitűzések teljesítésevei kell megszervezni. A vízviszonyokba történő minden beavatkozás során biztosítani kell, hogy:

- a víz, mint tájalkotó tényező fennmaradjon,
- a vízi és vízközei, valamint a felszín alatti víztől közvetlenül függő szárazföldi élőhelyek és élő szervezetek fennmaradásához szükséges feltételek, valamint
- a vizek hasznosíthatóságát biztosító mennyiségi és minőségi körülmények ne romoljanak,
- a felszíni és felszín alatti vizek jó állapota a külön jogszabály szerinti környezeti követelmények teljesítése révén megvalósuljon.

A törvényben megfogalmazott követelmények elérését és betartását szolgáló eszközök a következők szerint foglalhatók össze:

1. Intézkedési tervek, programok készítése (vízgyűjtő-gazdálkodási terv), valamint a vízvédelmi követelmények figyelembe vétele egyéb tervezések és programok, szabályzatok készítése esetén.
2. Engedélyeztetési, bejelentési, jelentéstételi kötelezettségek rögzítése, a vizek állapotára hatással lévő létesítmények, tevékenységek vonatkozásában.
3. Határértékek megállapítása, a vízkészlet minőségi védelmében biztosítására, és a tényleges kibocsátások különböző eszközökkel (önellenőrzés, helyszíni ellenőrzés) történő ellenőrzése.
4. Hatósági kontroll hoz kapcsolódó szankciórendszer: csatornabírság, vízszennyezési bírság, vízvédelmi bírság, mulasztási bírságok, valamint egyéb hatósági eszközök, pl. tevékenység végzésének megtiltása, vagy korlátozása.
5. Gazdasági eszközök, elsődlegesen a víz mennyiségi védelmével összefüggésben vízkészlet-járulék, érdekeltségi hozzájárulás, illetve vízdíj fizetési kötelezettség rögzítése
6. Állami kizárólagos tulajdon fenntartása egyes jelentős víztestekre, képződményekre, és létesítményekre, pl. Balaton (Kis-Balaton), Fertő-tó, Hévízi-tó, Velencei-tó.
7. Az önkormányzatoknak átadott vizek, és vízi létesítmények, vízközművek önkormányzati törzsvagyonban tartása.
8. A vízvédellemmel összefüggő állami feladatok ellátásához szükséges pénzeszközök, és egyéb - műszaki, személyi - feltételek, valamint a preferált célok elérésére pályázati és támogatási lehetőségek biztosítása.

4.2.1.1. Intézkedési tervek, programok készítése a felszíni vizek védelme érdekében

1. A vízgyűjtő-gazdálkodás tervezésére vonatkozó feladatokat a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól szóló 221/2004. (VII.21.) Korm. rendelet tartalmazza.
Ezen kormányrendelet előírásai alapján - a Nemzeti Környezetvédelmi Programmal összhangban - első alkalommal 2009. december 22-ig vízgyűjtő-gazdálkodási tervet kell készíteni, amely tartalmazza a vizek állapotára hatással bíró tevékenységek és beavatkozások bemutatását, a hatások elemzését a vizek jó állapotának elérése érdekében tett, és teendő intézkedéseket, programokat, beleértve a vizek állapotának jellemzéséhez szükséges monitoring programra vonatkozó rendelkezéseket.
A vízgyűjtő-gazdálkodási tervet az ország egész területére, ezen belül a Duna közvetlen, a Dráva, a Tisza, és a Balaton részvízgyűjtőin 17 vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési részegységre egységes tartalommal kell összeállítani. A vízgyűjtő-gazdálkodási terv elkészítéséről - az illetékes hatóságok közreműködésével - a környezetvédelmi és vízügyi miniszter gondoskodik; az országos szintű tervet - a környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságok által készített anyagok alapján - a Vízügyi Központ és Közgyűjtemények állítja össze.
A terv egyes részegységeinek elkészítésére a jogszabály különböző határidőket ír elő: a víztestek kijelölését, és jellemzésük rögzítését 2004. december 22-ig, míg a célok megvalósítását szolgáló intézkedési programot a teljes terv elkészítésre megadott határidőig, vagyis 2009. december 22-ig kell összeállítani.
2. A 220/2004. (VII.21.) Korm. rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásának kiküszöbölésére, illetve csökkentésére országos szennyezés-csökkentési intézkedési terv

kidolgozását írja elő a környezetvédelmi és vízügyi felügyelőségek részére, a természetvédelmi, közegészségügyi, és talajvédelmi hatóságok, valamint az érintett önkormányzatok és vízhasználók véleményének figyelembe vételével.

A vízgyűjtő-gazdálkodásra vonatkozó, átfogó terv készítésén túl a célok megvalósítása érdekében lényeges továbbá, hogy a vizek védelmére vonatkozó környezeti célkitűzések az egyéb az országos és regionális, társadalmi, gazdasági, programokban, tervekben (pl. helyi környezetvédelmi programok, helyi építési szabályzatok, stb.) is érvényesítésre kerüljenek. Az erre vonatkozó kötelezettséget szintén a 220/2004. (VII.21.) Korm. rendelet rögzíti.

4.2.1.2. Engedélyezési, és bejelentési kötelezettségek

Ezen jogi eszköz leglényegesebb eleme a vízjogi engedélyezési kötelezettség széles körű előírása. Ennek értelmében a hatályos előírások szerint vízjogi engedély szükséges a vízimunka elvégzéséhez, illetve vízilétesítmény megépítéséhez, átalakításához és megszüntetéséhez (létesítési engedély), továbbá annak használatbavételéhez, üzemeltetéséhez, valamint minden vízhasználatához (üzemeltetési engedély). Előbbiekén túl elvi vízjogi engedély kérhető a vízjogi engedélyezési kötelezettség alá tartozó vízhasználat, vízimunka és vízilétesítmény műszaki tervezéséhez.

A vízjogi engedélyt az illetékes vízügyi hatóság az előírt feltételek megléte esetén csak abban az esetben adhatja ki, ha a vízilétesítmény, a vízimunka, illetve a vízhasználat:

- nem veszélyezteti a vízkészlet védelméhez fűződő érdekeket,
- megfelel az érvényes vízgazdálkodási, műszaki és biztonsági szabályoknak, valamint a vízháztartás, vízminőség, felszín alatti és felszíni vizek védelmével összefüggő egyéb szabályozásnak,
- új vízjogi engedély csak abban az esetben adható ki, ha az engedélyesek számára a szükséges vízmennyiség biztosítható.

Amennyiben a létesítés, vagy átalakítás engedély nélkül történt, a hatóság a vízi létesítményre az üzemeltetési engedély kiadását megtagadhatja, vagy fennmaradási engedély kiadása mellett az engedélyest bírság megfizetésére kötelezi.

4.2.2. Határértékekhez kapcsolódó szabályozás

Az erre vonatkozó, a vizek minőségi védelmét szolgáló rendelkezéseket a 220/2004. (VII.21.) Korm. rendelet, valamint a 28/2004. (XI.25.) KvVM rendelet tartalmazza. A jogszabályok hatálya a felszíni vizekbe való közvetlen, valamint a közcsatornán keresztül történő, közvetett bevezetésekre egyaránt kiterjed.

A vonatkozó jogszabály előírásai szerint tilos a felszíni vizekbe, illetve azok medrébe bármilyen halmazállapotú, vízszennyezést okozó anyagot juttatni, az engedélyezett vízilétesítménye által bevezetett, határértéknek megfelelő, ill. határérték alatti, a rendelet szerint engedélyezett kibocsátások kivételével.

A vízszennyező anyagok listáját a rendelet 1. számú melléklete tartalmazza, amely a szennyező anyagokat különböző szempontok szerint csoportosítja. Ezek közül egyes anyagok

kibocsátását a jogszabály tiltja, illetve egyes anyagok esetében (1. lista szerinti vízszennyező anyagok, elsőbbségi veszélyes anyagok) a kibocsátás technológiák fejlődésével párhuzamos, fokozatos megszüntetését írja elő.

A vízszennyező anyagok vonatkozásában a jogszabály a következő kibocsátási határértékeket különbözteti meg.

1. Technológiai határérték:

A technológiai határérték az egyes gazdasági, háztartási, település-üzemeltetési tevékenységek általi szennyvíz kibocsátásra a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 1. számú melléklete szerint megállapított vízszennyező anyag kibocsátási koncentráció, vagy fajlagos kibocsátási érték.

2. Területi határérték:

Vízszennyező anyag közvetlen bevezetésére a vízminőség-védelmi területi kategóriák alapján, a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete szerint megállapított kibocsátási koncentráció érték.

3. Egyedi határérték

Közvetlen bevezetés esetén, az illetékes felügyelőség által, egy adott szennyező anyagra vonatkozóan megállapított, ideiglenes bebocsátási koncentráció érték.

4. Küszöbérték:

Közcsatornába bocsátható szennyvíz szennyezőanyag-tartalmának a mértéke.

A 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet mellékleteiben meghatározott kibocsátási határértékeket - amennyiben a befogadó állapota egyedi intézkedést nem igényel - a jogszabály hatálybalépésekor meglévő létesítményeknek fő szabályként 2010. december 31-ig kell teljesíteni. Ezen ún. türelmi idő alatt kell felkészülnie a kibocsátónak, hogy a jogszabály által előírt határértékeket teljesíteni tudja. A türelmi idő alatt a vonatkozó bírságok csökkentett mértékben kerülnek kiszabásra.

Az adott tevékenység folytatásához a kibocsátó számára a kibocsátási határértéket a felügyelőség határozatban (szakhatósági állásfoglalásban) állapítja meg, a technológiai és a területi határértékek figyelembe vételével. A kibocsátási határértéket fő szabályként arra a pontra kell alkalmazni, ahol a kibocsátott szennyező anyag elhagyja a vízszennyező forrást, illetve közvetett bevezetés esetében a szennyvíztisztító teleptisztító képessége figyelembe vehető.

A határértékek betartásának ellenőrzése elsődlegesen az önellenőrzési rendszer keretein belül történik, illetve a szennyvízkibocsátásokat a hatóság, közcsatornára bocsátás esetén pedig a vízközművet üzemeltető szolgáltató helyszíni ellenőrzéssel egybekötött mintavételezéssel is ellenőrizheti.

Az önellenőrzés lényege, hogy az önellenőrzésre kötelezett egy előzetesen összeállított, és a felügyelőség által jóváhagyott önellenőrzési terv alapján meghatározott időszakonként méréseket, és vizsgálatokat végez, az eredményeket - a kibocsátási határértékek figyelembe vételével - kiértékeli, és azt megküldi az illetékes hatóság részére. Az önellenőrzési jelentés a

hatóság részéről szükséges további intézkedések (ellenőrzés, bírság kiszabása, stb.) alapjául szolgál.

Az önellenőrzési kötelezettségek nem teljesítése külön jogszabály szerinti vizsgálat elvégzésének kötelezettségét, illetve bírságfizetési kötelezettséget von maga után.

4.2.3. Szankciórendszer és egyéb gazdasági eszközök

A jogszabályban rögzített előírások be nem tartása esetén a hatóságnak

- csatornabírság,
- vízszennyezési bírság,
- vízvédelmi bírság.

megállapítására van lehetősége, a jogszabályban rögzítettek szerint.

A bírság kiszabásán túl egyes kötelezettségek nem teljesítése esetén a hatóság a tevékenység folytatását korlátozhatja, vagy megtilthatja.

A vízhasználó a vízjogi létesítési, üzemeltetési engedélyben lekötött, vagy engedély nélkül felhasznált, az üzemi fogyasztó a ténylegesen igénybe vett vízmennyiség után vízkészletjárulékot köteles fizetni.

4.3. RENDKÍVÜLI VÍZSZENNYEZÉS

A vízminőség-védelem általános feladatainak tárgyalásánál megállapítottuk, hogy a vízvédelmi tevékenység a vizek rendszeres vizsgálatát, értékelését és minősítését, a vízminőség szabályozását és a rendkívüli szennyezések elleni védekezést foglalja magába. A továbbiakban ez utóbbi a vízminőségi kárelhárítás témakörével foglalkozunk.

Rendkívüli (váratlan) vízszennyezésnek nevezzük klasszikus értelemben a felszíni és felszín alatti vizek minőségi állapotát, öntisztuló képességét, valamint felhasználásra való alkalmasságát károsítja vagy veszélyeztető ártalmak összességét.

A felszíni vizek minősége védelmének szabályairól szóló 220/2004. (VII 21.) Korm. rendelet értelmezése szerint rendkívüli vízszennyezés: üzemszerű működésen kívülálló okból (műszaki meghibásodás, gondatlan kezelés, baleset) bekövetkező vízszennyezés, illetve a közcsontra károsítása szennyezése, továbbá, ha a felszíni víz, közcsontra szennyezése nem szennyvízzel történik.

A rendkívüli vízszennyezések bekövetkezése több okra vezethető vissza. Leggyakrabban:

- valamely potenciális szennyező forrás műszaki hibája, gondatlan kezelése,
- baleset vagy természeti tényező,
- szándékos károkozás,
- országhatáron túlról érkező szennyezés állnak a háttérben.

A rendkívüli vízszennyezés fogalomkörébe kell sorolni még a bármely okból bekövetkező rendkívüli vízminőség romlás (így a kedvezőtlen hidrometeorológiai viszonyok következtében kialakuló vízminőség változást is), amely káros hatással lehet a vízi élővilágra, a természeti környezetre, vagy a vízhasználatokat veszélyezteti.

A rendkívüli szennyezések először az üzemi létesítményekben (belső csatornarendszer, tisztító) okoznak kárt. Ha az üzemi kárelhárítás nem eredményes a szennyezőanyag bejut a felszíni, felszín alatti befogadóba, ahol a vízminőség romlása, használati értékének csökkenése, a vízi élővilág pusztulása révén újabb károk keletkeznek. A továbbiakban már a szennyezett víz okoz károkat az ivó, ipari és mezőgazdasági vízhasználatokban.

A rendkívüli szennyezések jelentőségét mutatja, annak előfordulási gyakorisága, mértéke¹.

4.4. A VÍZSZENNYEZÉSEK ÉSZLELÉSE, FELDERÍTÉSE

4.4.1. Vízminőségi figyelőszolgálat

A felszíni vizek rendkívüli szennyezését, ill. bármely abból bekövetkező vízminőség romlását elsősorban a vízminőségi figyelő hálózat észleli és jelzi a Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (KÖVIZIG) valamint a Környezetvédelmi Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (KTVF) felé. A figyelő hálózat elsősorban vízügyi dolgozókból (gátőrök, mederőrök, vízmű kezelők, szennyvíztelep kezelők stb.) és társadalmi aktivistákból (lakosság, horgászok, független zöld szervezetek) áll, olyan emberekből, akiket a munkájuk vagy kedvtelésük a vízhez köt.

4.4.2. Vízminőségi monitoring

A vízfigyelés és szennyezés-felderítés egyik legfontosabb eszköze a vízminőségi monitoring. Ezek a meghatározott gyakorisággal végzett felszíni vizek megfigyelését és állapotértékelését szolgáló vízminőség-ellenőrző vizsgálatok és a nemzetközi, ún. határvízi vizsgálatok, melyet a KTV Felügyelőségek laboratóriumai végeznek. Legmegbízhatóbb észlelő eszköz a folyamatos üzemű automatikus vízminőség-mérő és riasztó állomás².

A kárelhárítás sikerének alapja a gyors észlelés és az észlelt jelenség azonnali bejelentése az intézkedő szervezetek felé. Ugyanis a szennyezés és a kártételek bekövetkezése között rövid idő áll rendelkezésre a szükséges intézkedések megtételére. Legeredményesebben a szennyezés

¹ 1990-ben például 178 rendkívüli szennyezés történt felszíni vízfolyásokon. Ebből hazai eredetű volt 164, míg a határvizeken 14 esetben fordult elő külföldről érkező szennyezés. A szennyezőanyagot vizsgálva megállapítható, hogy legnagyobb számban a kőolajszármazékok (71 esetben) fordultak elő. Ezt követte az ipari szerves- (19 eset) és szervetlen anyag (12 eset). Kommunális eredetű szennyezés 8 esetben, rothadó képes szerves anyag 15 esetben, növényvédőszer 3 esetben, hígtrágya 3 esetben, ammónium 2 esetben, biológiai túlprodukció 8 esetben, kedvezőtlen hidrometeorológiai körülmények 22 esetben okoztak rendkívüli szennyeződést, ill. vízminőség romlást, 13 esetben a vizsgálat időpontjában már nem lehetett azonosítani a szennyező anyagot. Laboratóriumi vizsgálattal egybekötött helyszíni szemlére 147 alkalommal került sor, 121 esetben pedig védekezésre is szükség volt a további kártételek megelőzése érdekében. A 70-es években ennél jóval gyakrabban történtek rendkívüli szennyezések.

² Ilyen automatikus monitorállomások létesültek a Tisza vízgyűjtőn három vízfolyás határszelvényében: a Hemádon Hernádszurdoknál, a Szamoson Csengemél és a Berettyón Pocsajnál. A folyamatosan üzemelő három automatikus vízminőség-mérő- és riasztó monitorállomás rendszerben működik. Az Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségen működő Rendszertközpont informatikai rendszere biztosítja az állomások adatainak automatikus- vagy esetenkénti lekérdezését, azok táv- vagy kézi üzemmódú vezérlését, az adatok megjelenítését, elemzését és archiválását. A rendszer a mért adatok jelentős mértékű növekedése esetén, a riasztási küszöbérték meghaladása esetén „alarm” jelzést küld a rendszergazdának. (A monitoring rendszer részletes leírását a 3. A vizek minősége fejezet tartalmazza.)

helyéhez legközelebb lehet védekezni. Így az időtényező mind az észlelés mind a riasztás és mozgósítás szempontjából döntő jelentőségű.

4.5. EGYES VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK VISELKEDÉSE ÉS HATÁS-MECHANIZMUSA

A rendkívüli vízszennyezést okozó anyagok változatossága indokolja, hogy röviden megismerjük a viselkedésüket és hatásmechanizmusukat, elsősorban az alkalmazható védekezési technológiák szempontjából.

Mechanikai (úszó, lebegő) szennyezések:

- ásványolaj és származékai,
- települési hulladékok,
- papíripari (cellulózipari) rostos hulladékok,
- fermentáló üzemek cefréje,
- elhalt növényi és állati eredetű anyagok (halhulla, békalencse, fonalas gomba),
- bőripar szilárd hulladékai,
- csapadék által bemosott hordalék, bányameddő.

Oldott szennyezések:

- biológiailag könnyen bontható szerves anyagok,
 - élelmiszeripari szennyvizek,
 - állattartó telepek szennyvizei (hígtrágya, trágyalé);
- biológiailag nehezen bontható szerves anyagok,
 - egyes ásványi olaj származékai,
 - detergensek,
 - szulfit-szennylég,
 - szerves vegyipari szennyvizek;
- toxikus anyagok,
 - növényvédőszeres,
 - nehézfémek,
 - cianvegyületek,
 - patogén mikroorganizmusok;
- szervesetlen anyagok,
 - szervesetlen vegyipari szennyvizek,
 - foszfor és nitrogén vegyületek, (műtrágyák),
 - savak,
 - lúgok,
 - sók,
 - gázok (ammónia, kénhidrogén);
- hőszennyezés (erőműi hűtővizek).

4.5.1. Mechanikai (úszó, lebegő szennyezések viselkedése, hatásmechanizmusa)

A mechanikai úszó szennyező anyagok viselkedése és hatásmechanizmusa az olaj és olaj származékok példáján jellemzően mutatható be. A különböző szénhidrogén származékok legfontosabb fizikai tulajdonságait (melyek a védekezési technológia kiválasztásához szükségesek) az alábbi **4. táblázat** foglalja össze.

A vízfelszínre kikerülő olaj gyorsan szétterül és vékony filmszerű réteget alkot. Tiszta vízben 0,2 mm-nél vékonyabb hártává vékonyodik. Az olajréteg még szemmel érzékelhető legkisebb vastagsága kb. $4 \cdot 10^{-5}$ mm, amit 1 km² felületre számítva 40 liter olaj is okozhat.

4. táblázat Szénhidrogén-származékok sűrűsége és kinematikai viszkozitása.

Szénhidrogén-származék	Sűrűség		Kinematikai viszkozitás 10 ⁻⁴ m ² /s
	°C	kg/m ³	
Benzin	-3	680-750	0,05
	20		0,022
	100		0,009
Gázolaj	20	770-800	0,062
	50		0,023
Petróleum	20	790-820	0,026
Tüzelőolaj	20	860-900	0,012-0,14
Kenőolajok (MM MDA, motorolaj)	20	900-930	0,35-1,05
	150		0,02
Nyersolajok: Magyarország	50	810-950	0,02-2,3
Víz	10	999	0,013

Az olaj szennyezés vízbe jutásának pillanatában megkezdődnek azok a folyamatok, melyek hatására a felszínen úszó olaj mennyisége állandóan csökken. Megkezdődik a könnyű frakciók párolgása és oldódása a vizes fázisban. Kémiai reakciók hatására az olaj összetevői vízben oldódó vegyületekké alakulnak. A hullámozás és egyéb vertikális irányú vízmozgások hatására az olaj egy része lebegőanyagokhoz kötődik (adszorbeálódik), valamint a vizes fázissal emulziót képez. Az olajok lebegőanyaghoz való adszorpciójának sebessége nagyobb, mint az onnan történő lebomlásé, emiatt a vizes fázisba került olaj szennyezés legnagyobb része a lebegőanyaghoz kötötten található.

Az ásványolaj káros hatása a vízfelszín lezárásában, a légköri oxigén és napfény vízbe hatolásának megakadályozásában rejlik. A halak kopolyájára ragadt olaj, fulladást okoz.

Az olaj íz- és szagrontó hatása a felszíni vízkivételeket, vízhasználatokat is veszélyezteti. Például 1 liter gázolaj 1 millió liter vizet képes ihatatlanná (élvezhetetlenné) tenni.

4.5.2. Oldott szennyezések viselkedése, hatásmechanizmusa

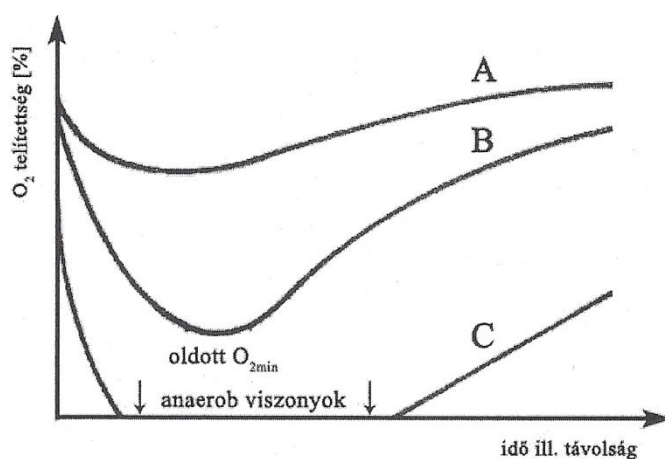
Az oldott szennyezések hatását az oldott oxigén hiányt okozó és túlnyomóan szerves vegyületeket tartalmazó anyagok viselkedésén keresztül jóllehet szemléltetni.

Ha a felszíni vizeket biológiailag könnyen bontható, magas szerves anyag tartalmú szennyezés éri, akkor az a víz oldott oxigén tartalmát fokozatosan elvonja, legrosszabb esetben teljes mértékig felemészti. (Ez egyébként a víz természetes öntisztulási folyamata.)

Amíg a vízbe jutó szerves anyagok bontásához szükséges oxigén elvonás és a levegőből diffúzió útján a vízbe beoldódó oxigén, valamint a fotoszintetikus oxigéntermelés egyensúlyban van, a vízminőség javulása várható. A további szerves szennyezés esetén az oxigén teljesen elfogyhat a vízből, anaerob körülmények alakulnak ki, halpusztulás következhet be, esetleg a víz emberi használatra is alkalmatlanná válhat.

Minden további olyan tényező, amely az oxigén bejutását gátolja (pl.: olaj film, mosószerhab stb.) az öntisztulást is akadályozza. Az oldott oxigén hiányt okozó rendkívüli szennyezés hatása mesterséges levegőztetéssel csökkenthető.

Az oxigén csökkenés és pótlás mértéke a víz oldott oxigéntartalmának változásával jellemezhető. Ha a változást a folyó hossz-szelvényében folyás irányban ábrázoljuk, az ún. oxigéngörbét (oxigénvonalat) kapjuk. (22. ábra) Az oldott oxigén minimum a szerves anyag terhelés nagyságától függ.



22. ábra Vízfolyások oxigénviszonyai különböző mértékű szerves terhelésnél
A=kismértékű B=közepes C=súlyos szerves terhelés.

Rendkívüli szennyezés alkalmával a leszálló ág zérusra csökken, a görbe alsó íves része hiányzik, itt az előbb már említett anaerob körülmények uralkodnak. Az oxigéngörbe a folyó szerves anyag-lebontó képességének és öntisztuló képességének leghasználhatóbb mutatója, a szerves eredetű szennyezés oxigén elvonó képességének és a lebomlás viszonyainak, s így az oxigénhiány elhárítását célzó védekező beavatkozásnak is alapul szolgálhat.

4.5.3. Mérgező anyagok viselkedése És hatásmechanizmusa

A felszíni vizekre rendkívül káros anyagok között különleges helyet foglalnak el a mérgező anyagok. Viselkedésüket és hatásmechanizmusukat a növényvédő szereken keresztül lehet legjobban bemutatni. A vízbe jutó mérgező anyagok elsősorban a vízi ökoszisztémára, a vízzel kapcsolatba kerülő állatokra (házi és vad), a vízhasználatokra, s magára az emberre

jelentenek veszélyt. A mérgező anyagok hatása a töménységétől, a behatás idejétől függően lehet végleges és átmeneti. A mérgezés lehet helyi, az élőlényeknek csak egyes részeire ható, vagy felszívódva a szervezetben felhalmozódik. Sajátossága még, hogy a hatás lehet gyors, hirtelen (akut) és lehet idült (krónikus).



23. ábra Haltetemek borították a Hernád partszélét csaknem a teljes magyarországi szakaszon, amikor 1978-ban cianid szennyeződést okozott a Kassai Vasmű

Az eddigi tapasztalatok szerint a felszíni vizek szennyezését főleg a szerves- klór-származékot tartalmazó inszekticidek (rovarölőszerek) okozzák. Ezek stabilitásuk, felhalmozódási készségük révén hosszan tartó hatást fejtenek ki.

A gyomirtók közül a triazinok és a karbamid típusúak erősen toxikusak, de kevésbé stabilak, viszont a bomlástermékük mérgező hatása nem egyszer meghaladja a kiindulási anyagét.

A rendkívül sokféle toxikus anyag hatásának összehasonlítására a biológiai tesztvizsgálatok szolgálnak, melyekben valamely vízi élőlény (hal, vízibolha) élettani reakciója segítségével lehet számszerű adatokhoz jutni. Laborvizsgálattal megállapítható a vízben lévő mérgező anyag mennyisége és azt a koncentrációt adják meg, amely esetében a tesztélőlények 50 %-a elpusztul (LC_{50}).

4.6. Védekezési technológiák

4.6.1. Szennyezett víz levonultatása

Felszíni vizeket ért oldott vagy lebegő szennyezőanyag szennyezések alkalmával leggyakrabban alkalmazott védekezési módszer a szennyező hullám levonultatása.

A szennyezett víz levonultatására akkor kerül sor, ha

- a szennyezőanyag nem veszélyezteti a vízi ökoszisztémát, vagy a vízhasználatokat,
- a károkozás a vízhasználatoknál tett megelőző intézkedésekkel elkerülhető,
- a szennyezés elhárítása műszaki-technikai vagy egyéb okokból nem lehetséges (pl.: 2000. évi Tisza cianid és nehézfém szennyezés).

A szennyezés levonultatását:

- fokozott figyelő szolgálattal,
- megfelelő gyakoriságú (2-4 óránkénti), a szennyezést követő vízvizsgálattal,
- a vízhasználatok értesítésével,
- az érintett szervek és a lakosság tájékoztatása mellett lehet végezni.

A szennyezett víz levonultatása során a vízhasználatok korlátozására, ill. leállítására, vagy a tisztítástechnológia megváltoztatására is sor kerülhet.

A vízszennyezésről és hatásáról tájékoztatni kell a nyilvánosságot, a vízfolyás által érintett települések lakosságát, ipari, mezőgazdasági üzemeket, vízi sportolókat, üdülőket. Szükség szerinti tilalmakat kell bevezetni (állat itatási, halfogyasztási, vízi sportolási, fürdési tilalmat).

4.6.2. Kárelhárítás vízkormányzással

Vízkormányzással történő kárelhárításra akkor kerül sor, ha lehetőség van a szennyezett víztömeg visszatartására, tározására, átvezetésére, hígító víz levezetésére.

Alapvetően három vízkormányzási módszer ismeretes:

- átvezetés (más vízgyűjtőre, más befogadóba),
- betározás (időszakos, végleges),
- hígítás,
- speciális vízkormányzás.

Az **átvezetés** a szennyező hullámnak más, kevésbé érzékeny befogadóba, vagy a vízfolyás más szelvényébe való vezetését jelenti.

A **betározás** a kijutott szennyezőanyag, szennyezett víz visszatartását, a vízfolyásból történő kivezetését jelenti természetes vagy mesterséges tározóba, természetes lebomlás vagy tisztítás, vegyszeres kezelés, végleges betározás, szétöntözés stb. céljából.

A **hígítás** a szennyezett víz szennyezőanyag koncentrációjának hígító víz bevezetésével történő csökkentését jelenti.

Speciális vízkormányzást akkor alkalmaznak, amikor az adott körülményeket és lehetőségeket mérlegelve speciális mérnöki megoldást lehet alkalmazni³.

³ Ilyen helyzet állt elő 2000. februárjában a Tisza cianid és nehézfém szennyeződésekor, A mintegy 90 km hosszúságú, szennyezett víztestet (dugót) kellett a lehető legkisebb károkozással a Tisza-tavon átvezetni. Ezt a vízügyi szakemberek úgy oldották meg, hogy szennyezés oda érkezéséig 4-5 napon keresztül a téli üzemmódban (csökkentett vízszinttel) levő tavat elkezdtek a még tiszta vízzel duzzasztani. A szennyeződés érkezése előtt a Kiskörén a zsilipek megnyitásával olyan vízszintcsökkentést, és így szívó hatást idéztek elő a Tisza

Felsorolt vízkormányzási technológiákat önmagukban és kombinálva is lehet alkalmazni.

Az alkalmazandó technológia kiválasztásánál mérlegelni kell:

- a szennyezőanyag fajtáját, mennyiségét, koncentrációját,
- az érintett vízrendszer (vízfolyások, csatornák, tározók) adottságait, műszaki lehetőségeit (műtárgyak, tározási, átvezetési lehetőségek),
- az aktuális vízrajzi, hidrológiai, hidraulikai és meteorológiai adatokat (vízállás, vízhozam, vízsebesség, víz hőmérséklet),
- vízhasználatok üzemi adatait.

4.6.3. Kárelhárítás levegőztetéssel

Levegőztetésnek nevezzük a kárelhárításnak azt a módját, amikor a szennyezett víztömeget mesterséges levegőztetéssel oxigénben dúsítjuk.

A levegő oxigéntartalmát:

- porlasztással,
- permetezéssel,
- csörgedeztetéssel,
- légbefúvással

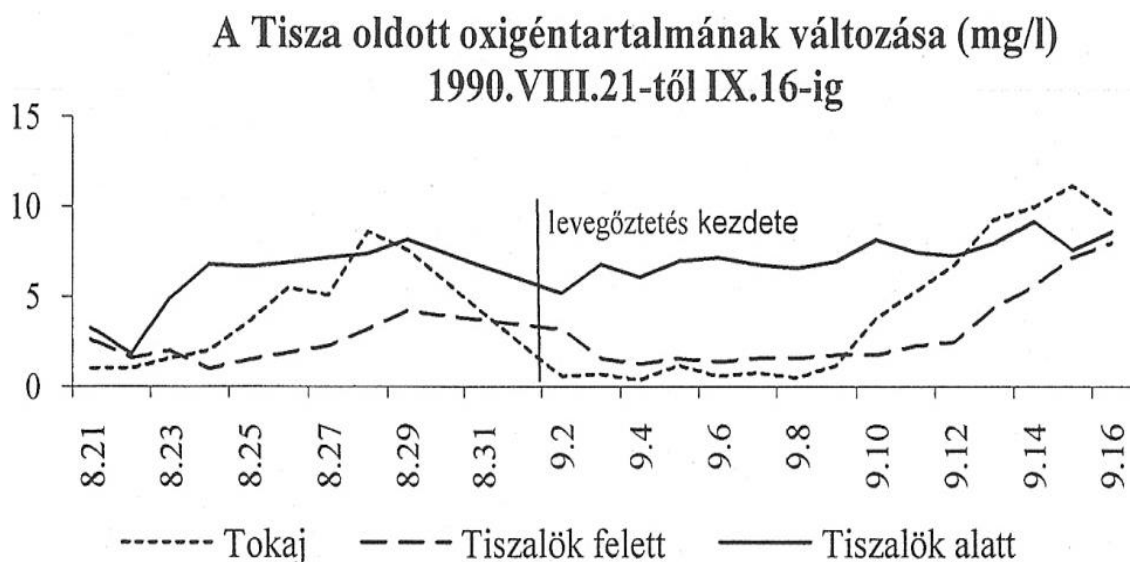
tudjuk a felszíni vizekbe juttatni és oldatba vinni. Ezek a technológiák egyszerűek és viszonylag gazdaságosak, könnyen alkalmazhatók.

A felszíni vízfolyásokon fellépő helyi oxigénhiány megszüntetésének egyik módja a meglévő vízépítési műtárgyak adottságainak felhasználása. Ilyen például a zsilipek, duzzasztóművek üzemrendjének szabályozása levegőbevitelre. A Tiszán a '90-es évek elejétől ismétlődően előforduló szélsőséges oldott oxigén viszonyokban mutatkozó nyári vízminőségromlás alkalmával 1990-ben, 1992-ben és 1994-ben is alkalmazták Tiszalöknél, a duzzasztóműnél a víztömeg felső átbukással történő átvezetését. Az erőműi turbinák átmenetileg leállításra kerültek, a zsiliptáblák buktatásával az összes érkező víztömeg (100 m³/s) felső átbukással, 8-10 m-t zuhogva került az alvízi mederbe. Ily módon a rendkívül alacsony oldott oxigéntartalmú vízbe 1,5-2,0 mg/l oxigén oldódott be, melyből 0,5- 1,0 mg/l tartósan megmaradt. A Tiszalök alatti Tisza szakaszon kritikus oldott oxigén hiány nem alakult ki (24. ábra).

Kiseb vízfolyások, patakok oxigénhiányának csökkentésére ideiglenesen vagy véglegesen beépített bukógátak segítségével (a víz megnövelt felületen érintkezik a levegővel) is jó hatás érhető el.

Speciális levegőztető berendezések kerültek kifejlesztésre a '70-es években felszíni aerátoros, ill. légbefúvós elven alapuló technológiai megoldással (oxigénbevitel 1-70 kp/óra).

főmedrében, hogy a tó tározó tereiből a néhány nap alatt beduzzasztott víz kifelé, a főmeder irányába áramlott. Ezzel a speciális vízkormányzással el érték, hogy a Tisza-tónak a 90 %-a és csaknem teljes élővilága megmenekült a cianid szennyezéstől. Ezen túlmenően a levonult szennyezett víztömeg jelentős hígítását is sikerült a biztosítani.



24. ábra

A szivattyúval történő vízszugárképzés állóvizeken alkalmazható eredményesen. Az úszó pontontagra szerelt nagy teljesítményű szivattyúra perforált porlasztó tárcsát szerelve, a szivattyú nagy vízszugárral porlasztja a levegőbe a vizet, amely a levegővel érintkezve oxigénben dúsulva hullik vissza a vízfelszínre. A berendezés előnye, hogy önjáró, így a vízfelület legkritikusabb helyén működtethető. Gyakorlati tapasztalatok szerint 8 óra üzem idő alatt 3 mg/l oxigénbevitel volt elérhető (élővíz-csatorna, 1971.). (Az alábbi fotó, üzemelés közben mutatja be a berendezést)



25. ábra Úszó pontontagra szerelt szivattyús levegőztető

4.6.4. Kárelhárítás kémiai kezeléssel

A vízminőségi kárelhárításban leggyakoribb kémiai kezelési forma a pH szabályozása. A természetes felszíni vizek kémhatása kissé lúgos, a pH érték 7-8 között változik. Erősen algás vízben (az alga a víz CO_2 tartalmát csökkenti) 9 vagy afölötti pH is előfordulhat.

A vízbe kerülő savak csökkentik a víz pH értékét. A felszíni vizek puffer hatása (HCO_3 tartalma) késlelteti a káros folyamatok kialakulását, de már 6,5 pH alatti értéknél károsodik a vízi ökoszisztéma és egyes szennyező anyagok mérgező hatása növekszik. Savas szennyeződés esetén a szennyezett víz betározása, mésztej es semlegesítés, a betározott, semlegesített víz szabályozott levezetése jöhet számításba.

Lúgos szennyezésnél pH 9 érték felett van szükség beavatkozásra. A semlegesítésre 10 %-os sósav vagy kénsav alkalmazható. Ammónia (NH_3) szennyezés esetén szükségessé válhat annak eltávolítása a vízből. Élővizekben különösen a szabad ammónia jelent veszélyt, ami 0,2-0,5 mg/l fölötti koncentrációban hal pusztulást okoz. A szennyvizekben levő ammónia a pH függvényében egyensúlyt tart az ammónium ionokkal (N_4^+). Ha a szennyvíz pH értéke két 7 fölé emeljük ammóniagáz szabadul fel, amely kilevegőztethető.

Tavak, holtágak, csatornák fenékiszapjában oxigénszegény körülmények között kénhidrogén (H_2S) keletkezik, mely azonban csak enyhén savas közegben van jelen. A víz pH értékének emelésével (pH: 8) a kénhidrogén mérgező hatása megszüntethető. Vigyázni kell, mert lúgos körülmények között viszont a víz ammónium-ion tartalma miatt szabad ammónia keletkezhet, s akkor az okozhat halpusztulást.

4.6.5. Védekezés vízínövényzet ellen

A szennyezéseknek nem mindig jelentkezik azonnal a vízminőségi hatása. Főleg tavak, lassú mozgású csatornák esetében vízminőségi problémát okozhat a felhalmozódó iszap és az elburjánzó vízi növényzet. Szükségessé válhat vízvédelmi célú iszapkotrás és vízi növényzet (hínár, békalencse, rucaüröm) eltávolítása úszó és hidromechanizációs kotró, ill. erre a célra kialakított speciális gépek segítségével. Esetenként az elpusztult halak tetemeinek kiszedését kell megoldani merülő fallal és hálókka.

4.6.6. Védekezés olajszennyezés ellen

Az elmúlt évtizedek tapasztalatai szerint felszíni vizeinken a leggyakrabban előforduló szennyezőanyag az ásványi olaj és származékai. Vízbe kerülve az olaj a felszínen szétterül, s ez mindaddig folytatódik, amíg néhány mikron vastagságot ér el. Viszonylag kis mennyiségű olaj is nagy vízfelületet képes elzárni a légköri oxigéntől, amely a vízi ökoszisztéma károsodásához, pusztulásához vezethet.

A vízbe keveredő olaj egy része emulgeálódik, a vízben oldódik, másik része lebegőanyaghoz kötődve a mederfenékre kerül. Az olajból mérgező anyagok kerülnek a vízbe, a mederfenékre süllyedt olaj elzárja a biológiai aktív felületeket az oxigéntől, amelynek

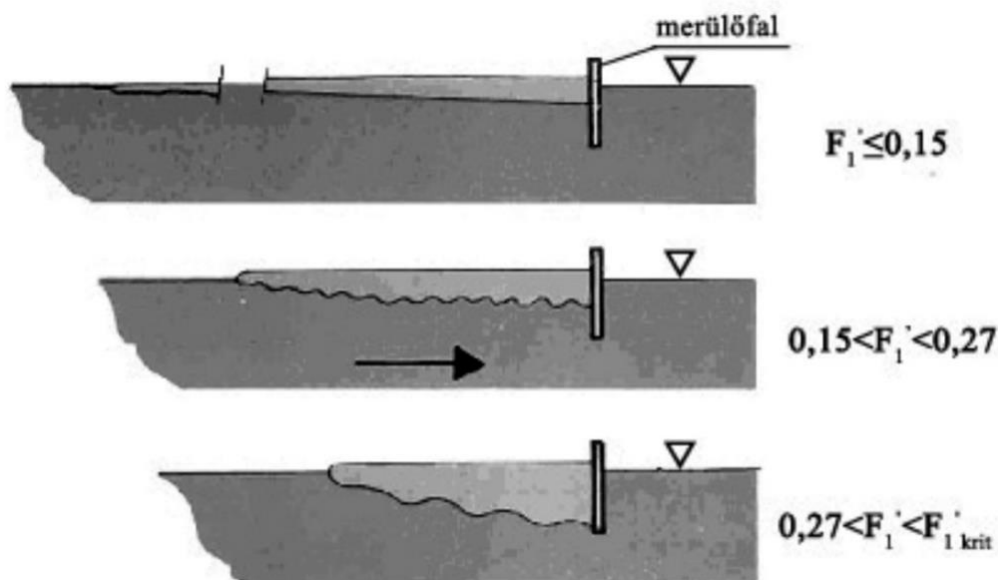
következtében az anaerob bomlási folyamatok kerülnek túlsúlyba, miközben ammónia, kénhidrogén, metán és egyéb mérgező gázok keletkeznek.

Az eredményes kárelhárítás előfeltétele az olaj szétterjedésének megakadályozása, a szétterült olaj összeterelése és eltávolítása a vízfelületről. Alapvető fontosságú az arra alkalmas védekezési hely kiválasztása, a megfelelő módszer, eszközök technológia alkalmazása.

Az olaj szennyezés lokalizálását, terelését a vízfelszínen úszó merülőfalas olajzárakkal, ill. azt helyettesítő egyéb technikai megoldásokkal oldják meg. A merülőfalak olyan a víz felszínén úszó folytonos szerkezetek, melyek a vízfelszínre merőlegesen részben a felszín felett, részben a vízbe bemerülve falat képeznek, megakadályozva az olaj szétterülését, továbbhaladását.

Állóvíz felületén az olaj szétterjedését kell megakadályozni, ezért a szennyezett területet körül kell határolni, melyre a víz felületi mozgását jól követő, flexibilis szerkezetek alkalmasak (többnyire műbőr, műanyag, hurkaszerű összekapcsolható elemekből).

Folyóvízben különösen nagyobb vízsebességnél az olaj merülőfal alatti átsodrásával kell számolni. A BME Vízépítési Tanszékén a hetvenes években elvégzett modell-kísérletek a merülőfallal megállított olajréteg és az alatta áramló víz kölcsönhatásáról azt állapította meg, hogy a lassan áramló víz felszínén az olaj éles és közel sík határfelülete már lassú áramlású állapotban is enyhe hullámmozgást végez, de mintegy 0,15 sűrűségi Froude szám értékig a határfelület sík marad. Növelve a vízsebességet kb. 0,15-0,27 sűrűségi Froude szám tartományban szabályos hullámkép jön létre a határfelületen (26. ábra),



26. ábra A víz-olaj határfelület jellegzetes alakja különböző áramlási állapotokban.

Növelve az áramlási sebességet az olajfront egyre közelebb gyűrődik a merülő falhoz és 0,5 sűrűségi Froude szám értéknél az olajréteg állékonysága megszűnik és átsodródik a merülőfal alatt. A merülőfal alakja és a bemerülés mélysége az olajvisszatartó képességet

lényegesen nem befolyásolja, viszont több tényező, mint pl.: az olaj fajsúlyának, az áramló víz turbulenciájának és lebegőanyag tartalmának növekedése, ill. a viszkozitás és a vízmélység csökkenése rontja a hatékonyságot. A vizsgálatok kiterjedtek a merülőfalakra ható torlónyomásra, ill. a merülőfalak alaki tényezőjének meghatározására is. A mért adatok alapján megállapították, hogy az irodalomban szereplő alaki tényezőknek minden esetben mintegy másfélszeresével kell számolni, ami igazolta a gyakorlati tapasztalatokat, a merülőfalakra ható igen nagy horgonyerőt.

Mindezekből következik, hogy a szennyezés lokalizálásával, terelésével együtt haladéktalanul meg kell kezdeni az olaj leszedését.

Folyóvízen az olaj megállítása, visszatartása csak 0,2-0,3 m/s vízsebességig valósítható meg, a terelő falak (elemek) ennél a sebességnél is csak korlátozott mennyiségű olaj visszatartására képesek. Nagyobb vízsebesség esetén az olaj keskeny sávba terelésével és folyamatos leszedésével lehet eredményes en védekezni.

Áramló vízben 0,2-0,3 m/s vízsebességig a merülőfal a vízparthoz zártan, max. 45 fokos szögben telepíthető, az összegyűlt olaj a lezárt vízfelületről kézi vagy gépi úton eltávolítható.

Nagyobb 0,3-0,7 m/s vízsebesség esetén az olaj "nyitott elrendezésben" telepített merülőfalakkal terelhető. Az olajleszedő berendezéssel a keskeny sávba terelt olajat le lehet szedni. A keskeny sávba terelt, vagy már eleve csóvában érkező olajat "V" alakban elrendezett terelőfalakkal olaj csapdába lehet terelni és leszedni a vízről.

Az olajszennyezések elhárítására elterjedt módszer az ún. adszorbenses leszedés. Adszorbensként olajmegkötő (oleofil) és víztaszító (hidrofób) anyag használható, mert így a két fázis szétválasztása az adszorbens vízfelületre szórásával megvalósítható és az olaj viszonylag könnyen eltávolítható az adszorbenssel együtt.

Az adszorbenssel szemben támasztott követelmények:

- nagy fajlagos felület,
- kis fajsúly,
- nagy adszorpciós kapacitás,
- jó olajmegkötő képesség.

4.6.6.1. Az olajszennyezés lokalizálása

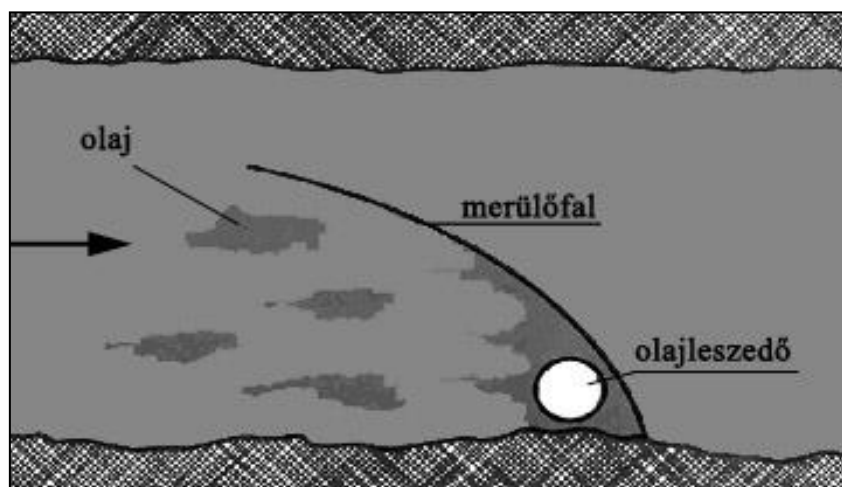
Állóvízen történt olaj szennyezés esetén elsődleges feladat az olaj szétterjedésének a megakadályozása. Fontos, hogy az olaj körülkerítését a széllel szemben végezzük. A körbekerített olajfoltot húzóhálózhoz hasonló módon a lehető legkisebb helyre kell koncentrálni és eltávolítani. Általában olaj álló gumírozott szövet vagy műanyag, felfújható flexibilis szerkezetű merülőfalak használatosak. A védekezés korlátja a hullámmagasság nagysága. Hazai állóvizeken általában 20-30 cm-es hullámmagasságig használható.

Folyóvíz felszínén az olaj szétterjedése mellett azt a víz magával viszi, a szennyezett partszakasz a vízfolyás sebességétől függően óránként akár 5-10 km-rel is növekedhet. Kisvízfolyás esetében a cél az olaj továbbjutásának megakadályozása, egyik parthoz történő

terelése és leszedése. A merülőfalat a parthoz kell bekötni és az olaj leszedőt a parttal és a merülőfallal közre zárt sarokban kell elhelyezni (28. ábra).



27. ábra Felfújható merülőfállal körbezárt kishajó az olaj szétterjedésének a megakadályozására.



28. ábra Merülőfal és olajleszedő telepítése 0,2-0,3 m/s vízsebességig

Nagy vízsebesség esetén az olajréteget nyitott elrendezésű, az áramlás irányával hegyes szöget (30-45° fok) bezáró merülőfalakkal terelik, ezzel elérhető, hogy az olaj 0,3-0,7 m/s vízsebességig jó hatásfokkal terelhető és leszedhető.

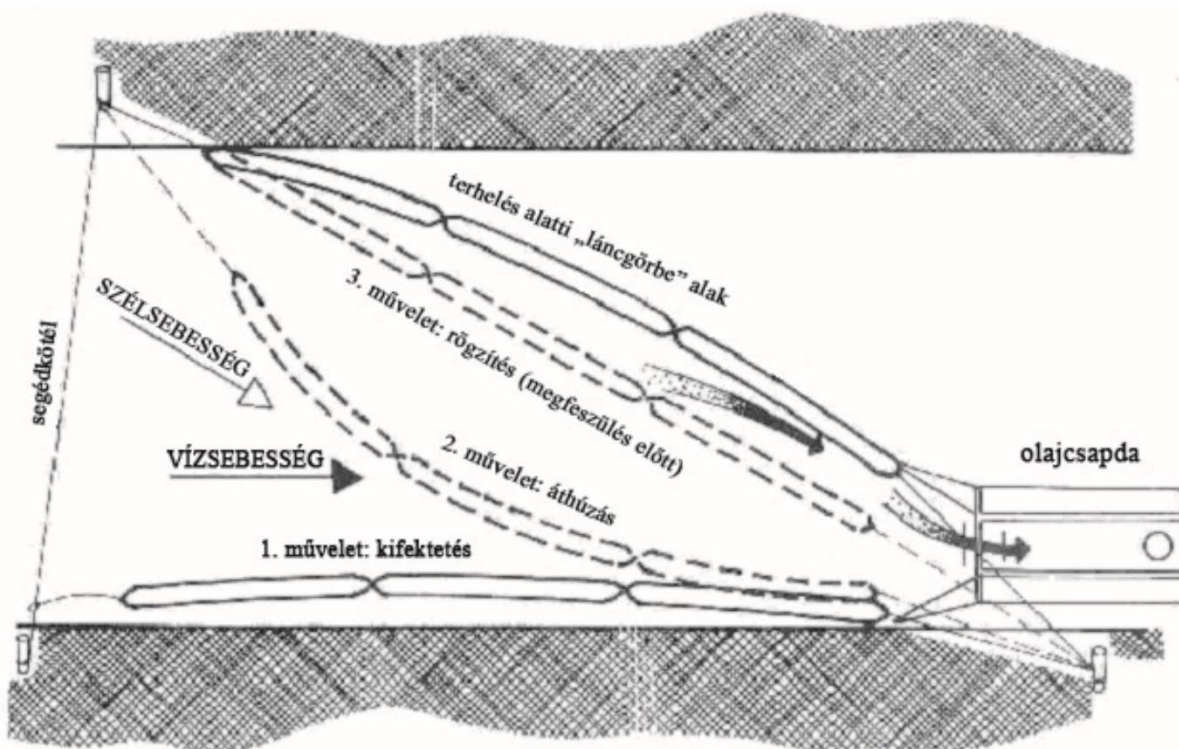
4.6.6.2. Az olajszennyezés visszatartásának eszközei

A sokféle alakú, anyagú és szerkezeti kialakítású merülőfalak három fő szerkezeti elemből állnak. Az úszó részből, a szoknya vagy bemerülő részből és az egyes merülőfal tagok

összekapcsoló eleme, ahol a rugalmas kapcsolat mellett olyan átlapolást kell biztosítani, hogy az olaj ne szökhesse" át a réseken.

A merev szerkezetek anyaga műanyag, fa, fém és ezek kombinációja, összekapcsolásuk csuklós pánttal történik. Folyóvízen 50-70 méternél hosszabb merülőfal összeszerelése nem célszerű. A nagy folyókon (Tisza, Duna) az olaj teljes fedettségben soha nem fordul elő. A több sorban telepített merülőfállal az olaj terelése, visszatartása hatékonyabb. A merülőfalakat a vízparton rögzítik természetes kikötési pontokhoz (fa), vagy megfelelő rögzítő helyet alakítanak ki (29. ábra).

A nagyobb vízfolyások mentén arra alkalmas helyek kijelölésével védekezési helyek kerülnek kialakításra, a vezérkötél rögzítésére alkalmas kikötőbakok és a feszítő csörlők rögzítésére alkalmas csörlőalapok kialakításával. A vezérkötélre kerülnek a csigák és a szabályozható tartókötelek, amelyek az összekapcsolt merülőfal elemeket tartják, a vízfolyással 45° szöget bezáróan.



29. ábra Merülőfal telepítése mindkét végén parton rögzítve, vezérkötél nélkül.

A nagyobb vízfolyások mentén arra alkalmas helyek kijelölésével védekezési helyek kerülnek kialakításra, a vezérkötél rögzítésére alkalmas kikötő bak ok és a feszítő csörlők rögzítésére alkalmas csörlőalapok kialakításával. A vezérkötélre kerülnek a csigák és a szabályozható tartókötelek, amelyek az összekapcsolt merülőfal elemeket tartják, a vízfolyással 45° szöget bezáróan.

Flexibilis merülőfal: álló- és folyóvízben kis vízsebesség mellett alkalmazhatók. A BKT 10 típusú nagy állóvízi merülőfal hazai gyártású, graboplan anyagból készült. Lesúlyozott

szoknyával ellátott, felfújható tömlőből és ahhoz kétoldalt csatlakoztatott stabilizáló hullámtörő hatású kisebb tömlőből áll. Jól vontatható, könnyen kezelhető szerkezet.

Kis állóvízi merülőfal: műbőrből készült merülőfal a G - H típusú, mely 12 m-es elemekből, 2 m-es osztásokkal, hurka alakú, stironit porral (habszerű műanyag őrlemény) töltött merülőfal szerkezet. A szoknya része láncsal súlyozható le.

Folyóvízi merülőfal: hazai gyártású, fából készült, fekvő "T" alakú (idomú), 4 m-es elemekből álló folyóvízi merülőfal típus, melyeket függőleges tengelyű csuklós gyorskapcsolású elemek kapcsolnak egymáshoz, gumilapos átfedéssel. Kisebb patakoktól 200 m széles vízfolyásokig jól alkalmazható, mindkét parton rögzített vezérkötéllel telepíthető.



30. ábra Adszorbenssel töltött hurka vízre helyezése kisvízfolyáson

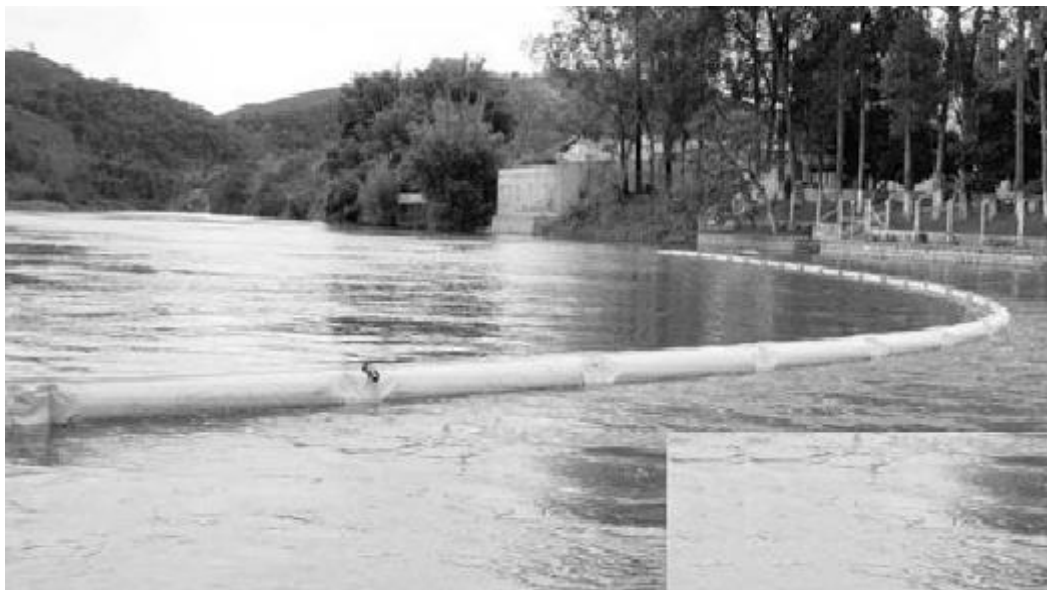


31. ábra Kétsoros, vezérköteles "T" merülőfalból készült elzárás olajscapdával

4.6.6.3. KORSZERŰ univerzális merülőfalak

A nyolcvanas években új, korszerű vízminőségi kárelhárítási eszközök, köztük merülőfalak kerültek kifejlesztésre.⁴

A „Könnyű (Optimax)” és „Könnyű magas (Supernax), valamint ”Nehéz (Pernafence)” fantázianeveű flexibilis, mobil merülőfalak olaj és uszadék felfogására, álló és folyóvízi védekezésre egyaránt alkalmasak. Kialakításuk gyors telepítést és vízen történő vontatást tesz lehetővé.



32. ábra Könnyű (Optimax) merülőfal

Az acélsodrony erősítés nagyobb sodrású folyókban is lehetőséget ad az eredményes használatra. A ”Nehéz (Pernafence)” merülőfalról részletesen a 4.6.7. pontban az úszó szilárd szennyezések elleni védekezésnél foglalkozunk.

A könnyű merülőfal anyaga PVC. Szerkezeti felépítése: zárt úszó habtest, ballaszt lánc, felső merevítő acélhuzal. Az egyes elemek univerzális alumínium elemekkel csatlakoznak egymáshoz.

A könnyű merülőfal (Optimax) méretei:

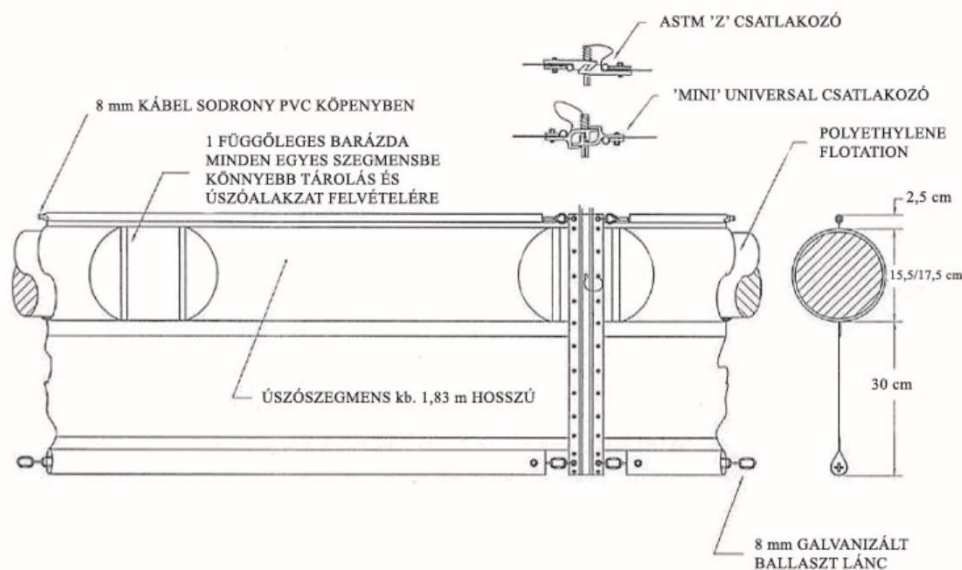
- teljes magassága 50 cm,
- víz feletti úszófelület 20 cm,
- vízalámerülő szoknya 30 cm.
- **Könnyű magas merülőfal (Supernax) méretei:**
 - teljes magassága 90 cm,
 - víz feletti úszófelület 30 cm,

⁴ A Pleso & Pleso Kft. (Szeged) 2008. szeptemberben a Bodrog folyón Tokajnál megtartott kárelhárítási bemutató alkalmával számos általa forgalmazott uszadék és olaj szennyezés visszatartására, telerés ére alkalmas, korszerű merülőfalat, olajleszedő berendezést mutatott be.

- vízalámerülő szoknya 60 cm.

Kis folyóvízi merülőfal:

Kisebb vízfolyásokon alkalmazható a "K" típusú folyóvízi merülőfal. Deszka elemekre szerelt, íves alumíniumból készült lemezek végzik az olaj terelését. max. 15 m széles vízfolyáson alkalmazható. Az egyes elemeket vízszintes tengelyű csukló vasalások kapcsolják össze, amelynek hátránya, hogy a nagyobb víznyomás kiforgatja. Ezért csak kis vízfolyáson és csak hullámmentes vízen alkalmazható.



33. ábra Könnyű merülőfal szerkezeti rajza

Pallódeszkából készített merülőfal:

Kisvízfolyásokon könnyen gyorsan és jól alkalmazható az élére állított pallódeszkából épített, a patakmederbe ferdén behelyezett, a víz felszíne alá 5-10 cm-re bemerülő merülőfalas elzárás.

Szükséganyag, meglevő műtárgyak alkalmazása:

Kisvízfolyások esetében jól alkalmazhatók a helyszínen rendelkezésre álló szükséganyagok, így rőzsekévék, nádkolbász, szalmafonat összekötözve merülőfalként való egyszeri felhasználásukkal. Főleg csatornákon (belvíz, öntözővíz) a zsilipek, torkolati vagy szakasz műtárgyak teljes lezárásával vagy részleges leengedésével az olajszennyezés visszatartható.

A víz fel színén úszó szennyeződések visszatartására az átereszek is jól használhatók a víz szintjének az áteresz felső szintje fölé duzzasztásával. Ehhez hasonló műtárgy építhető provizórikus elzárással homokzsákokból a mederfenék közelébe csőből épített átereszes megoldással.

4.6.6.4. Az olaj leszedésének eszközei

A lokalizált vagy terelt olaj vízfelszínről történő leszedése történhet kézi és gépi eszközökkel.

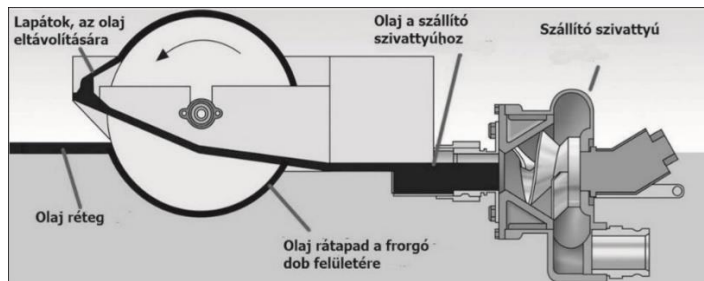
Hagyományos kézi eszköz a nyeles lemerő (fandli), pamacsos kézi leszedő (polietilén szálakból).

A gépi olajleszedő berendezések egyik típusa a bukóéles, mely azon az elven működik, hogy a vízfelszínen úszó olaj a bukóélen vagy bukógyűrűn egy gyűjtő tárolóba átbukik és a víz-olaj keveréket onnan szivattyúval eltávolítják.

Az olajcsapdát kifejezetten folyóvízre fejlesztették ki, mely 1 m/s vízsebességig alkalmas a vízfelszínen úszó olaj leválasztására, szeparálására és eltávolítására.

Az adhéziós elven működő olajleszedő berendezések alapelve, hogy a vízfelszínen olyan felületeket (henger, tárcsa, szalag) mozgatnak, melyre az olaj rátapad (rozsdamentes acél, műanyag), majd az olajat lefejtik. Előnye az, hogy csak az összeterelt olajat szedi le a víz felszínéről. Műszaki kialakítás szerint lehet tárcsás, forgódobos, szalagos és kötélpamacsos megoldású.

A nyolcvanas években (az előbbieken már hivatkozott Pleso & Pleso Kft. által) kifejlesztett Elastec tip. forgódobos szeparátorok rendkívül jó hatásfokkal távolítják el a diesel, könnyű- és nehéz nyersolaj, fűtőolaj, valamint növényi olaj származékokat is. A különböző teljesítményű berendezések fix telepítéssel szennyvizekből és folyóvízi védekezésnél egyaránt jól hatásfokkal távolítja el a víz felszínéről a különböző olajakat.



34. ábra Forgódobos szeparátor szerkezeti vázlatrajza.



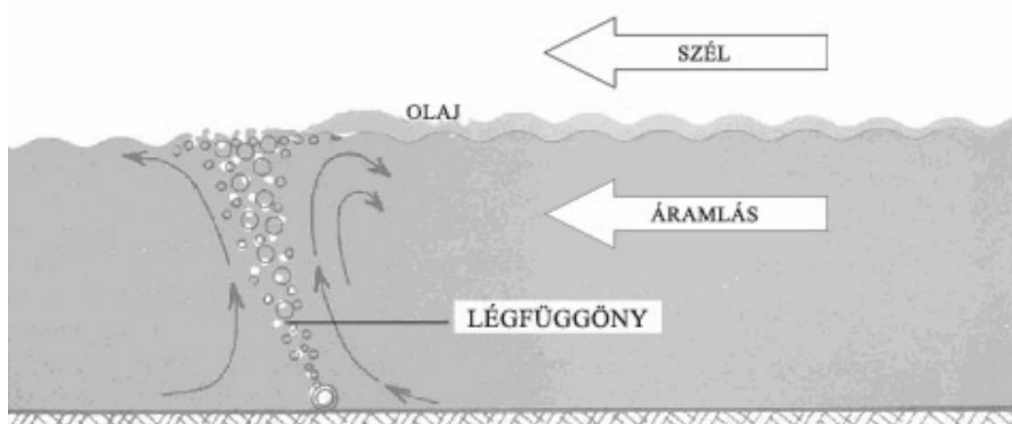
35. ábra Elastec MiniMax szeparátor (5 m³/h)

Légfüggöny alkalmazása:

A légfüggönnyel történő elzárás lényege, hogy vízfolyás keresztmetszélyébe perforált vagy fűvókákkal ellátott tömlőt fektetnek és sűrített levegőt juttatnak a csőbe. A felszálló buborékok függőleges levegőfüggőnyt képeznek, a vízfelszínen szétterülő buborékok vízszintes vízáramlást alakítanak ki. Az így előállt ellenáramú vízáramlás és a keletkező hullámtaréj mintegy gátat képez az olaj útjában (4.14. ábra).

Olaj terelése vegyszerekkel:

Bizonyos vegyszerek csökkentik a felületi feszültséget, gátolják az olaj szétterülését. A vegyszer csak friss olajokra hat és csak rövid ideig (néhány óra) tart a hatása. A gyakorlatban nem terjedt el.



36. ábra Légfüggöny működésének elvi vázlata és gyakorlati alkalmazása

4.6.7. Védekezés szilárd úszó szennyeződés ellen

Vízfolyásaink felszínén (főleg áradásos időszakban) a természetes eredetű uszadék mellett jelentős mennyiségű szilárd szennyező anyag (műanyag flakon, üveg, egyéb hulladék) is úszik. Ezek felfogására az olaj terelésére szolgáló hagyományos merülőfalak nem alkalmasak. Kifejezetten erre a célra került kifejlesztésre az ún. "Nehéz (Permafence)" merülőfal és az Uszadék (Derbis Boom)" merülőfal.

„Nehéz (Permafence)” merülőfal:

A merülőfal úszó része nagy ütésálló, extra megerősített, zárt műanyag test. Anyaga PVC. Hálós szoknya része változtatható hosszban, tömör és hálós szerkezettel készül. Mind olaj, mind uszadék megfogására alkalmas.

- Mérete:
- teljes magassága 56-91 cm,
- víz feletti úszófelület 23-33 cm,
- vízalámerülő szoknya 33-58 cm.

Uszadék (Debris Boom) merülőfal:

Hálós szoknya része (4X4 cm) több hosszban és állítható méretben kerül gyártásra, ballaszt lánc biztosítja a függőleges helyzetét. A szoknya tetszőleges mélységgel szerelhető. (Itt meg kell jegyezni, hogy a Tisza nagyságú vízfolyásokon árvízi uszadék megfogására feltehetően kevésbé alkalmas, hiszen 2004-ben történt hulladékszennyezés alkalmával az uszályos mederelzárásnál a kihorgonyzó köteleket is elszaggatta a víz- és uszadék-nyomás.)

Uszályos uszadékfogás:

A Tiszán 2004. szeptember 26. és október 2. között az áradó víz ukrán területről nagymennyiségű kommunális hulladékot sodort magával. Az úszó szenny felfogására Tokaj alatt a Tisza 537 fkm szelvényében uszályos mederelzárást alakított ki az Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság. Az uszályok felvízi oldalán összetorlódott mintegy 2400 m³ szemét-uszadékot úszó kirakóval uszályokba rakták, majd a Bodrogkeresztúri hulladéklerakóban helyezték el.

A szilárd úszó szennyeződések nemegyszer az olaj elleni védekezés során is jelentkeznek, akadályozzák a hatékony védekezést. Külön védekezni kell az úszó szilárd szennyezések ellen is. A Bodrogon folytatott olajszennyeződések elleni védekezések alkalmával (főleg áradó víz esetén) a "T" merülőfalas elzárások felett uszályos mederelzárást alkalmazva sikerrel védekeztek az uszadék ellen. Az elzárás alatt több soros merülőfallal már egy "tisztá", csillapított vízfelületen lehetett eredményesen védekezni (lásd korábbi fotó).

Hasonló probléma adódik pakura szennyezések alkalmával, amikor az olaj a hideg vízben nagyobb rögökké állnak össze, amelyet hagyományos olaj leszedővel nem lehet eltávolítani.

Halpusztulás alkalmával a tetemek eltávolítása is fontos feladat. Legegyszerűbben a halászatban használt eszközökkel lehet védekezni. A tetemeket ATEV -hez kell elszállítani.



37. ábra Nehéz (Permafence) merülőfal

4.6.7. A szennyező anyagok tárolása, ártalmatlanítása

Az olaj szennyezés elleni védekezések során egyrészt szét kell választani a leszedett víz-olaj keveréket, majd ártalmatlanítani kell az olajat, az olajjal szennyezett adszorbenst, szennyezett uszadékot.

A védekezés helyén a leszedett szennyező anyagok tárolására ideiglenes tárolókat kell alkalmazni (hordók, tároló medencék). Tároló medencét kifóliázott földmedencében, homokzsákból épített oldalfalakkal kialakított, ugyancsak fóliával bélelt medencében is ki lehet alakítani. Rendelkezésre állnak ugyanakkor előre gyártott műanyag tárolómedencék 1,5-3,0-10 köbméteres méretekből. Vízen történő védekezéshez nagytérfogatú úszó párnatartályokban lehet elhelyezni a leszedett szennyező anyagot. A víz-olaj keverék szétválasztása a fajsúlykülönbség elvén működő dekantálással a helyszínen megoldható.

A leszedett szennyező anyagokat és egyéb veszélyes hulladéknak minősülő anyagot a veszélyes hulladékokra vonatkozó jogszabályi előírásoknak megfelelően kell ártalmatlanítani.

A szennyezett vízpart megtisztítása esetenként nehezebb, időigényesebb feladat, mint maga a vízen végzett munka.

Felhasznált irodalom:

Szűcs Péter, Sallai Ferenc, Zákányi Balázs, Madarász Tamás: Vízkészletvédelem, Bíbor Kiadó, Miskolc, 2009

5. HULLADÉKELHELYEZÉS

5.1. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK

A 20/2006.(IV.5) számú a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló *KvVM rendelet szerinti definíciók:*

Hulladéklerakó: olyan hulladékártalmatlanító létesítmény, amely a hulladéknak a földtani közeg felszínén vagy a földtani közegben történő lerakására szolgál, ideértve;

Lerakás: a hulladék ártalmatlanítása a földtani közeg felszínén vagy a földtani közegben kialakított hulladéklerakóban;

Inert hulladék: olyan hulladék, amely semmilyen jelentős fizikai, kémiai vagy biológiai átalakuláson nem megy át; jellemzője, hogy nem oldódik, nem ég, sem más fizikai vagy kémiai reakcióba nem lép, biológiai úton nem bomlik, vagy nincs kedvezőtlen hatással a vele kapcsolatba kerülő más anyagra oly módon, hogy környezetszennyezést okozna, vagy károsítaná az emberek egészségét; további jellemzője, hogy teljes kioldhatósága, szennyezőanyag tartalma, valamint a csurgalékvíz ökotoxicitása elhanyagolható, és nem veszélyezteti a felszíni vizek, illetve a felszín alatti víz minőségét;

Csurgalékvíz: a lerakott hulladéktesten átszivárgó, illetve az ott keletkező minden olyan folyadék, amely a hulladéklerakóban marad, vagy amelyet a hulladéklerakó kibocsát;

Hulladéklerakó-gáz: a lerakott hulladék biológiai, kémiai bomlása során a lerakóban képződő gázkeverék.

Üzemeltető: az a természetes vagy jogi személy, illetve jogi személyiséggel nem rendelkező szervezet, aki (amely) a hulladéklerakó üzemeltetéséért, rekultivációjáért, utógondozásáért felelős;

Meglévő hulladéklerakó: az e rendelet hatályba lépése előtt létesített hulladéklerakó

Lezárás: a felső zárórétegrendszer megvalósítása

Rekultiváció: a bezárt hulladéklerakó vagy a hulladéklerakó egy része környezeti veszélyességének csökkentése új területhasználat előkészítése érdekében lezárással, műszaki védelem és monitoringrendszer kiépítésével vagy a hulladék felszedésével, továbbá tájba illesztéssel;

Hulladéklerakó felszámolása: hulladéklerakóban vagy hulladéklerakás céljára használt területen korábban ártalmatlanítási céllal lerakott hulladék teljes felszedése és kezelése a terület hasznosítása érdekében.

Utógondozás: a hulladéklerakó teljes rekultivációját követő olyan összetett tevékenység, amely magában foglalja a monitoringrendszer üzemeltetését, a csurgalékvíz és a hulladéklerakó-gáz kezelést, valamint a szükségessé váló karbantartási munkákat;

Bezárás: a hulladékvételi és -lerakási tevékenységek megszüntetése;

Tájbaillesztés: a létesítmény funkcionális és esztétikai szempontok szerinti környezetalakítása a táji adottságok figyelembevételével.

Monitoring rendszer: a környezeti elemek, különösen a felszín alatti víz, a földtani közeg terhelésének, szennyezésének, állapotának (beleértve a szennyeződésterjedést is) és

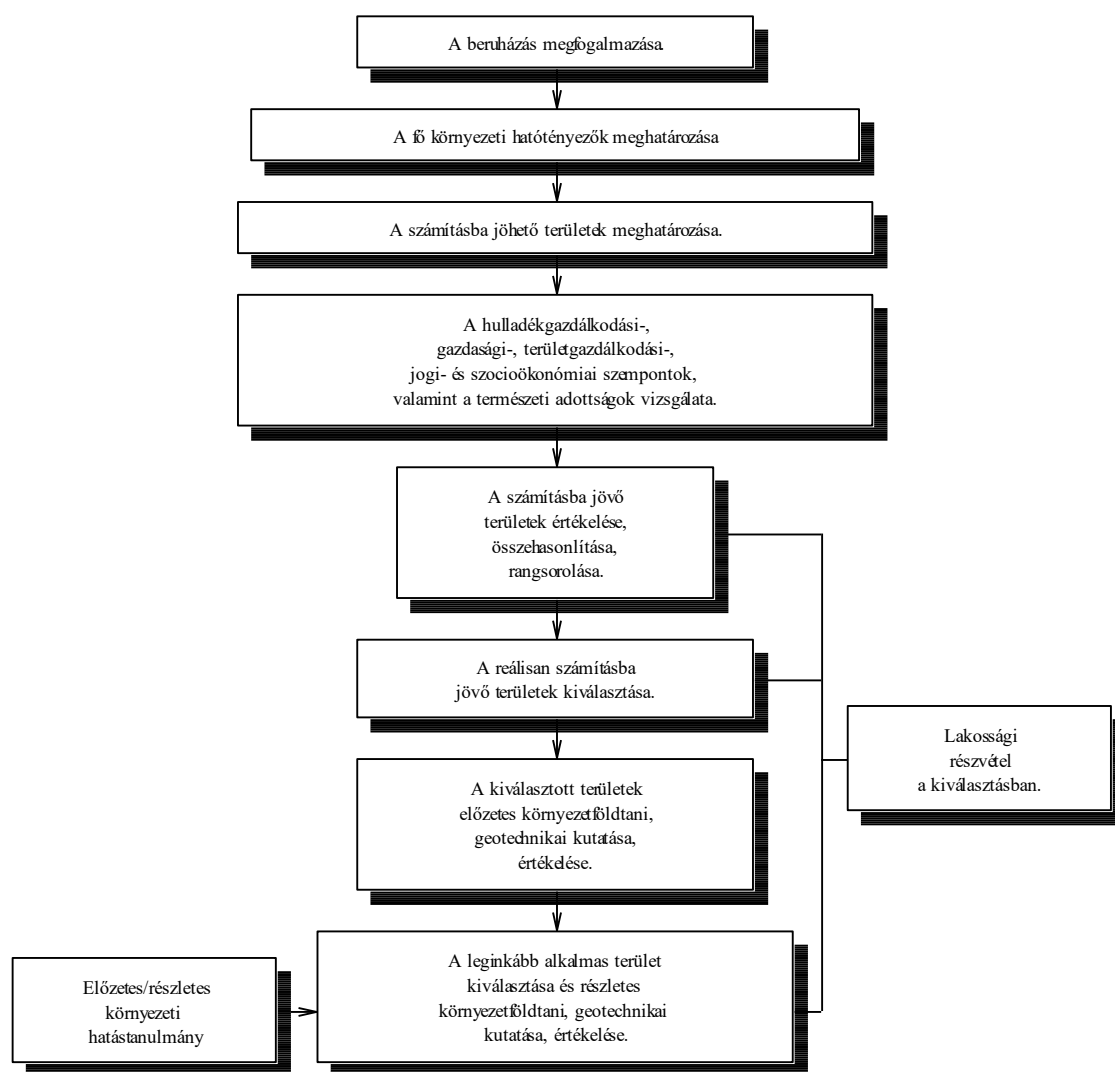
igénybevételének megismerésére, illetőleg az állapotváltozás nyomon követésére szolgáló mérő-, megfigyelő- (együtt észlelő-), ellenőrző hálózat.

Monitoring: a monitoring rendszer működtetése, amely magában foglalja az észlelést, az adatok ismétlődő gyűjtését, ellenőrzését, feldolgozását, nyilvántartását, értékelését és továbbítását.

Eluátum: a laboratóriumi kioldási vizsgálatok során keletkező oldat.

5.2. A HULLADÉKLERAKÓK HELYKIVÁLASZTÁSA

A hulladéklerakó helykiválasztása egy összetett szakmai feladat, amit mindenkor az adott jogszabályok betartása, figyelembe vétele mellett kell elvégezni. A terület-kiválasztás folyamatát a **38. ábra** szemlélteti és látható, hogy számos szempontot, esetenként érdeket figyelembe vevő, nagy gondosságot és körültekintést igénylő feladatról van szó.



38. ábra A területkiválasztás folyamata

5.2.1. A lerakók hely kiválasztásának környezetföldtani követelményei, az alkalmassági kritériumok

A környezetföldtani követelmények meghatározásának alapvető feltétele, hogy a *természeti környezet és a mesterséges védelem együtt* adja a szükséges feltételeket az adott hulladék elhelyezésére. A gyakorlatban a végleges lerakóhelyeknél megkövetelünk egy olyan minimális természetes védelmet, ami egyrészt megnyugtató a környező lakosságra, másrészt védelmet nyújt olyan előre nem látható esetekben, amikor a mesterséges korlátok lebomlanak, roncsolódnak. Ez utóbbi esetben a természetes védelemnek elegendőnek kell lenni arra, hogy a tönkrement mesterséges védelmet helyreállítsák anélkül, hogy közben a környezet károsodna.

A hulladéklerakás feltételeiről szóló 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet előírásai szerint a hulladéklerakó helyének megválasztásánál

- a területfejlesztési;
- a terület- és településrendezési;
- a tájvédelmi;
- a föld, mint környezeti elem, különösen a termőföld védelmével kapcsolatos;
- a geotechnikai, környezet- és vízföldtani;
- a felszíni és felszín alatti vízvédelmi;
- a levegőtisztaság-védelmi;
- a közegészségügyi;
- a természetvédelmi;
- a hulladékgazdálkodási;
- a tűzvédelmi

szempontokat kell figyelembe venni, különös tekintettel a következő követelményekre:

- a hulladéklerakó határának lakó- és üdülőövezetektől, vízi-utaktól, csatornáktól, felszíni vizektől, mezőgazdasági és lakott területektől való távolsága;
- ivóvízbázisok védőidomainak, védőterületeinek helyzete, előfordulása;
- a terület külön jogszabályok szerinti szennyeződés érzékenysége;
- a terület földtani és hidrogeológiai adottságai;
- árvíz, felszínüllyedés, felszínmozgás (csúszás) veszély a területen;
- természeti vagy kulturális örökség védelme.

Hulladéklerakó nem telepíthető:

- a területfejlesztési és területrendezési, valamint településrendezési tervek alapján alkalmatlannak ítélt területeken;
- erősen erózióveszélyes területeken;
- felszíni mozgásveszélyes területen;
- minden olyan karsztos, erősen tört szerkezetű, tagolt kőzetösszetű területen, ahol a felszínen vagy a felszín alatt 10 méteren belül mészkő, dolomit, mész- és dolomitmárga képződmények, illetve tektonikailag erősen tagolt kőzetösszletek találhatók;
- külön jogszabály szerint az üzemelő és távlati ivóvízbázisok, ásvány- és gyógyvízhasznosítást szolgáló vízkivételek kijelölt, vagy kijelölés alatt álló belső-, külső- védőövezetein, illetve hidrogeológiai „A” védőterületein;
- természeti oltalom alatt álló területen;
- energiaszállító vezeték védősávjában;

- működő vagy felhagyott mélyművelésű bánya felszakadási területén belül, ha a mozgások még nem konszolidálódtak, ill. bányaművelésre előzetesen kijelölt terület fölött;
- olyan földrengésveszélyes területen, ahol a várható földrengés maximális erőssége VI. az MKS skálán;
- árvíz-, belvízveszélyes, illetve kármentesítéssel nem rendelkező területen;
- magas talajvízállású területen (a hulladéklerakó szigetelő-rendszerének fenékszintje alatt a mindenkori maximális talajvízszint, illetve a felszín alatti víz nyomásszintje legalább 1,0 méterre legyen).

Veszélyeshulladék-lerakó külön jogszabály (225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet) szerint a *kiemelten érzékeny felszín alatti vízminőség-védelmi területen nem létesíthető*. A rendelet mellékletében részletezett érzékenységi kategóriák területi eloszlása megtalálható az Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) honlapján a térképszerveren.

Az *üzemelő és távlati ivóvízbázisok* kijelölt, vagy kijelölés alatt álló belső-, külső-védőövezeteire, illetve „A” és „B” hidrogeológiai védőterületeire vonatkozó *korlátozásokat a 123/1997. (VII.18.) sz. Korm. rendelet* fogalmazza meg, amelynek a legfontosabb korlátozó rendelkezéseit a **5. táblázat** foglalja össze.

5. táblázat

<i>A védőterületek és védőidomok övezeteire vonatkozó korlátozások a (123/1997. (VII.18.) Korm. rendelet alapján</i>				
Tevékenység	Felszíni és felszín alatti vízbázisok		Felszín alatti vízbázisok hidrogeológiai	
	belső	külső	A	B
	védőövezetek			
Települési folyékonyhulladék lerakó létesítése és üzemeltetése	∅	∅	∅	⊗
Településhulladék-lerakó (nem veszélyes hulladékok)	∅	∅	∅	⊖
Építéshulladék-lerakás	∅	∅	⊖	⊕
Veszélyeshulladék-ártalmatlanító	∅	∅	∅	⊗
Veszélyeshulladék-lerakó	∅	∅	∅	∅
Veszélyeshulladék üzemi gyűjtő	∅	∅	⊗	⊖

Jelmagyarázat:

- ∅ : tilos;
- ⊗ : új létesítménynél, tevékenységnél tilos, a meglévőnél a környezetvédelmi felülvizsgálat/hatásvizsgálat eredményétől függően megengedhető;
- ⊖ : új vagy meglévő létesítménynél, tevékenységnél a környezeti hatásvizsgálat/felülvizsgálat, illetve az ezeknek megfelelő tartalmú egyedi vizsgálat eredményétől függően megengedhető;
- ⊕ : nincs korlátozva.

5.2.2. A földtani közeggel szemben támasztott kritériumok

Hulladéklerakók létesítése esetén a *területnek geotechnikai szempontból az alábbi adottságokkal kell rendelkeznie:*

- a.) *Inert lerakónál 1,0 m vastag, $k \leq 10^{-7}$ m/s, nem veszélyes-, ill. veszélyeshulladék-lerakónál 1,0 ill. 5,0 m vastag, $k \leq 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezőjű földtani közeg (altalaj) vagy vele egyenértékű védelmet nyújtó épített réteg, amelynek a minimális vastagsága 0,5 m. A nemzetközi gyakorlatban az általaj kifejezés általánosan elterjedt és a továbbiakban ezt használjuk. A földtani közeg: a föld felszíne és a felszín alatti rétegei. Az általaj ettől szűkebb fogalom, amelyen a lerakó alatti földtani közeget értjük, amelyre a lerakó potenciálisan veszélyt jelent vagy jelenthet.*
- b.) Az általaj anyagának *agyagásvány-tartalma* a nem veszélyes-, ill. veszélyeshulladék-lerakónál legalább 10 % legyen, rendelkezzen nagy adszorpciós kapacitással. Utóbbi esetben a terület különösen kedvező, ha az általaj *kationcserélő kapacitása* $T > 25$ mekv/100 g, megfelelő, ha 15-25 mekv/100 g közötti érték. Ha $T < 15$, az általaj adszorpciós kapacitása kedvezőtlen, de ez nem kizáró kritérium.
- c.) *A talajvíz maximális nyugalmi vagy nyomásszintje* nem veszélyeshulladék-lerakónál legfeljebb 1,0 m-re veszélyeshulladék-lerakónál legfeljebb 5,0 m-re lehet a lerakó szigetelőrétegének fenékszintjétől. Így kívánatos, hogy a talajvíz maximális nyugalmi vagy nyomásszintje legalább 1,0 ill. 5,0 m-rel az eltávolított humuszréteg utáni felszín alatt legyen, ellenkező esetben a depónia fenékszintjét ki kell emelni.
- d.) Az általaj *szervesanyag-tartalma* max. 5% lehet.
- e.) A lerakó általajának a depónia várható terhelésével szemben *teherbírónak* kell lennie, biztosítania kell, hogy a terhelés hatására bekövetkező deformációk az aljzatszigetelő rendszer hatékonyságát, a depóniatest állékonyságát ne veszélyeztessék.
- f.) Kedvezőtlen, ha felszínközelségben *kis szilárdságú, gyengén konszolidált* rétegek fordulnak elő, mert ezen rétegek összenyomódásából származó *többletsüllyedést* a depóniaaljazat kiemelésével kompenzálni kell.

5.2.3. A lerakó területének környezetföldtani kutatása

A hulladéklerakók helyszínének környezetföldtani kutatása célszerűen egymástól elkülönült fázisokban történik a **6. táblázat** szerint.

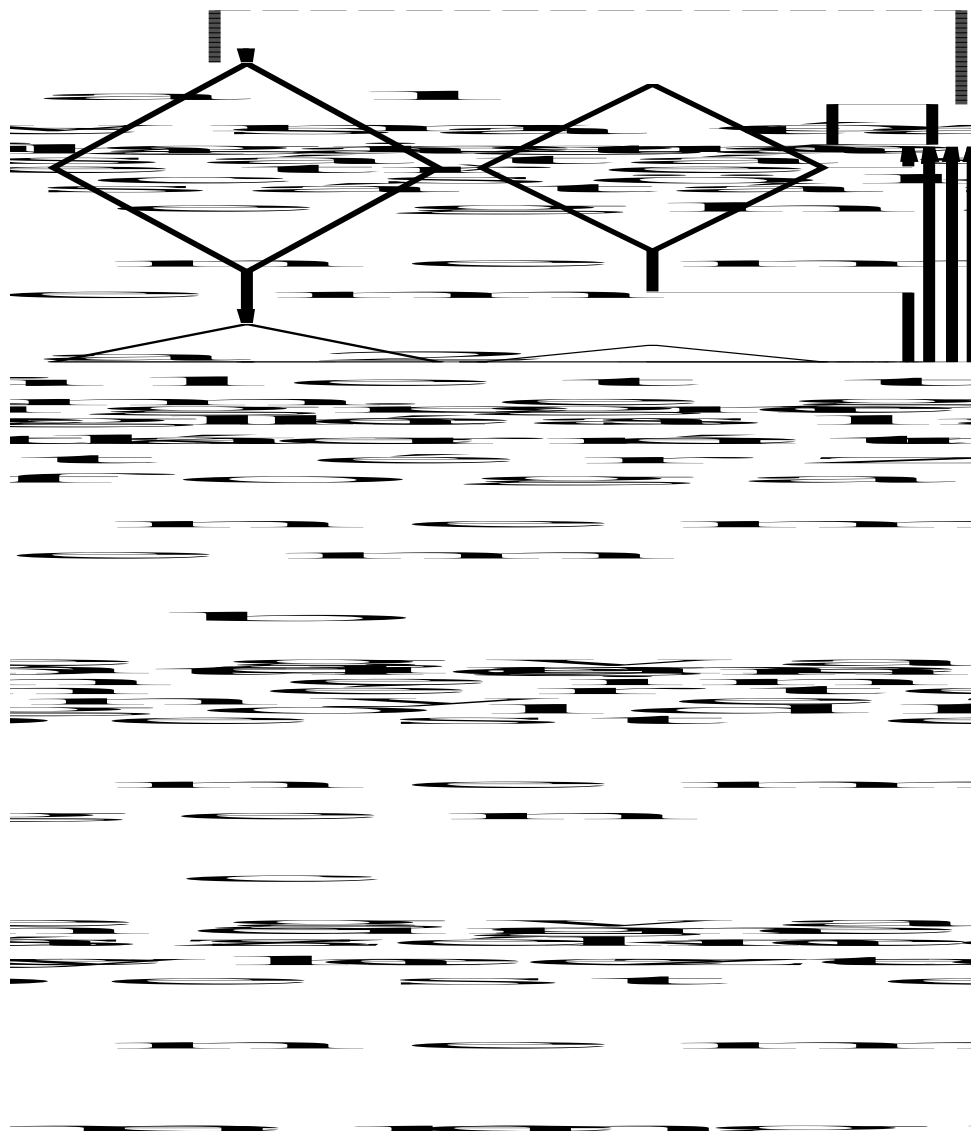
6. táblázat

<i>A hulladéklerakók helyszínének környezetföldtani kutatása</i>	
Kutatási fázis	Elérendő cél
I. Előzetes kutatás	Alternatív területek kijelölése
II. Felderítő előzetes kutatás	Az alternatív területeken eldönthető legyen: az egyes területek alkalmassága, a területek rangsora
III. Részletes kutatás	A kiválasztott, leginkább kedvező területen minden szükséges részletkérdés tisztázása

5.2.4. A potenciálisan számításba jövő területek vizsgálata és értékelése

A hulladéklerakóhely számára kiválasztott terület/területek esetén el kell végezni az *előzetes környezeti hatásvizsgálatot*, amelynek során a környezeti elemek állapotában bekövetkező változásokat értékelni és minősíteni kell, amely után eldönthető, hogy környezetvédelmi szempontból a beruházás megvalósítható-e.

A hatótényezők, a hatásfolyamatok és a közvetlen és közvetett hatásterületek meghatározása nyomán lehetőség nyílik a környezeti elemek állapotában a lerakó és létesítményei által okozott változások értékelésére, majd minősítésére. Az értékelés során *minden környezeti elemre/rendszerre, és a teljes hatásterületre el kell végezni a beruházás megvalósítása következtében kialakuló új környezetállapot és a kontroll környezet kiinduló állapotának az összehasonlítását*. Az értékelés lépéseit összefoglalóan a **39. ábra** szemlélteti.



39. ábra A környezeti elemek állapotában bekövetkező változások értékelése

igen

A *minősítés* bemutatja, hogy a környezeti elemekben és rendszerekben beállt változások mennyire elfogadhatók. Az értékelés során el kell végezni:

- a hatótényezők és a vonatkozó emissziós normák összehasonlítását,
- a környezeti elem/rendszerek kiinduló állapota (kontroll környezet) és a megváltozott állapot összehasonlítását,

- az elemrendszer terhelése és a környezet - illetve természetvédelmi célkitűzések közötti nem határérték jellegű összehasonlítást,
- a lakossági szempontokkal való összevetést.

Az értékelés leglényegesebb és legkritikusabb mozzanata a *környezeti elemek/rendszerek* állapotváltozásának a megítélése. Alapvetően fontos, hogy a megítélés *objektív kategóriák alapján* történjék, aminek alapján a döntés egyértelmű, szubjektív elemektől mentes legyen. A környezeti hatásvizsgálatok törvényi és tartalmi követelményeit a 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet szabályozza.

5.3. A HULLADÉKLERAKÓK OSZTÁLYOZÁSA, KIALAKÍTÁSA

A hulladéklerakók osztályozása több szempont szerint történhet. Az *előkezelés módja*, a *lerakandó hulladék minősítése* szerint megkülönböztetünk:

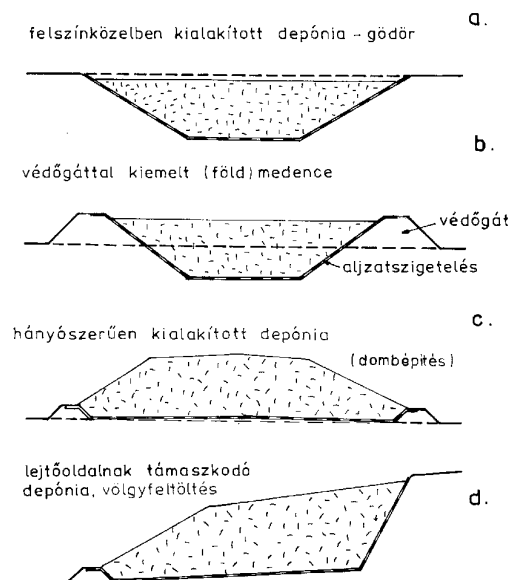
- veszélyeshulladék-lerakót;
- nem veszélyeshulladék-lerakót;
- inerthulladék-lerakót.

A vonatkozó rendelet a fenti besorolás alapján határozza meg a depóniák kialakításának műszaki követelményeit, amit a későbbiekben tárgyalunk.

Az *építési mód szerint* megkülönböztetünk:

- feltöltéssel épített hulladéklerakókat (depóniákat);
- tárolószerűen kialakított lerakókat.

A talaj felszínén vagy felszínközelben épített hulladék lerakók típusait a **40. ábra** szemlélteti.



40. ábra Feltöltéssel épített hulladéklerakó típusok (BRANDL, 1989.)

A feltöltéssel épített depónia a leginkább hagyományos forma, és a köztudatban szinte ez a kizárólagosan értelmezett "hulladéklerakás". Az így kialakított depóniák - ellentétben a

tárolószzerűen kialakítottakkal - nem rendelkeznek teherviselő szerkezeti elemekkel, mivel az oldalhatárolást biztosító védőgátaknak csak másodlagos jelentőségük van.

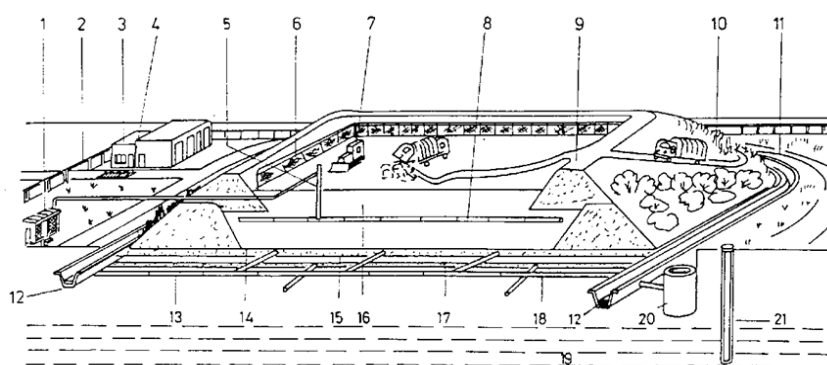
A felszínközeli kialakított depóniagödörök tájképileg a leginkább elrejtethők, esetenként a meglévő bányagödörök - ha a megkívánt feltételek biztosíthatók - gazdaságosan kihasználhatók. Legfőbb hátránya ezen kialakítási módnak az, hogy a keletkező csurgalékvíz és az üzemelés során a nyitott részekben bejutó csapadékvíz elvezetése nehézkes, ill. a megoldás jelentős többletberuházást igényel, a szabad kifolyás, elvezetés nem biztosított. Mindez egy esetleges szennyeződés állandó kockázatát is jelenti. A megépített aljzatszigetelő rendszer meghibásodása legjobb esetben is csak szektorálisan határolható be, és nehezen lokalizálható, javítható.

A védőgáttal kiemelt medenceformájú depóniákat leginkább iszapülepítőként, vagy folyékony és iszapszerű ipari hulladékok tárolására alkalmazzák. Különösen elterjedt az alkalmazása a bányaiiparban, az előkészítőműveknél és a kohászatban, főként monodepóniaként. A fenékszívargónak különösen hatékonynak kell lennie.

A hányószerűen, dombépítéssel kialakított depóniák előnye, hogy a hulladéktér gázmentesítése és víztelenítése technikailag viszonylag egyszerűen megoldható és jobban ellenőrizhető, mint a gödör feltöltés. További előny, hogy a domb magasságának a növekedésével az altalaj további konszolidációja révén a szivárgási tényező értéke kedvezően csökkenhet. A dombmagasságot a topográfia és az altalaj teherbíróképessége határozza meg. Magyarországon az utóbbi években épített vagy tervezett ilyen típusú lerakók hulladékfeltöltési magassága 20-30 m.

A völgyoldalnak támaszkodó depóniák többnyire jól illeszkednek a helyi topográfiai viszonyokhoz és előnyük a hatékony víztelenítés lehetősége.

Egy-egy hulladéklerakó - kialakításától függetlenül - ma már valóságos nagyüzemnek tekinthető. Tervezése, kialakítása különböző területen dolgozó szakemberek összehangolt munkáját kívánja meg. A 41. ábra egy rendezett lerakó metszetét szemlélteti, feltüntetve a lerakó biztonságos üzemeltetésének a szükséges/lehetséges elemeit.

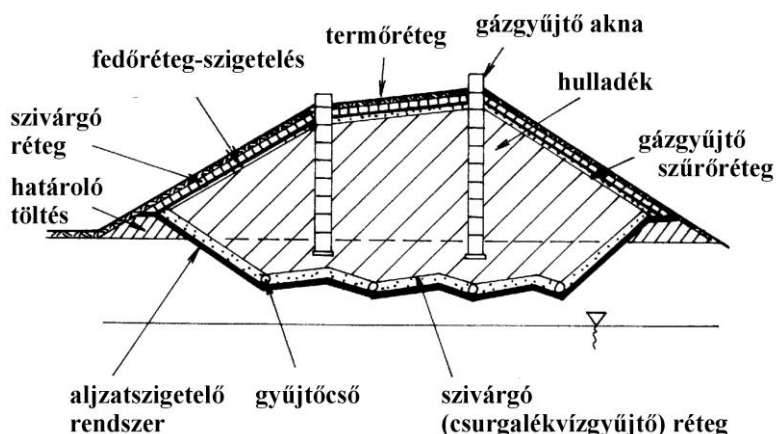


1. gépház, biogáz-szivattyú	12. vízelvezető övárak
2. bejárat és kerítés	13. szivárgó víz elvezetés
3. bejárat ellenőrzés	14. homokos kavics réteg
4. hidmérleg	15. talajfeltöltés magas talajvíznél
5. biogázszívó kút szállításóval	16. tömörített hulladék
6. papírfogó háló vagy palánk	17. homokréteg szivárgóvíz vezetékekkel
7. hulladéktömörítés	18. vízzáró altalaj és műszaki védelem
8. biogázgyűjtő vezeték	19. talajvíz
9. védőtöltés, lezárás	20. víznyelő akna
10. zöld növényzet	21. talajvíz figyelőkút
11. körforgalom	

41. ábra A rendezett lerakó lehetséges modellje (THOME - KOZMIENSKY, 1987.)

5.4. A HULLADÉKLERAKÓK SZIGETELÉSE

A depóniák szigetelőrendszere záró- és aljzatszigetelő rendszerből áll, és a kettő együtt a teljes hulladéktömeget körbezárja, a külvilágtól elszigeteli. A körbezárás akkor megfelelő, ha mindkét elem szigetelő hatása tartós, és a szennyező anyagok csak az ellenőrzött csurgalékvíz, valamint a gázgyűjtő és -elvezető vezetékekben lépnek ki. A depóniák szigetelőrendszerének elemeit a **42. ábra** szemlélteti.



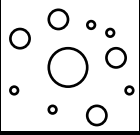
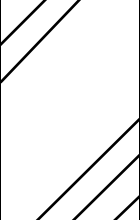
42. ábra Hulladékdepónia szigetelőrendszerének az elemei

Az aljzat-és zárószigetelő rendszernek a következő követelményeknek kell megfelelnie: (STIEF, 1985.; FRANZIUS, 1987.):

- vízzáróság csapadékvízzel szemben, hőállóság 70°C-ig,
- depóniagázokkal szembeni szigetelőképeség,
- depóniaterheléssel (mechanikai, kémiai, biológiai) szembeni ellenállóképesség,
- képes legyen elviselni a bekövetkező süllyedéseket,
- kiszáradással szembeni ellenállóképesség,
- mikroorganizmusokkal, rágcslókkal, a növényzet gyökérzetével szembeni ellenállóképesség,
- erózió- és fagyállóság,
- technikailag egyszerű beépíthetőség,
- az építési- és üzemeltetési fázisban a tömörség és szigetelőképeség ellenőrzésének a lehetősége,
- sérülés, rongálódás esetén javíthatóság,
- gazdaságosság.

5.4.1. Az aljzatszigetelő rendszer felépítésének a szabályozása

Az 1999/31/EK irányelv az általajjal szemben rendkívül szigorú előírásokat tartalmaz mind a veszélyes mind a nem veszélyes hulladékok lerakója esetén. Ugyanakkor a tagországok számára megadja a lehetőséget, hogy az aljzatszigetelés telepítésére vonatkozó általános és specifikus követelményeket egyedileg fogalmazzák meg, előírva, hogy mindkét lerakó típusnál szükséges a megléte (**43. ábra**).

RÉTEG/PARAMÉTER		KÖVETELMÉNY		
		Veszélyes hulladék	Nem veszélyes hulladék	Inert hulladék
		lerakó esetén		
	Szivárgóréteg Vastagság (d_s)	$d_s \geq 0,5 \text{ m}$	$d_s \geq 0,5 \text{ m}$	A tagállam egyedileg szabályozza
	Épített szigetelőréteg (természetes és mesterséges)	Felépítését a tagállamok egyedileg határozzák meg		
	Altalaj Vastagság (d_a) Szivárgási tényező (k_a)	$d_a \geq 5,0 \text{ m}$ $k_a < 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	$d_a \geq 1,0 \text{ m}$ $k_a \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	$d_a > 1,0 \text{ m}$ $k_a < 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$
		Vagy: legalább 0,5 m vastag, egyenértékű épített réteg		

43. ábra Az aljzatszigetelő-rendszer felépítése az 1999/31/EK irányelv alapján

Hazánkban az egyes hulladéklerakó kategóriákra vonatkozó aljzatszigetelés kialakításának követelményeit a 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet 1.sz. melléklete szabályozza. A rendelet messzemenően figyelembe veszi az 1999/31/EK irányelveket, valamint a 2003/33 EK direktívának megfelelő lerakó típusokat. A különböző típusú hulladékok lerakóira (inert – nem veszélyes hulladék – veszélyes hulladék) vonatkozó előírásokat a **44. ábra** szemlélteti.

Az ábrákon megtaláljuk az egyes rétegekkel és műszaki védelmi elemekkel szemben támasztott követelményeket, kritériumokat, méreteket.

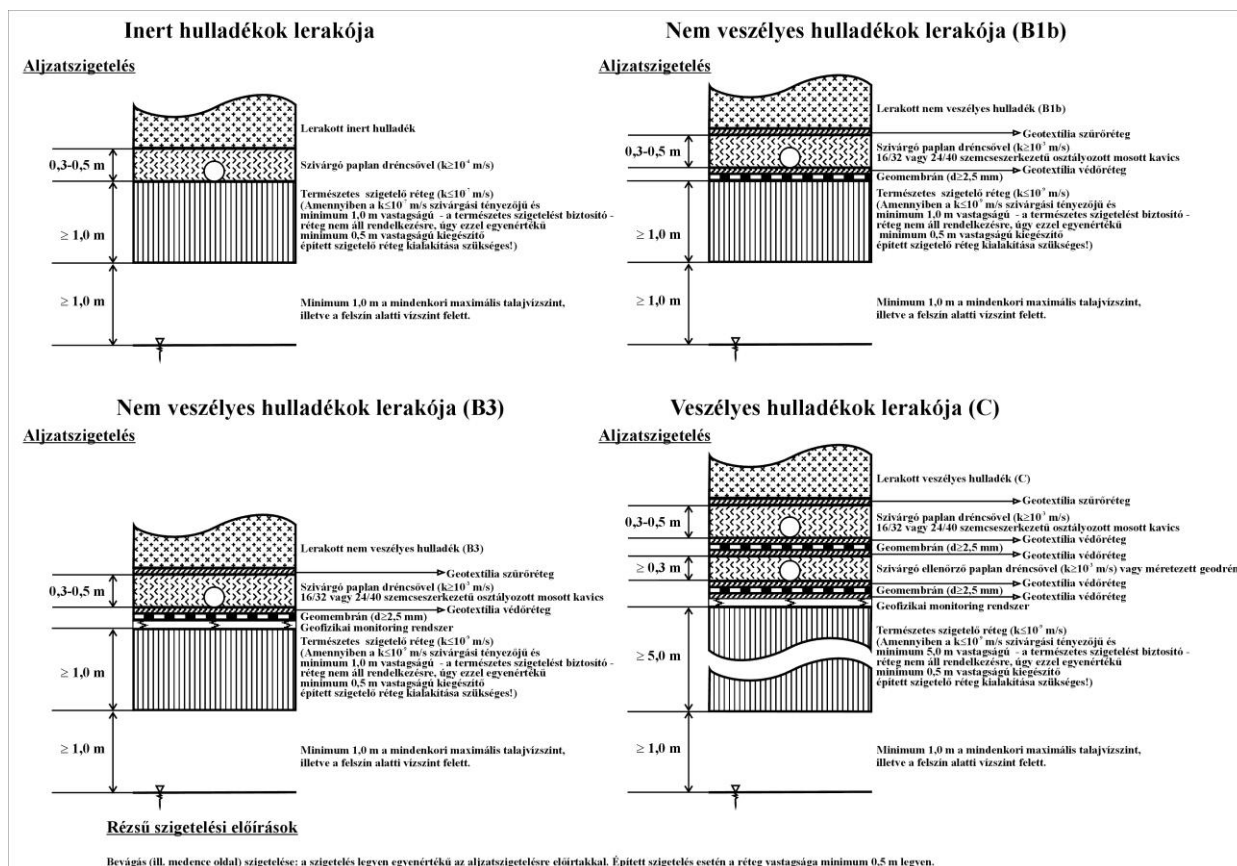
A földtani közeg szigetelési- és szennyezőanyag visszatartó-képességének hatékonyságát az határozza meg, hogy a hulladéklerakó alatti, és a hulladéklerakót körülvevő geológiai, hidrogeológiai és geotechnikai feltételek megfelelő védelmet nyújtanak-e a földtani közeget és a felszín alatti vizet fenyegető potenciális veszély elhárítására.

A hulladéklerakó aljzat- és oldalszigetelését olyan természetes anyagú rétegből kell megépíteni, amely legalább az alábbiakkal egyenértékű szivárgási tényező értékeket és vastagsági követelményeket elégít ki:

- veszélyeshulladék-lerakónál: $k \leq 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$; vastagság $\geq 5 \text{ m}$;
- nem veszélyeshulladék-lerakónál: $k \leq 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$; vastagság $\geq 1 \text{ m}$;
- inerthulladék-lerakónál: $k \leq 1,0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$; vastagság $\geq 1 \text{ m}$.

Amennyiben a fenti tulajdonságokkal rendelkező természetes szigetelő réteg nem áll rendelkezésre, úgy ezzel egyenértékű szivárgási tényező értéket biztosító minimum 0,5 méter vastagságú, kiegészítő épített szigetelő réteg kialakítása szükséges. Egyenértékűnek tekinthető

az a két szigetelő réteg, amelyeket az alkalmazás feltételei mellett azonos kumulatív transzport jellemez. A hulladéklerakó szigetelésénél betartandók a **7. táblázat** előírásai.



44. ábra A hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere felépítésének szabályozása

7. táblázat

<i>A csurgalékvíz gyűjtésre és aljzatszigetelésre vonatkozó előírások</i>			
Hulladéklerakó kategória	Inert	nem veszélyes	veszélyes
Épített szigetelőréteg	nem előírt	előírt	előírt
Szivárgóréteg	előírt ($\geq 0,3-0,5$ m)	előírt ($\geq 0,3-0,5$ m)	előírt ($\geq 0,3-0,5$ m)

Az épített szigetelő réteg minimális vastagsága 0,5 m, amely szükség szerint több szigetelőanyag-réteg kombinációjával is elérhető. A hulladéklerakó szigetelőrendszerének fenékszintje és a maximális talajvíz szintje, vagy nyomásszintje között legalább 1 méter távolságot kell tartani.

Mint látható az új miniszteri rendelet a 90-es évek gyakorlatához képest lényegesen szigorúbb:

- Az altalajnál (földtani közeg) nem veszélyeshulladék-lerakónál 1,0 méter veszélyeshulladék-lerakónál 5,0 m vastag, $k \leq 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezőjű természetes településű réteget kíván meg. Inerthulladék-lerakónál a vízzárósági követelmény értelemszerűen kisebb ($k \leq 10^{-7}$ m/s). Amennyiben ez a réteg nem áll rendelkezésre, úgy

az előírttal egyenértékű és legalább 0,5 m vastag kiegészítő épített szigetelő réteget ír elő. Ez azt jelenti, hogy az altalaj adottságok hiánya csak természetes anyagú és épített réteggel pótolható.

- Rendkívül fontos és előremutató, hogy az egyenértékűségnél az azonos szennyezőanyag-visszatartó képességet írja elő,
- A korábbi lerakó rendelethez képest változott a csurgalékvízgyűjtő réteg vastagságára vonatkozó előírás (lásd **44. ábrán**). A rendelet szerint a vastagsága 0,3-0,5 méter között lehet, *a 0,5 méternél kisebb rétegvastagságot méretezéssel kell indokolni, azonban a minimális vastagság itt sem lehet kevesebb, mint 0,3 m.* Lejtős, rézsús felületen mind beépítési, mind állékonysági (megcsúszás) problémák felléphetnek, itt sok esetben kedvezőbb lehet a *geoműanyagok (geodrén, geokompozit, geoszintetikus-agyag az ún. bentonitszőnyeg)* alkalmazása, amennyiben azok az előírttal azonos védelmet biztosítanak.

A rendelet hatályba lépésével különös gond fordítandó a terület földtani, hidrogeológiai, geotechnikai kutatására, vizsgálatára, hiszen az altalaj megfelelő vízzáróságát ebben a fázisban kell igazolni, szemben az épített réteg kivitelezésekor végzett helyszíni ellenőrzéssel.

5.4.2. A hulladéklerakók lezárása, a felső záró szigetelőrendszer felépítése

A hulladéklerakónál elérve a végleges magasságot, gondoskodni kell a lezárásáról, amelynek feladata és rendeltetése a következő:

- az infiltráció megakadályozása, ill. a minimálisra csökkentése;
- növeli a biztonságot az aljzatszigetelőrendszer esetleges meghibásodása esetén;
- biztosítható a gázemisszió teljes kontrollja;
- megakadályozza a depónián lefutó csapadékvizek érintkezését a hulladékkal, s ezáltal a környezet felszíni, felszín alatti szennyeződését;
- megakadályozza a szennyeződés szél általi továbbszállítását;
- megakadályozza a hulladék közvetlen kapcsolatát az állatokkal és az emberekkel;
- csökkenti a depónia területén az eróziót, elősegíti a rekultivációt.

Az új 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a zárószigeteléseknél a *végleges záró-szigetelőrendszer* mellett előírja az *átmeneti záró-szigetelőrendszer beépítését*.

A rendelet szerint:

- A *végleges záró-rétegrendszer rendeltetése* a csapadékvíznek a hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása, a csurgalékvíz képződésének (és kezelésének) lehetősége szerinti csökkentése, továbbá a környezetbe való potenciális kijutásának megelőzése.
- Az *átmeneti záró-rétegrendszer legfontosabb feladata*, hogy tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, a hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlásának meggyorsítását és a rendszer stabilizálódását, a végleges záró-réteg kiépítése érdekében. Beépítését indokolja, hogy a hulladék konszolidációja, a lebomlás-stabilizálódás során a lerakó felszínén jelentős süllyedések várhatók, amit a végleges záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedezéséhez vezetne, ami végül is a szigetelőképeség hatékonyságának jelentős csökkenését eredményezi.

A fentiekből következik, hogy mindazoknál a lerakóknál, amelyekre az új lerakórendelet vonatkozik, a zárószigetelőrendszer végleges kiépítése időben eltolva, két lépcsőben történik. A

stabilizálódás bekövetkezését a lerakó-gáz mennyiségének és összetételének, a csurgalékvíz mennyiségének és összetételének, valamint a felszínsüllyedésnek az idő függvényében történő mérésével lehet értékelni. Ha *a stabilizálódás bekövetkezett*, akkor *ki lehet építeni a végleges záró-réteget*.

5.4.2.1. A hulladéklerakók átmeneti záró-szigetelőrendszere

Az *átmeneti (ideiglenes)* záró szigetelőrendszer megépítését a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet 4. sz. melléklete szabályozza.

A megfelelő hulladékbetöltési-, feltöltési magasság elérése után a lerakó vagy annak egy része bezárásra/lezárásra kerül. Azzal, hogy a lerakót lezárjuk a *hulladék-konszolidáció folyamata nem áll meg*, tovább folytatódik/megindul a *hulladék lebomlása*, valamint a *mechanikai konszolidáció*, azaz *még hosszú ideig jelentős csurgalékvíz-mennyiséggel és felszínmozgással/süllyedéssel kell számolnunk*. Annak érdekében, hogy:

- a hulladék lebomlásához optimális feltételeket biztosítsunk,
- a végleges záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedések miatti tönkremenetelét (funkcionális) megakadályozzuk ill. megelőzzük,

célszerű a lezárás első fázisában egy ideiglenes, átmeneti záró-szigetelőrendszert beépíteni. *Inert hulladékok lerakójánál, ill. olyan veszélyeshulladék-lerakóknál, ahol a hulladék lebomlásával, a hulladéktest jelentős konszolidációjával nem kell számolni, ideiglenes záró-szigetelőrendszer megépítése nem szükséges.*

Az átmeneti záró-szigetelőréteget mindaddig üzemeltetni kell, amíg a hulladéktest biológiai és mechanikai stabilizációja/konszolidációja be nem következik.

Az átmeneti záró szigetelőrendszertől *elvárt követelmények*:

- az alkalmazott anyag a várható süllyedéseket tönkremenetel, jelentősebb hatékonyságcsökkenés nélkül el tudja viselni;
- segítse elő a minimális csurgalékvíz-képződést;
- akadályozza meg a csapadékvíznek a kívánatosnál nagyobb mértékű beszivárgását a depóniába;
- tegye lehetővé a depóniagáz ellenőrzött kezelését.

Ellentmondani látszik egymásnak az a követelmény, hogy akadályozza meg a csapadékvíz bejutását a depóniatestbe (minimális csurgalékvízképződés), de mégis *engedjen át annyi vizet, amennyi a hulladéklebomlási folyamathoz szükséges*. Valójában ezen utóbbi funkció betöltése a legnehezebb, és ez az oka annak, hogy az *átmeneti záró-szigetelőrendszer felépítésének rétegrendjére nem adható egy általános mindenhol alkalmazható generális megoldás. Minden lerakó egyedi mérlegelést, egyedi tervezést, egyedi rétegrendet igényel.*

Az átmeneti záró-szigetelőrendszer anyaga kiválasztásánál *figyelembe veendő szempontok*:

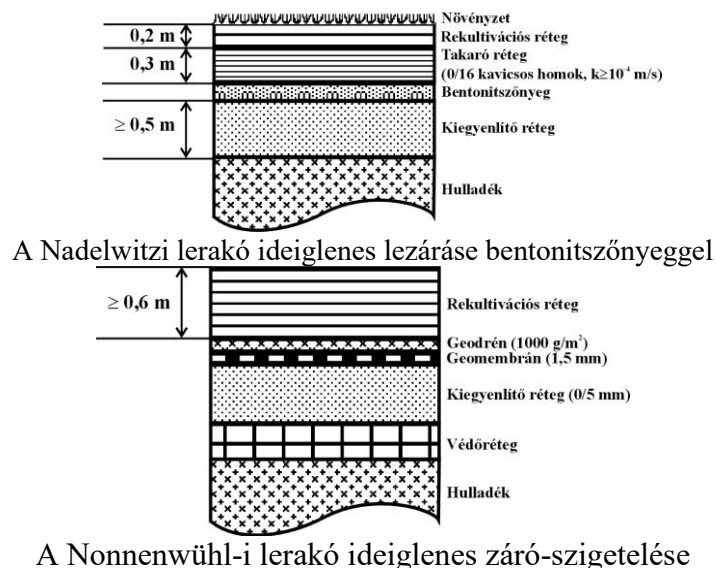
- megkívánt vízzáróság;

- időtartam;
- széljárás;
- fagyérzékenység;
- erózióveszély;
- beépíthetőség (aljzat, rézsű);
- újrafelhasználhatóság, a végleges záró-szigetelőrendszerbe való integrálhatóság;
- visszabonthatóság;
- költségek.

Az alternatív záró-szigetelőrendszer felépítésénél leginkább *számításba jövő anyagok*:

- ásványi anyagú szigetelések,
- geomembránok,
- bentonit szőnyegek,
- keverék talajok.

Az ideiglenes lezárásra mutat be példát a **45. ábra**.



45. ábra Példák ideiglenes zárószigetelési megoldásokra

5.4.2.2. A hulladéklerakó végső záró-szigetelőrendszere felépítésének szabályozása

A depóniák végleges lezárására túlnyomórészt természetes- és mesterséges anyagú (elsősorban az aljzatszigetelőknél is megismert műanyag fóliák) szigetelőrétegek jönnek számításba.

Általánosan elmondható, hogy a zárószigetelő-rendszernek a következő elemei vannak (a hulladéktól a felszín felé haladva):

- kiegyenlítő réteg,
- gázvezető (gázmentesítő) réteg,
- szigetelő rétegek:
 - természetes anyagú,
 - mesterséges anyagú,
- szivárgó paplan,

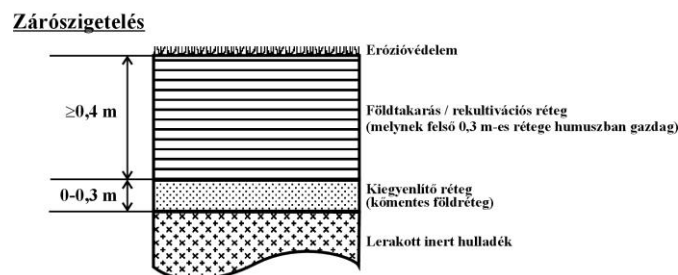
- szűrő réteg,
- rekultivációs réteg,
- termőtalaj.

A lezáró rendszer méretezésénél figyelembe veendő:

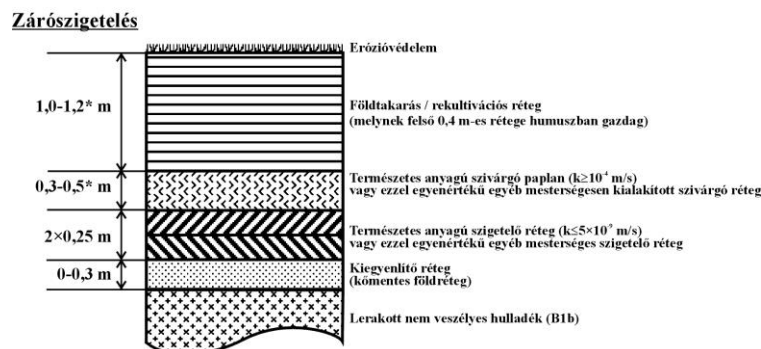
- a földmunkára beépítésre, tömörítésre vonatkozó előírások;
- a rendszer kellő biztonsággal rendelkezzen a *megcsúszással szemben*;
- a geomembrán és a geotextília megfelelő szilárdsági jellemzőkkel rendelkezzen a *mechanikai igénybevételekkel szemben*;
- ellenálló legyen a kémiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);
- ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);
- ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (növényi gyökérzet, rágcsálók, mikrobiológiai átalakulási folyamatok);
- a hulladék tömörödésének, konszolidációjának hatására bekövetkező felszínsüllyedés.

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a hulladéklerakók lezárásának szabályozását a **46-49. ábrák** szerint írja elő.

Inert hulladékok lerakója



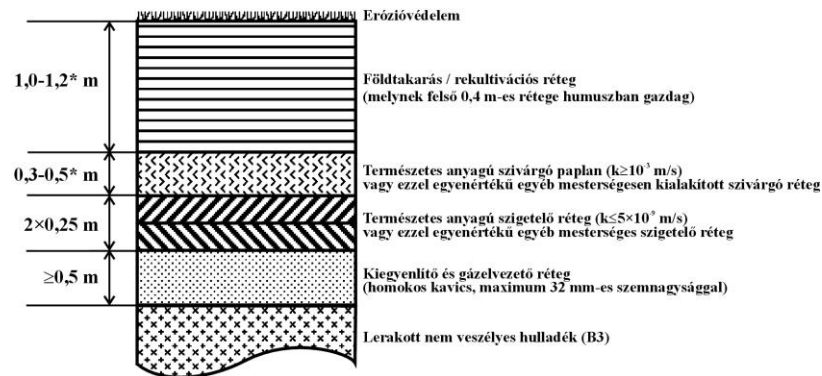
46. ábra Az inert hulladékok lerakójának felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása
Nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b)



47. ábra A nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

Nem veszélyes hulladékok lerakója (B3)

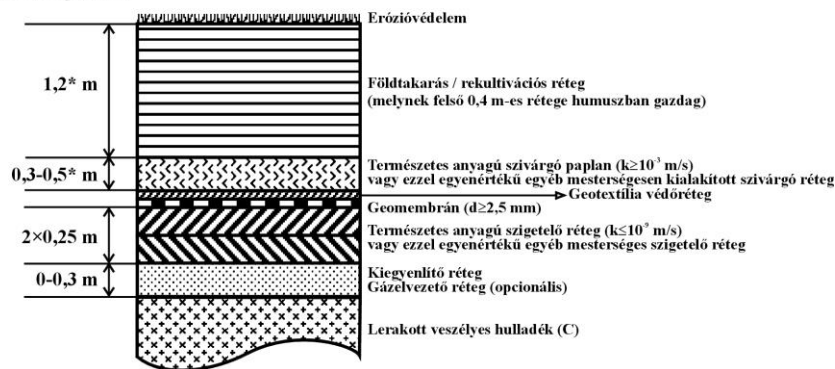
Zárószigetelés



48. ábra A nem veszélyes hulladékok lerakója (B3 kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

Veszélyes hulladékok lerakója (C)

Zárószigetelés



49. ábra A veszélyeshulladék-lerakó (C kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

A **B1b** ill. **B3** típusú lerakóknál a végső záró-szigetelő rendszer felépítése azonos, azonban a B3 típusnál célszerű a *szigetelőréteg alá egy monitoring rendszer* beépítése. A nemzetközi gyakorlat egyre inkább a zárószigetelés monitorozását részesíti előnyben az aljzatszigetelésével szemben, mert egy esetleges meghibásodás során a zárószigetelés javítása egyszerűbben, gazdaságosabban oldható meg. Monitoring rendszer alkalmazásával számításba jöhetnek a hidraulikailag egyenértékű, de esetleg sérülékenyebb, gazdaságosabb *alternatív zárószigetelő megoldások* is.

5.5. A CSURGALÉKVÍZGYŰJTŐ RENDSZER

Az aljzatszigetelő rendszernek szerves része egy, a *csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgáló hatékony szivárgórendszer*, amit összefoglaló néven *csurgalékvízgyűjtő*

rendszernek nevezünk. Mint már a neve is jelzi, itt is egy *több, önálló funkcióval rendelkező elemből felépülő rendszerről van szó.*

A hulladék és az első szigetelőréteg közé kerülő szivárgórendszer (szivárgópaplan) is legalább két rétegből épül fel. A szigetelőrétegre kerül a *csurgalékvízgyűjtő és elvezető* rendszer, majd e réteg és a hulladék közé egy *szűrő-védő réteget* építenek be. Funkciója – mint a neve is mutatja – kettős: egyrészt elősegíti a csurgalékvíz bejutását a gyűjtő és elvezető rendszerbe, másrészt védi azt a hulladékból bemosódó finom szemcsék bejutásától, megakadályozva eltömődését. A réteget - akár természetes anyagú (laza szemcsés közet), akár műanyag (műszaki vagy geotextília) - méretezni kell. Ugyancsak méretezni kell a csurgalékvízgyűjtő rendszert, hogy a szigetelőrétegnél a megengedettnél nagyobb hidraulikus gradiens ne alakuljon ki, azaz a lejutó csurgalékvizeket visszaduzzasztás nélkül tudja elvezetni.

A *második szivárgóréteg*, ha van (lásd veszélyeshulladék-lerakóknál) az első szigetelőréteg alá kerül, és úgyszintén kettős célt szolgál: elsődleges az *ellenőrzési funkció* (jelzi a szigetelőrendszer meghibásodását) és másodlagos a *gyűjtő-elvezető funkció*.

A 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet 1.sz. mellékletének 1.3.3. pontja szerint a csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírásokat a **8. táblázat** foglalja össze.

Ha az előzetes felmérések alapján a hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatását követően megállapítást nyert, hogy a hulladéklerakó nem jelent potenciális veszélyt a földtani közegre, a felszín alatti vagy felszíni vízre, azaz a csurgalékvízgyűjtő rendszer vastagságát, a dréncsőtávolságot, az esésviszonyokat elfogadott méretezés alapján határozzuk meg, akkor lehetőség van a kisebb vastagsági érték választására. A 0,5 méternél kisebb rétegvastagságot méretezni kell.

8. táblázat

	Inert hulladéklerakó	Nem veszélyes hulladékok lerakója	Veszélyeshulladék-lerakó	
			Felső szivárgó paplan	második szivárgó-ellenőrző réteg
Vastagsága (m)	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3
Anyaga	16/32 v. 24/40 mosott kavics	16/32 v. 24/40 mosott kavics	16/32 v. 24/40 mosott kavics	–
Megkívánt k tényező (m/s)	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$

Abból adódóan, hogy a csurgalékvízgyűjtő rendszer eleget tegyen a vonatkozó rendelet előírásának, de ugyanakkor a kialakítása is a lehető leggazdaságosabb legyen, a méretezéskor az alábbi problémákat kell megoldani

- a csurgalékvízgyűjtés hatékonyságának a hosszútávú biztosítása;
- a megfelelő anyag kiválasztása;
- hatékony csurgalékvíz-elvezetést biztosító dréncsőtávolság – rétegvastagság-esés viszony megválasztása.

Amennyiben a réteg a *szűrő és szivárgó funkciót is betölti*, vagyis nincs felette külön szűrőréteg, úgy azt a *szűrőszabály szerint méretezni kell az eltömődés megakadályozása érdekében*.

A szűrőrendszerek (szűrőréteg, geotextília, dréncsövek) a leggondosabb tervezés mellett is idővel veszítenek hatékonyságukból, eltömődhetnek. Az eltömődés okai mechanikai, fiziko-kémiai, mikrobiológiai.

A mechanikai okokra visszavezethető eltömődést a finomabb szemcsék bemosódása okozza. Ez a hatás elkerülhető, ha a szivárgóréteg megfelelő *mechanikai és szűrő stabilitással* rendelkezik. A mechanikai stabilitás gyakorlatilag a *megfelelő szemcseméretű* réteget, míg a szűrő stabilitás a *megfelelő szemcseeloszlású* réteget jelenti. A mechanikai stabilitás az előírásoknak megfelelő szemcseméretű szűrőrétegnél a *szűrőszabály* betartása mellett biztosítható.

A *fiziko-kémiai és mikrobiológiai* hatások általában együtt jelennek meg az eltömődéssel, és az eredménye az ún. *inkrusztáció*, amikor elsősorban vasoxidok és karbonátok kiválása révén a hatékony pórustér jelentősen csökken.

A szűrőréteg fiziko-kémiai és mikrobiológiai okokra visszavezethető inkrusztációja ellen védekezni nehéz, mert a csurgalékvíz összetételét, pH és redox-potenciál értékét, hőmérsékletét befolyásolni nemigen tudjuk. A folyamatot lehet lassítani, ha:

- növeljük a szűrőrétegben az áramlási sebességet;
- növeljük a szűrőréteg hézagméretét;
- csökkentjük a szűrőréteg fajlagos felületét.

A fentieket elősegíthetjük azáltal, ha:

- a szűrőréteg megfelelő vastagságú (0,3-0,5 m) és anyaga mosott, jól kopatott, kis karbonáttartalmú (<20%), gömbölyded szemcsékből áll;
- megakadályozzuk a finomabb szemcsék bemosódását;
- a csurgalékvízgyűjtő rendszer megkívánt kereszt és hosszirányú esését biztosítjuk;
- megfelelő méretű dréncsövet alkalmazunk, amelynél a perforált felület aránya a mechanikai stabilitást még biztosító lehető legnagyobb;
- a dréncső hálózat lehetőleg ellenőrizhető és utólagosan tisztítható.

Különösen fontos, hogy a *hézagméret növelésével, a fajlagos felület csökkenésével csökken az inkrusztációra való hajlam*, ezért nagyon fontos a KÖM rendeletben előírt szivárgási tényező ($k > 10^{-3}$ m/s) kritérium mellett a szemcseméretre (16/3-24/40 mosott kavics) vonatkozó követelmény teljesítése is, mert a $k > 10^{-3}$ m/s szivárgási tényezőt már egy homokos-kavics réteggel is biztosítani lehetne.

A depóniaépítésnél számos esetben előtérbe kerülhet, vagy megfontolandó lehet a *geokompozitok* alkalmazása a szemcsés anyagú szivárgóréteg helyett. Ilyen lehetőségek például:

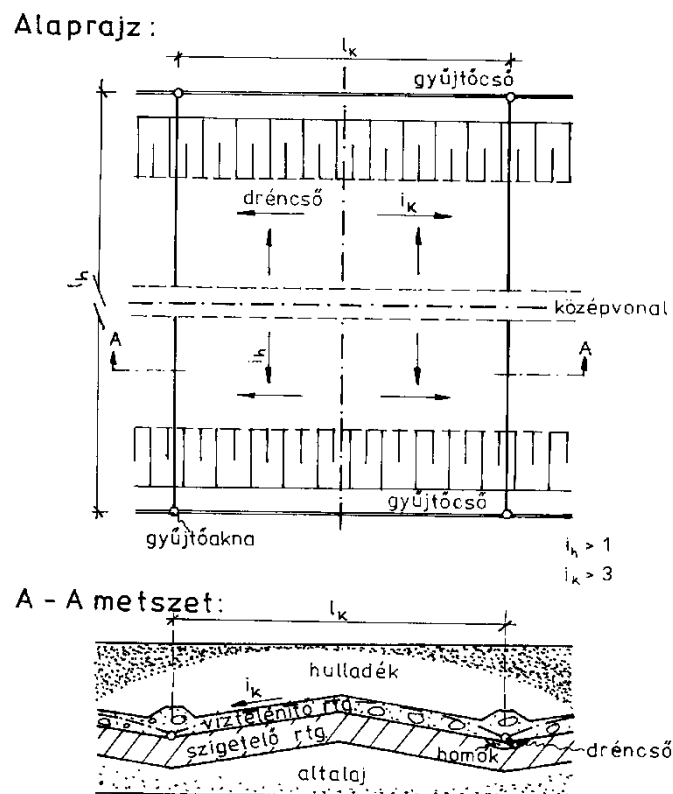
- völgyfeltöltéssel épülő lerakóknál a meredekebb aljzaton gondot okozhat a szivárgóréteg stabilitása, megcsúszása,
- támasztótöltések szigetelésének a kialakításakor,

- zárószigetelések szivárgórétegeként,
- a két geomembrán közötti második, ún. szivárgó-ellenőrző réteggént.

Ugyanakkor általános elvként kimondhatjuk, hogy felső (első) szivárgóréteggént, kis esésű aljzaton alkalmazásuk nem megengedett, mert kis szerkezeti vastagságuk miatt nem teljesül az a feltétel, hogy az elvezetendő csurgalékvíznek a szivárgórétegen belül kell maradnia.

A geokompozit szivárgórétegek általában két szűrőréteg (ami többnyire geotextília) között lévő műanyag szivárgórétegből (geoháló, georács, stb..) épülnek fel.

A csurgalékvízgyűjtő rendszer alaprajzi elrendezését és metszetét egy általános esetre a **50. ábra** mutatja be. Az ábra szerinti esetben a rendszer szektorokra osztott.



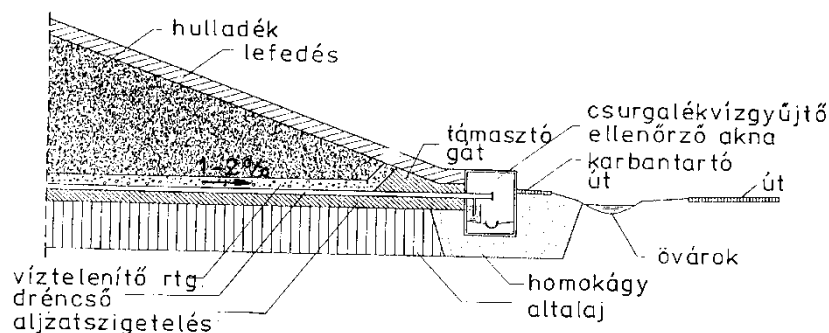
50. ábra A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (RAMKE, 1991.)

A lejutó csurgalékvíz a depónia középvonalától kifelé i_h hosszirányú és i_k keresztirányú eséssel kialakított aljzatszigetelő rendszerre kerülő víztelenítő rétegből, annak a mélyvonalába helyezett *dréncsőbe* jut be. A dréncső a *gyűjtőaknába* torkollik. A gyűjtőakna kerülhet mind a depónia szigetelt alapfelületén kívülre, mind az alapfelületen belülre. A dombépítéssel kialakított depóniáknál a gyűjtőakna célszerűen a *támasztó töltésen kívülre* (**51. ábra**), míg a medenceszerűen kialakított lerakóknál többnyire a *lerakón belülre* kerül.

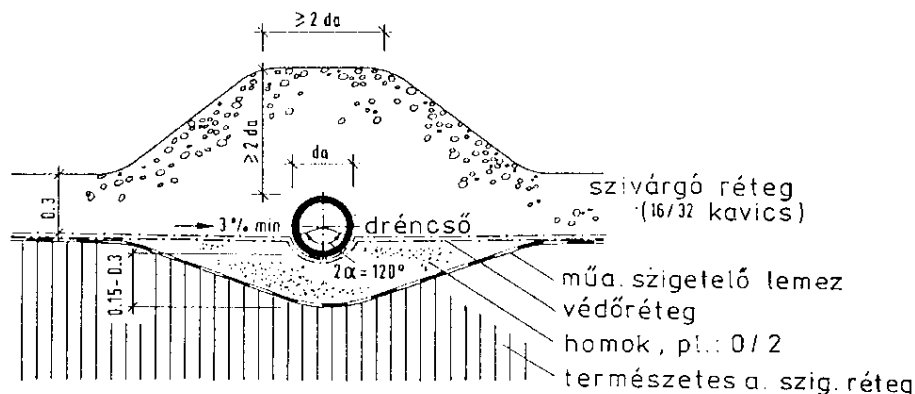
A **51. ábra** szerinti elrendezésnél a gyakorlatban általánosan alkalmazott méretek, paraméterek a következők:

- A keresztirányú esés (i_k): $\geq 3\%$
- A hosszirányú esés (i_h): $1-2\%$
- A gyűjtőakna távolság
 - keresztirányban (l_k): 30-50 m
 - hosszirányban (l_h): max. 300 m.
- A víztelenítő réteg
 - vastagsága: 30-50 cm
 - szivárgási tényezője: $k \geq 10^{-3}$ m/s
 - anyaga: 16/32 vagy 24/50 szűrőkavics
- A dréncső átmérője: 200-300 mm

A dréncső beépítésénél a szűrőréteg előírt vastagságának a dréncső fölött is meg kell lennie. A kialakítás néhány lehetőségét német előírás alapján a **52. ábra** szemlélteti.



51. ábra Csurgalékvízgyűjtő rendszer: a peremi rész metszete (RAMKE, 1991.)



52. ábra A dréncső beépítése

5.6. A HULLADÉKLERAKÓ ÜZEMELTETÉSE

Az üzemeltetés a hulladéklerakók többlépcsős védelmi rendszerének egy újabb, igen fontos eleme. A hulladéklerakó szakszerű, gondos üzemeltetésével a hulladéklerakó emissziói megakadályozhatóak, minimálisra csökkenthetőek.

5.6.1. A hulladék beszállítási – átvételi szabályai

A hulladéknak a hulladéklerakón való átvételét megelőzően a beszállításkor - illetve ugyanazon típusú hulladék sorozatos beszállítása esetén az első alkalommal - a hulladék birtokosának igazolnia kell, hogy a beszállított hulladék az adott hulladéklerakón, a vonatkozó engedélyben előírt feltételek szerint átvehető, és kielégíti az e rendelet 2. számú mellékletében előírt átvételi követelményeket.

Az üzemeltetőnek a hulladék átvételekor (beérkeztetés):

a) ellenőriznie kell, hogy a hulladék típusát és minősítését (veszélyességét) megállapító dokumentáció megfelel-e az előírásoknak, és azonosítható-e a beszállított hulladék és annak mennyisége;

b) szükség szerint ellenőrzéseket kell végeznie arra vonatkozóan, hogy a beszállított hulladék megfelel-e a birtokos által átadott, a hulladék minősítését tartalmazó dokumentációban meghatározottaknak;

c) el kell végeznie a rendelet 2. számú melléklet 2. pontjának végrehajtása céljából a hulladék szemrevételezéssel történő vizsgálatát a hulladéklerakóra való beérkezési helyen és a lerakás helyén. Ha szemrevételezéssel a beszállított hulladék összetétele nem állapítható meg, reprezentatív mintavétel szükséges.

Nyilvántartást kell vezetnie a lerakott hulladék mennyiségéről és jellemzőiről, különösen:

a) a hulladék eredetéről,

b) a termelő, birtokos megjelöléséről,

c) a beszállítás időpontjáról,

d) veszélyes hulladék lerakásakor a lerakás pontos helyéről.

A reprezentatív mintavételből származó vizsgálati eredményeket és a mintákat legalább 1 hónapig meg kell őrizni.

A hulladéklerakó üzemeltetője a hulladéklerakón fogadott egyes szállítmányok átvételekor minden esetben írásos átvételi elismervényt köteles adni.

Ha a hulladéklerakó üzemeltetője egy adott hulladékszállítmányt vagy annak egy részét nem veszi át, akkor a visszautasításról haladéktalanul értesítenie kell a felügyelőséget.

Lerakással kizárólag előkezelt hulladék ártalmatlanítható, kivéve az inert hulladékot és azt a hulladékot, amelynek előkezelése az elérhető legjobb technikával nem valósítható meg.

Tilos a hulladék keverése, hígítása abból a célból, hogy az így nyert hulladék megfeleljen a hulladéklerakóban való ártalmatlanítás átvételi követelményeinek.

Inert hulladék a hulladéklerakóban felhasználható üzemi útépítésre, takarásra, területkiegyeplítésre, támasztó töltés építésre továbbá más, hasonló technológiai célokra.

A rendelet 3. § (2) bekezdése szerint meghatározott kategóriájú hulladéklerakóban – a külön jogszabály (16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet) figyelembe vételével – a következő csoportokba tartozó hulladékok lerakása engedélyezhető, feltéve, hogy a hulladék eleget tesz a rendelet 2. számú mellékletében felsorolt, az adott hulladéklerakó-kategóriára megállapított átvételi követelményeknek

„A” kategóriájú hulladéklerakóban inert hulladék

„B1b” alkategóriájú hulladéklerakóban

- = szervesetlen, nem veszélyes hulladék, beleértve az „A” kategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is
- = előkezelés (befoglalás, beágyazás) után, nem veszélyes hulladékként kezelhető, eredetileg veszélyes hulladék

B3” alkategóriájú hulladéklerakóban

- = nem veszélyes települési szilárd hulladék
- = biológiai, kémiai, illetve hőkezeléssel, tartós (legalább 6 hónapig tartó) tárolással vagy más kezeléssel nyert olyan szennyvíztisztításból származó hulladék és csatornaiszap, amelyben a fekál coli és a fekál streptococcus szám külön jogszabály (50/2001. (IV. 13.) Korm. rendelet) szerinti mennyisége a kezelés során az előírt értékre csökkent
- = egyéb nem veszélyes hulladék, beleértve a „B1b” alkategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is

„C” kategóriájú hulladéklerakóban veszélyes hulladék.

5.6.2. A hulladéklerakón nem ártalmatlanítható hulladékok

A hulladéklerakóban nem helyezhetők el a rendelet 4. §-a szerint a következő hulladékok:

- folyékony hulladék,
- nyomás alatt gáz,
- a Hgt. 2. sz. melléklete szerinti robbanásveszélyes, fertőző kórházi, vagy más egészségügyi, illetve állategészségügyi intézményből származó klinikai hulladék,
- használt gumiabroncsot 2003. július 1-je után, a hulladéklerakó építés műszaki védelmének céljára használt, gumiabroncsok, valamint a kerékpár gumiabroncsok és az 1400 mm külső átmérőnél nagyobb gumiabroncsok kivételével, továbbá az aprított használt gumiabroncsot 2006. július 1-je után,
- előkezelés nélküli szennyvíziszap,
- állati hulladék,
- minden más típusú hulladékot, amely nem elégíti ki a rendelet mellékletében meghatározott átvételi követelményeket,
- veszélyes hulladék, kivéve az előkezelés (befoglalás, beágyazás, stb.) után, nem veszélyes hulladékként kezelhető, eredetileg veszélyes hulladékokat.

Tilos a hulladék keverése, hígítása abból a célból, hogy az így nyert hulladék megfeleljen a hulladéklerakóban való elhelyezés követelményeinek.

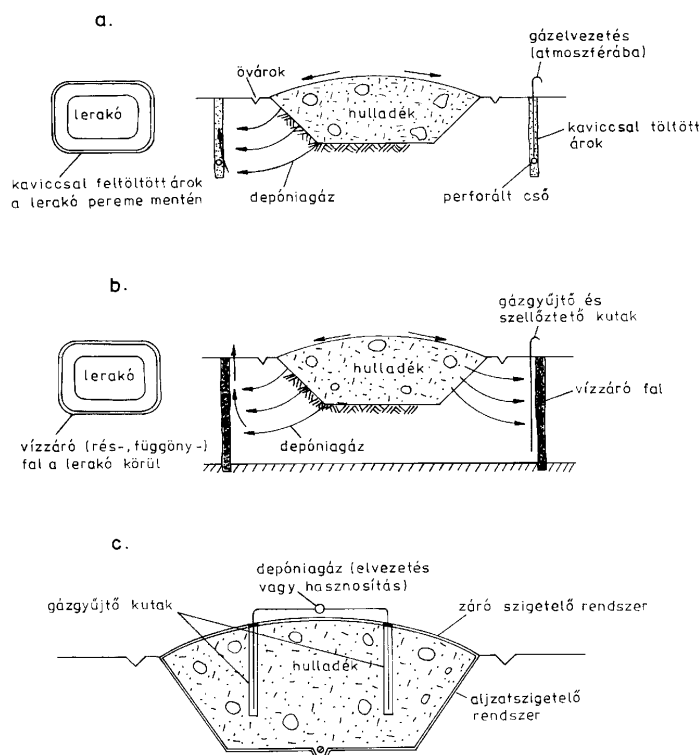
5.7. A GÁZMENTESÍTÉS

Egy jól működő hulladéklerakónál alapvető feltétel, hogy a gázképződés és gázmentesítés *ellenőrzött körülmények* között történjék annak érdekében, hogy megelőzzük a depóniagáz nemkívánatos kijutását az atmoszférába, illetve horizontális vagy vertikális irányú migráció révén a környező talajrétegekbe.

A keletkező gáz ellenőrzött gyűjtése illetve elvezetése fontos, mert:

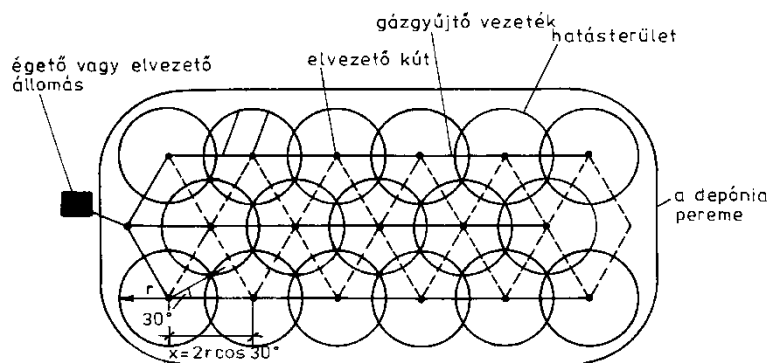
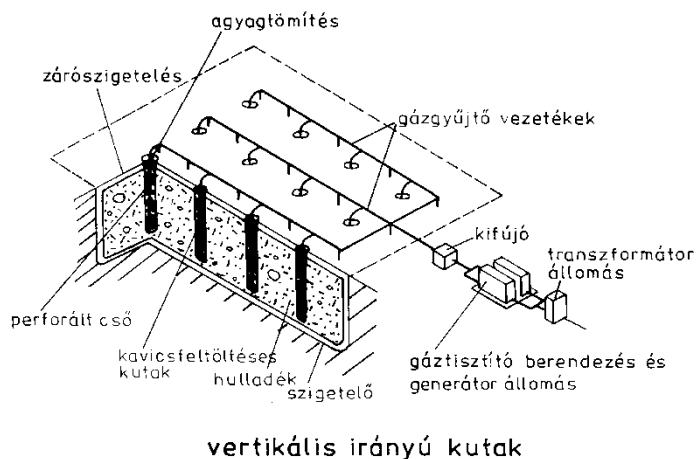
- a nagy nyomású gáz kitöréseket okozhat a lerakóban;
- a gáz kiszivárgása a vegetáció pusztulását idézheti elő, aminek a következménye, hogy a rekultivált felszínen jelentősen nő az erózió veszélye;
- toxikus hatása lehet;
- a tartós gázkibocsátás a hulladéklerakó közvetlen szomszédságában lakók egészségét veszélyeztetheti;
- kellemetlen szaghatást okoz;
- a keletkező metán a levegővel keveredve robbanókeveréket alkot;
- a keletkezett gáz olcsó energiaforrás, ezért gyűjtése célszerű.

A gázellenőrző és mentesítő rendszer lehet *aktív vagy passzív*. Passzív rendszerben a lerakóban levő természetes gáznyomás a mozgás hajtóereje. Aktív rendszerben mesterséges vákuum segíti elő a gázkiáramlást a lerakóból. A passzív módszer csak akkor használható hatékonyan, ha metán és szén-dioxid is nagy mennyiségben képződik. A nyomáskülönbség és a diffúzió a metánt a lerakóból a légterbe irányítja. A passzív rendszer vázlata látható a **53. ábrán**.

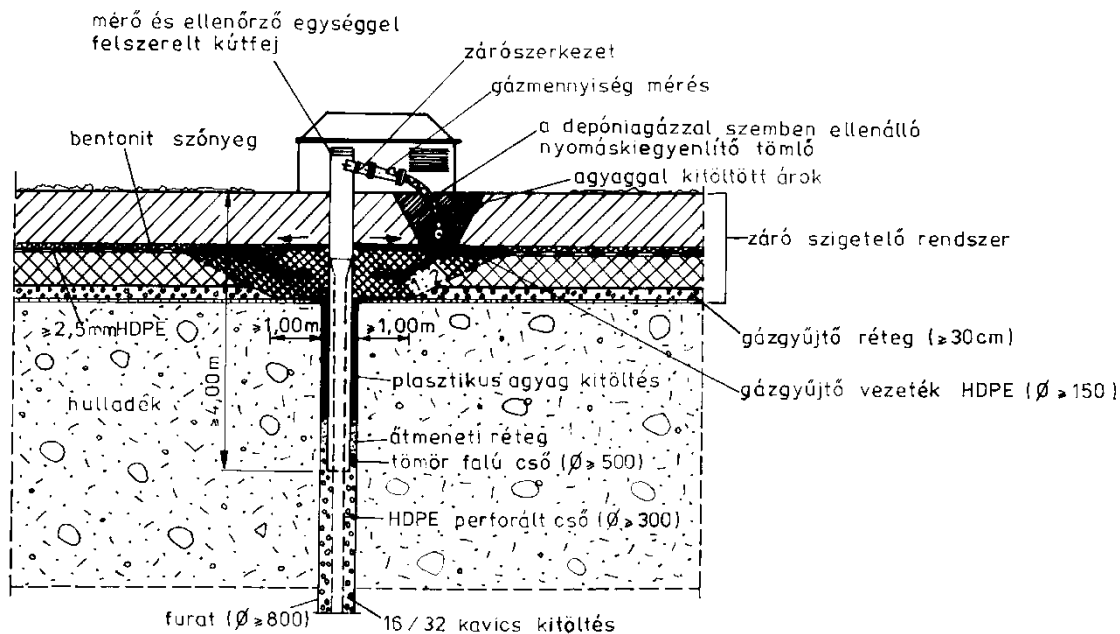


53. ábra A passzív gáz ellenőrző-mentesítő rendszer vázlata

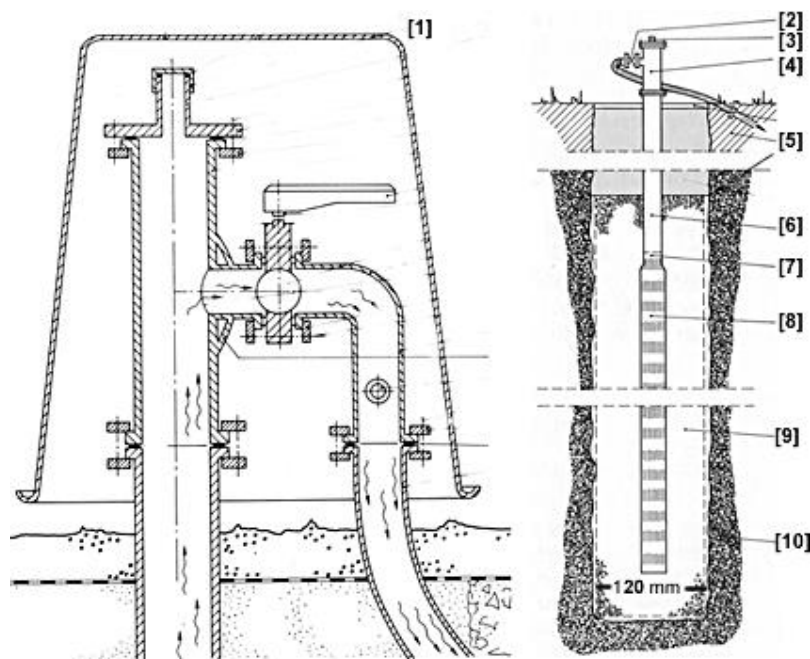
a.) kavicssal töltött gyűjtőárok és perforált cső, b.) a lerakó kerülete mentén kialakított védőárok, c.) gázgyűjtő kutak Megjegyzés: az a. és b. változat aljzatszigetelő nélküli; a c. változat szigetelt aljzattal rendelkező lerakóknál (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.)



54. ábra Aktív gázgyűjtő rendszer függőleges kutakkal a.) rendszer-vázlat b.) kútelrendezés és hatásterület (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.)



55. ábra A gázgyűjtő kutak kialakítása és a zárszigetelésen való átvezetése (JESSBERGER, 1994)



56. ábra A gázkút fejkiképzése

(1. zárófedél; 2. zárószelep; 3. mintavételi csomák; 4. kútfej, 5. zárószigetelés és tömítés; 6. HDPE cső; 7. teleszkopikus csőcsatlakozás; 8. HDPE perforált cső (átmérő 2-300 mm); 9. kavics vagy mészkőmentes törmelék kitöltés; 10. hulladék)

Ha a telepítés célja csak a gázellenőrzés, akkor a lerakó pereméhez kell elhelyezni a kutakat, illetve a környező talajban, ha az jó áteresztő.

Az egyes kutak átmérője 30-90 cm legyen. A nagyobb átmérőjű kutak esetében ugyanannyi energiával több gáz nyerhető, ami akkor célszerű, ha a gázt energiaforrásként is gyűjtik. Az aktív rendszer a lerakó peremén és a lerakóban hálózatosan elhelyezett kutakból áll. A kutak lehetnek függőleges vagy vízszintes elhelyezésűek. Az egyes kutakat és csöveket egy fővezeték köti össze, amelynek a végén egy kompresszor van. Ezzel a kompresszorral hozzák létre a fővezetékben a vákuumot. Amikor a vákuum létrejön, kialakul egy hatásterület, amely a kutakkal behálózott területre terjed ki. A gáz így belekerül a kutakba, onnan a fővezetékbe, az ellenőrző állomásra, majd az energiafelhasználó, vagy égető berendezésekbe. A területen lévő kutakban összegyűlt gáz gyakran rosszabb minőségű, ezért ilyen esetben célszerű ezt külön kezelni.

A kutak hatásterülete - ugyanúgy mint a vízbeszerző kutaknál - minden irányban kiterjed. A kutakat úgy kell elhelyezni, hogy a hatásterületük összeérjen. A rendszer működtetésénél kerülni kell a túlnyomást, mert ezzel levegő kerülhet a talajból a hulladékba. A lerakó vastagságától és egyéb helyi adottságoktól függően a *kutak távolsága* 8-20 m. Az aktív rendszereknél *peremi gázvezető árkokat* is alkalmaznak. Ezt közvetlenül a lerakó körül alakítják ki kb. 8 m, vagy annál kisebb mélységgel.

5.8. A MONITORING RENDSZER

Egy hulladéklerakó minden esetben – még ha a legkorszerűbb is – potenciális szennyezőforrást jelent környezetére, ezért szükséges, hogy megfelelő ellenőrző-megfigyelő (monitoring) rendszere legyen. A lerakó üzemelése és szüneteltetése alatt is folyamatosan ellenőrizni kell:

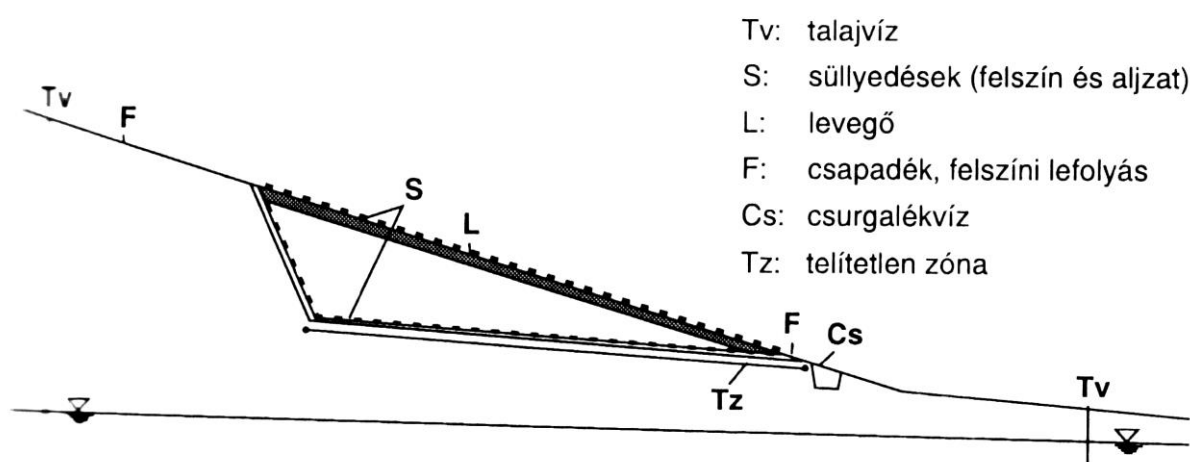
- az elsődleges technológiai létesítmények (tárolóterek, műtárgyak) műszaki állapotát, állapotváltozását;
- a tárolóterek szivárgásának megfigyelésére szolgáló eszközök és berendezések működőképességét;
- a lerakótelep védőtávolságán belüli felszín alatti víz minőségét;
- a lerakótelep területéről elvezetett felszíni víz minőségét;
- a levegőszennyező anyagok emisszióját, immisszióját;
- a lerakótelep környezetében a hatásvizsgálatban kijelölt élő szervezetek állapotát és azok változásait;
- a biztonsági célokat szolgáló melléklétesítmények, vízelvezető és vízkezelő rendszerek működőképességét.

Az ellenőrző vizsgálatok elvégzéséhez szükséges megfigyelőrendszer elemeit két csoportba sorolhatjuk. Ezek:

- a lerakó üzemelésével, állapotváltozásával kapcsolatos megfigyelőrendszer;
- a lerakónak a környezetére gyakorolt hatását figyelő-ellenőrző rendszer.

Egy hulladéklerakó megfigyelőrendszerének elemeit szemlélteti a **57. ábra**.

Az ellenőrzési és megfigyelési eljárásokat, a mintavételi, mérési gyakoriságot mind az üzemelési mind az utógondozási fázisban a 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet szabályozza.



57. ábra A hulladéklerakó megfigyelőrendszerének elemei

5.9. Meglévő, régi lerakók rekultivációs kérdései

A Magyarországon rekultiválandó lerakók többsége 1995-2000 előtt létesült, uralkodóan kis lerakók, amelyek mindenképpen bezárásra kerülnek, és a rekultivációnál, a zárószigetelőréteg

kialakításánál mind a rendeletből adódóan, mind gazdasági okból egy józan kompromisszumot kell találni. A kompromisszum mértéke értelemszerűen az előző fejezetben ismertetett felülvizsgálat, kockázatelemzés eredményétől függ, az elsődleges mindig a környezet védelme.

A hulladéklerakók lezárását, utógondozását, rekultivációját és megfigyelését a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján kell elvégezni. A rekultivációnál értelemszerűen meg kell különböztetnünk azokat a lerakókat, amelyek a rendelet hatályba lépése előtt-, illetve az után létesítettek. *Ennek megfelelően a rendelet hatályba lépése előtt létesített lerakók rekultivációs kérdéseit a jelen fejezet ismerteti, míg az utána létesített lerakók lezárását a 5.4. fejezetben* már bemutattuk.

A lerakó rendelet szerint annál a meglévő hulladéklerakónál, amelyet nem lehet vagy az üzemeltető/tulajdonos nem kíván úgy kialakítani, hogy az megfeleljen a rendeletben a műszaki védelemre vonatkozóan meghatározott előírásoknak, függetlenül attól, hogy a hulladéklerakó a rendelet hatályba lépésekor üzemel vagy korábban bezárásra került, de a rekultivációja nem történt meg, a bezárást követően a rekultivációra vonatkozó előírások szerint kell eljárni.

A rekultivációra vonatkozó követelményeket kell alkalmazni a szigetelés nélkül létesített hulladéklerakó, illetve hulladék elhelyezésére használt terület esetében is.

A fentiek azt jelentik, hogy az új és jelenleg érvényes rendelet megkülönböztet:

- lezárást, utógondozást, ill
- rekultivációt.

A lezárás, utógondozás jelenti a szigorúbb feltételeket, és azokat kell alkalmazni minden, a rendelet hatályba lépése után létesített lerakóra és mindazokra, amelyek ugyan a rendelet hatálybalépése előtt épültek, azonban a szigetelőrendszerük megfelel az új rendelet előírásainak, illetve a rendeletileg előírt és elvégzett környezetvédelmi felülvizsgálat eredményeképpen az új rendelet szerinti követelményeket (lásd **5.4. fejezetben**) írták elő. Értelemszerűen ebből az következik, hogy *a 2009 után megmaradó végleges depónia-hálózat lerakóinak meg kell felelniük az új rendelet előírásainak, azaz náluk a lezárásra, utógondozásra vonatkozó előírások érvényesek.*

A 2009-ig bezárandó több mint 2000 lerakóra, amelyeknél:

- a regionális hálózat kialakítása miatt már nem lesz szükség,
- a szigetelőrendszere nem alakítható át az új rendelet elvárásainak megfelelően,
- az üzemeltető/tulajdonos nem kívánja az új rendelet elvárásainak megfelelően átalakítani azokat, ott

a rekultivációra vonatkozó előírások (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet 3. melléklet 2. pont) alkalmazása a kötelező.

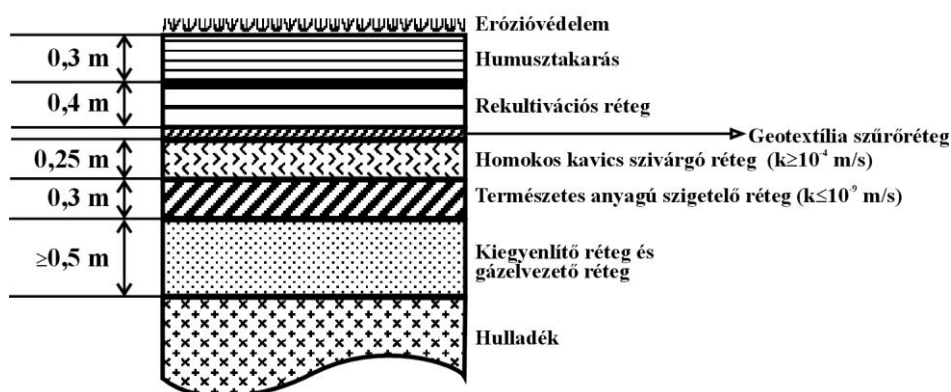
5.9.1. Meglévő, kombinált aljzatszigeteléssel rendelkező régi lerakók rekultivációja

A hulladéklerakót átmeneti felső záró rétegrendszerrel szükséges lezárni a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek biológiai stabilizálódásáig, de legfeljebb 10 évig.

A végleges felső záróréteg rendszer azt követően építhető ki, hogy a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött. A stabilizálódási folyamat befejeződését a hulladéklerakó-gáz mennyiségének csökkenése, a csurgalékvíz mennyiségének és összetételének változása, illetőleg a hulladéklerakó felszínének megállapodása (a süllyedés megáll) jelzi.

Az átmeneti felső záróréteg rendszer legfontosabb feladata az, hogy a végleges felső záró-réteg rendszer kiépítése érdekében tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, ezáltal elősegítve a lerakott hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlását és a hulladéktest stabilizálódását. Alkalmazása azért is indokolt, mert a biohulladék lebomlása következtében a hulladéktestben roskadás, a felszínén jelentős süllyedések várhatóak, ami a végleges felső záró-réteg rendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedezéséhez vezetne, és ez a szigetelőképeség romlását okozná.

A kombinált aljzatszigetelő rendszerrel rendelkező régi lerakók rekultivációjánál alkalmazható felső lezáró szigetelésének rétegrendjét a 57. ábra mutatja be, de természetesen egyenértékű alternatív megoldások alkalmazása is számításba jöhet. Az egyenértékűség feltétele ebben az esetben az azonos hidraulikai transzport.



58. ábra A műszaki védelemmel rendelkező régi hulladéklerakók végső lezárásának rekultivációjakor alkalmazandó szigetelőrendszere

5.9.2. Meglévő, műszaki védelem nélküli lerakók rekultivációja

Meglévő, nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló, mesterséges szigetelés (geomembrán) nélkül létesült hulladéklerakó vagy hulladéklerakás céljára használt terület esetében indokolt lehet kockázatelemzés és költség-haszon elemzés elkészítésével megvizsgálni, hogy a lerakó rekultivációja megvalósítható-e, vagy fel kell számolni.

A vonatkozó rendelet szerint azon lerakó esetében, ahol a 219/2004. (VII. 21.), a felszín alatti vizek védelméről szóló Korm. rendelet szerinti szennyező anyagot tartalmazó hulladék – az első vízadó összlet mindenkor maximális nyugalmi vízszintjének figyelembevételével – érintkezik

a felszín alatti vízzel, fenn áll a közvetlen bevezetés a felszín alatti vízbe, *csak a lerakó felszámolására kerülhet sor.*

A fenti esetben csak egészen kivételes esetben maradhat meg a lerakó és csakis akkor, ha fennmaradása gazdaságilag indokolt és a terület kármentesítése (pl. a szennyezőanyag izolálása, az utánpótlódás megszüntetése) megnyugtatóan megoldható. Esetlegesen egy ilyen megoldás mellett szól a lerakó kedvező földrajzi, hulladékgazdálkodási helyzete, valamint az, hogy nem kell új területet igénybe venni a szóban forgó térség hulladékelhelyezési gondjainak megoldására.

Ha a lerakó rekultivációjára kerül sor, akkor az előző fejezetben bemutatott követelményeket kell teljesíteni az alábbiakban meghatározott eltérésekkel:

- A 2001. január 1-jén még üzemelő lerakó rekultivációja estében, ha a lerakott hulladék mennyisége meghaladja a 10.000 m³-t, a rekultivációt 2 ütemben, ellenkező esetben egy ütemben kell elvégezni az előző fejezetben leírtaknak megfelelően.
- A 2001. január 1-jén már bezárt, de nem rekultivált lerakó esetében, a rekultivációt a végleges záró-réteg rendszer kialakításával, 1 ütemben kell elvégezni az előző fejezetben leírtak szerint.

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által biztosított a fentiekben ismertetett lehetőség alapján a meglévő hulladéklerakóknál a *mérsékelt követelmények szerinti rekultivációnál* elegendő lehet a tájba illesztés, a bezárt lerakó – felületi rétegének tömörítését, rendezését követő – olyan lezárása, amely a veszélyeztető potenciál függvényében lehet:

- talajtakarás, illetve
- egyszerűsített (a lerakó rendeletben foglaltakhoz képest) épített zárószigetelő rendszer ún. tájbaillesztés.

Mindkét lezárási módnál különösen előnyös lehet az ún. *evapotranspirációs lezárás*, amikor is a lezárás mértékét a hulladéklerakó *vízháztartása alapján határozzuk meg*. Természetesen ezek megoldások csak a veszélyeztető potenciál meghatározása után, a Felügyelőség külön engedélyével lehetségesek, tekintettel arra, hogy a még megengedhető rétegrendre a rendelet konkrétan nem tér ki.

5.9.3. A rekultivációs réteg kialakítása

Mint az előzőekben láttuk, a záró szigetelésnél az alkalmazott szigetelőrendszer (kiegyenlítő réteg, agyag és vagy geomembrán, szivárgó réteg) A fölé a lerakó típusától, műszaki védelmi rendszerétől függő *rekultivációs réteg kerül*. Az új rendelet szerinti végleges lezárásnál a *rekultivációs és szivárgó réteg vastagsága együtt legalább 1,5 m* kell, hogy legyen. A vastagságának megválasztásánál figyelembe kell venni:

- a területre jellemző fagylehatolási mélységet,
- a rekultivációs növényzet gyökérzetének lehatolási mélységét. (A szivárgó paplanba a gyökérzóna ne érjen bele.)

– vízháztartási viszonyokat. (A szigetelőréteget a kiszáradástól meg kell védeni.)

A rekultivációs réteg anyagának kiválasztásában jelentős szerepet játszanak a helyi adottságok. A lehetőségeken belül figyelembe kell venni, hogy a réteg elsődleges szerepe a csurgalékvíz minimalizálása, tehát azok a talajok jönnek elsődlegesen számításba, amelyek jó víztározóképességgel rendelkeznek, és az alkalmazott növényzettel együtt jelentős az evapotranspiráció. Német ajánlások szerint leginkább kedvezőek a homoklisztes-, iszapos talajok, amelyeknek az agyag és iszaptartalma közepes, és az ún. szabadföldi vízkapacitása (VK_{sz}) legalább 200 mm. A 9. táblázat a rekultivációs réteggént számításba jövő leginkább kedvező talajfajtákat tünteti fel. A szabadföldi vízkapacitás értékénél a kisebb érték a lazán beépített talajokra ($\sigma < 1,45 \text{ g/cm}^2$), a nagyobb érték a közepes tömörségű ($\rho = 1,45\text{-}1,65 \text{ g/m}^3$) talajokra vonatkozik

9. táblázat

Rekultivációs réteggént leginkább ajánlott talajok			
Talajtípus	Iszaptartalom (%)	Agyagtartalom (%)	Szabadföldi vízkapacitás (VK_{sz} ; mm)
Homoklisztes, iszapos homok	10-40	8-17	185-220
Iszapos homok, homokliszt	10-50	0-15	210-270
Agyagos homok	0-15	5-25	220-270
Homokos homokliszt	10-50	15-45	160-200
Homokos iszap	50-80	0-17	200-260

A német lerakórendelet szerinti, a rekultivációs rétegnél megengedhető szennyezőanyag koncentrációkat a 10. táblázat mutatja be. A táblázat feltünteti a 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendeletben foglalt B szennyezettségi határértékeket is, és célszerű a megengedhető koncentrációt ezen határértékekhez viszonyítani. Különösen fontos a várható eluátum-koncentráció betartása.

A rekultivációs réteg vastagságát a rendelet szabályozza, a szigetelőréteg fölött a szivárgó- és rekultivációs réteg együttes vastagságának el kell érnie az 1,5 métert. Ez azt jelenti, hogy ha a szivárgó réteg vastagsága 0,3 m (a rendelet szerinti alsó érték) akkor a rekultivációs réteg 1,2 m, ill. 0,5 méternél 1,0 m vastag, és geodrén alkalmazása esetében értelemsszerűen 1,5 m!

A rekultivációs réteg vastagságának a csökkentése csak olyan alternatív megoldásként jöhet számításba, amelyeknél a szigetelő funkciót betöltő elem nem időjárás érzékeny. Ilyen megoldás lehet pl. a geomembrán alkalmazása, azonban a nagyobb időjárás-hatásnak való kitettség miatt a membrán alá észlelőhálózat építése szükséges.

10. táblázat

<i>A rekultivációs rétegben megengedhető szennyezőanyag-, valamint eluátumkoncentrációk (Deponieverordnung, Németország, 2002.)</i>		
Paraméter	Szennyezőanyag tartalom [mg/kg száraz anyag] (salétromsavas kioldás)	Eluátum-koncentráció
pH		6,5-9
Vezetőképesség		500 µS/cm
Klorid		10 mg/l
Szulfát		50 mg/l
Arzén		10 µg/l
Kadmium	1,0	2 µg/l
Ólom	140,0	40 µg/l
Króm (össz.)	120,0	30 µg/l
Réz	80,0	50 µg/l
Higany	1,0	0,2 µg/l
Nikkel	100,0	50 µg/l
Cink	300,0	100 µg/l

A rekultivációs réteg vastagságát, a szigetelőréteg hatékonyságát *jelentősen befolyásolja* az alkalmazott növényzet és a növények gyökérlehatolási mélysége. A **11. táblázat** a leginkább számításba jövő növények gyökérzetének lehatolási mélységét tünteti fel.

11. táblázat

<i>Különböző növények gyökérzetének lehatolási mélysége</i>	
Növény	A gyökérzet lehatolási mélysége (cm)
Zöldmezős vegetáció	
szarvas kerep (<i>Lotus corniculatus</i>)	30-100
közönséges aszat (<i>Cirsium</i>)	80-150
réti perje (<i>Poa pratensis</i>)	70-200
francia perje (<i>Arrhenatherum elatius</i>)	100-200
gyermekláncfű (<i>Taraxacum officinale</i>)	70-240
mezei aszat (<i>Cirsium arvensis</i>)	80-150
ökörfarkkóró (<i>Verbascum lychnitis</i>)	< 150
(fodros) sóska (<i>Rumex crispus</i>)	< 150
Bokros, fás vegetáció, cserje	
földszeder (<i>Rubus fruticosus</i>)	< 200
(hamis) akácfa (<i>Acacia</i>)	> 200
fehér fűz (<i>Salix alba</i>)	< 300
bükkfa (<i>Fagus silvatica</i>)	180-300
juharfa (<i>Acer</i>)	> 150

A rekultivációs réteg beépítése *rétegesen* történik, általában 2 rétegben *elegendő a terítés*, mivel az *elérendő térfogatsűrűség (a humuszcéteg alatt) 1,4-1,6 t/m³*, azaz a terítési rétegvastagság 0,5-0,6 m.

A *humuszcéteg* vastagsága ne legyen több, mint 0,3 m, a térfogatsűrűség értéke 1,2-1,45 t/m³ között, a *szabadföldi vízkapacitás* értéke *legalább 200 mm* legyen.

Az átszivárgó vízmennyiséget tovább csökkenthetjük, ha a rekultivációs réteg alját (a humuszcéteg és az altalaj alatt) ún. „gyökérczáró” *réteggént* képezzük ki, azaz úgy építjük meg, hogy azon a gyökérczáron minél nehezebben hatoljon át. Ilyen réteg lehet pl. egy 0,2-0,3 m vastag *erősen kötött v. erősen kötőrmelékés tömör* ($\sigma > 1,8 \text{ t/m}^3$) réteg, vagy számításba jöhetnek a *geoműanyagok is*.

Felhasznált irodalom:

Dr. Szabó Imre: Hulladékéelhelyezés, HEFOP jegyzet, 2008

Irodalomjegyzék

BAGCHI, A. (1989):

Design, construction and monitoring of sanitary landfill. John Wiley and Sons, p. 285.

BARÓTFI I. (2000):

Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, p.981.

BÁNHEGYI I. (1993):

Biológiai hulladékkezelés Hulladékgazdálkodás (szerk.: ÁRVAI J.) Műszaki Könyvkiadó, pp. 390-423.

BILITEWSKI, B.-HÄRDLE, G.-MAREK, K. (1990):

Abfallwirtschaft Springer Verlag Erich Schmidt Verlag

BRANDL, H. (1989.):

Geotechnische und bauliche Aspekte bei der Neuanlage von Abfalldeponien. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 134. Jg. H.3. pp. 123-163.

CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.. (1989):

Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact Academic Press

CHRISTENSEN, TH.H -KJELDSSEN, P. (1989):

Basic biochemical process in landfills Sanitary Landfilling (ed.: CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.) Academic Press, pp. 29-48.)

DANIEL, D.E. (1993):

Clay liners Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapter 7. Chapman and Hall, London

DANIEL, D.E.-BOWDERS, J.J. (1996):

Waste containment systems by geosynthetics. State of the art report. Proc. 2nd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka, Balkema, Rotterdam McGraw-Hill Inc.

DEPONIEVERORDNUNG IN ÖSTERREICH, (1996.)

Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen Deponieverordnung. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jhg. 1996. 49. Stk.

DEPONIEVERORDNUNG IN DEUTSCHLAND, (2002.)

Verordnung über die Deponien und Langzeitlager, (Deponieverordnung – Dep V), BGBl. I, S. 2807 (Juli 2002), valamint BGBl. I, S. 4417 (November 2002)

DGEG-GDA-DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU E.V. (1993):
Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten, GDA, Ernst & Sohn, Berlin, USA

EHRIG, H.J. (1989):
Sickerwasser aus Hausmülldeponien. Menge und Zusammensetzung. Müll-Handbuch, Loseblattsammlung, Lieferung I/89. Erich Schmidt Verlag

EK DIREKTÍVA (1999.)
Hulladéklerakásra vonatkozó 1999/31/EC sz. 1999. április 26-i tanácsi irányelv

GDA-EMPFEHLUNG E2-30 (2000):
Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien. Giroud, J.P.-HOulihan m.f. (1995): Design of leachate collection layers Proc. 5th International Landfill Symposium, Sardinia '95 Margherita di Pula, CISA, Cagliari

HAUBRICH, E.(2002.):
Oberflächenabdichtungssysteme. Stand der Technik. Systemauswahl-technische und wirtschaftliche Bewertungskriterien Deponietechnik 2002. Abschlussplanung und Sicherung von Deponien [www. mu. sachsen-anhalt.de/lau.default/htm](http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau.default/htm)

HEYER, K.U. (2003):
Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge, Hamburger Berichte 21, Abfallwirtschaft, Technische Universität Hamburg-Harburg

JESSBERGER, H.L. (1987-1994):
Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der Deutschen Gesellschaft für Erd-und Grundbau e.V. Bautechnik, 1987-1994.

JÓZSA G.-HETÉNYI R.-RAINCSÁK GY. (1990):
Veszélyes hulladéklerakótelepek országos hálózata fejlesztésének földtani megalapozásához szükséges módszertani javaslat MÁFI, Kézirat

JUHÁSZ J. (1990):
Víz kutatás, vízbeszerzés, vízgazdálkodás I. kötet. Tankönyvkiadó Bp., Egyetemi jegyzet.

K.HUPE, K.-U.HEYER AND R. STEGMANN (2003)
Water infiltration for enhanced in situ stabilization Ninth International Waste Management and Landfill Symposium Caligari, Italy, 6 - 10 October 2003)

KISS G. (1992):
Szilárd kommunális hulladékok felszíni elhelyezése Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Tanszék, Diplomaterv.

KOERNER, R.M. -DANIEL, D.E. (1997):
Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps Thomas Telford, London, p. 256.

KOERNER, R.M. (1986):
Designing with geosynthetics Prentice Hall, p. 424.

KOERNER, R. M. - DANIEL, D. E. (1997):
Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Dumps Thomas Telford

KRÜMPELBECK, I. (2000.):
Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. Ing., Gesamthochschule Wuppertal

K.-U. HEYER, K. HUPE, A. KOOP, M. RITZKOWSKI AND R. STEGMANN (2003)
The low pressure areation of landfills: experience, operation and costs. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Caligari, Italy, 6 - 10 October 2003

LAKATOS, I.-SZABÓ I.(1997):
A környezetvédelemben alkalmazható vertikális és horizontális szigetelőgátak egyenértékűségének feltételei, Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle, XLVII. évf. 11.sz. pp. 423-431.

MANASSERO, M.-VAN IMPE, W.F.-BOUAZZA, A. (1997):

Waste disposal and containment. State of the art report. Proc. 2nd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka pp. 1425-1474. Balkema, Rotterdam

MANASSERO, M.-PARKER, R.-PASQUALINI, E.-SZABÓ, I.-ALM, EIDA, M.-BOUAZZA, A.-DANIEL, D.E.-ROWE, R.K. (1998):

Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects) TC55SC4 Report 3rd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Lisboa, 1998.

MANASSERO, M. (2000):

Solid waste containment systems GeoEng 2000, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering 19-24 November, Melbourne, Australia Conference Proceeding on CD ROM

MEGGYES, T. (1994. B):

Oberflächenabdichtungssysteme. BAM Bundesanstalt für Materialforschung und – prüfung, Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 173-185. Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

MÜLLER, W. (2001):

Handbuch der PEHD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik Birkhauser Verlag, Basel, p. 384.

NIELSEN, D.M. (1991):

Practical Handbook of Ground-Water Monitoring Lewis Publishers

OWEIS, I.S. - KHERA, R.P. (1990):

Geotechnology of Waste Management Butterworths, p. 273.

ÖNORM S2076-1, (1999):

Deponien. Dichtungsbahnen aus Kunststoff. Verlegung. Österreichisches Normungsinstitut.

RAMKE, H.G. (1991):

Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle, Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, Mitteilungen, H. 114. p. 326.

RETTENBERGER, G.-SASSE, T.-URBAN, S. (1988):

Konzeption der Oberflächenabdichtung an der SAD Gerolsheim Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29., pp. 39-61. Erich Schmidt Verlag

ROWE, K.R. (2000):

Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 1087.

SCHMID, G. (1992):

Deponietechnik. Vogel Buchverlag

SPILLMANN, P. (1988):

Wasserhaushalt von Abfalldeponien. Behandlung von Sickerwässern aus Abfalldeponien. Fachseminar Veröffentlichungen des Zentrums für Abfallforschung, Heft 3. TU Braunschweig.

STEFANOVITS P. (1992):

Talajtan, Mezőgazda Kiadó, Budapest

STEGMANN, R. - SPENDLIN, H.H. (1985):

Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary landfills. Proc. of the Conf. New Directions and Research on Enhancement of Biochemical Processes in Sanitary Landfills. University of British Columbia, Vancouver, Canada, June 23-28.

SZABÓ, I. (1995):

Hulladékellhelyezés I-IV., „Ipar a környezetért” Alapítvány, Budapest

SZABÓ, I. (1999):

Hulladékellhelyezés. Miskolci Egyetemi Kiadó, Egyetemi tankönyv

SZABÓ, I – SZABÓ A. (2002):

Field and laboratory measurement experiences related to mineral barriers of waste disposal sites 12th Danube European Conference, Passau, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G.-THEISEN, H.-VIGIL, S. (1993):

Integrated solid waste management Mc Graw-Hill Inc., p. 913.

THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1987):

Deponie. Ablagerung von Abfällen. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH

US DEPARTMENT OF ENERGY (2000.):

Alternative Landfill Cover. Innovative Technology, Summary Report, DOE/EM-0558/2000.

6. LEVEGŐTISZTASÁG-VÉDELEM

6.1. BEVEZETÉS

Szűkebb és tágabb környezetünk védelme a különféle károsító hatásoktól jelenkori műszaki életünk, társadalmi és szociális tevékenységünk egyre fontosabbá váló feladata. Amerre csak nézünk, pusztuló erdőkkel - növényzettel, kihalt állatfajokkal, az ember számtalan, korábban nem ismert megbetegedéseivel, az épített, műszaki környezet felgyorsuló károsodásával kell szembesülnünk. Riasztó prognózisok érkeznek a legkülönbébb tudományterületekkel foglalkozó tudósok részéről - ezek közül is legfenyegetőbb és a legközelebbi időben bekövetkezni jósolt környezeti katasztrófa a globális klímaváltozás, amelynek - sajnálatos módon - ma már egyre több, visszafordíthatatlan hatását észleljük. Valamennyiünknek be kell ismernünk, veszélyben a Föld bolygó, és amennyiben műszaki haladásunk vívmányait ezentúl is csak a környezet rombolására, nem pedig a károkozás csökkentésére - megállítására fordítjuk, unokáink számára nem maradnak lakható, élhető földi körülmények. Ne feledjük a régi közmondást: "Ha az ember kivágta az utolsó fát, kifogta az utolsó halat, elszennyezte az utolsó folyót, rá kell majd döbennie, hogy a pénzt nem lehet megenni ...".

A környezetkárosítás egyik legjelentősebb forrása maga az emberi tevékenység. Ennek mértéke a technikai eszközök használatával megsokszorozódott, ilyenformán az ipar, illetve az iparszerű tevékenység a környezetszennyezés fő okozójává lépett elő. Környezetünk védelmének leghatékonyabb módja, ha a tevékenység végzésekor a technika minden lehetőségét felhasználva megakadályozzuk a környezet károsításait. Az ennek érdekében alkalmazott technika, az úgynevezett környezettechnika tehát az ipar, a mezőgazdaság, a kereskedelem, a szolgáltatás, stb. területén a tevékenységgel szervesen összefüggő kérdés.

A környezet védelmét a szennyezés keletkezésének helyén, tehát általában a termelési folyamat során kell elkezdeni. Ugyanakkor a termelésben dolgozó szakemberek szakmai ismerete - ma még - elsősorban természetesen a termelési folyamattal összefüggő, még akkor is, ha végzettségük szerint alkalmasak lehetnének ilyen feladatok elvégzésére is.

Könyvünkben a környezetet érő legkülönbébb szennyező hatások közül a levegő tisztaságának védelmével foglalkozunk.

A levegő környezetünk egyik alapvető eleme, amelynek a szükséges mennyiségben és minőségben való jelenlétéről feltétlenül gondoskodnunk kell, mert

biológiai szempontból anyagcserénk egyik legfontosabb összetevője, amelynek hiányában életünk legfeljebb másodpercekig tartható fenn;

termelési szempontból az ipar és a mezőgazdaság egyik legfontosabb nyersanyaga és üzemanyaga (energiatermelés);

a közlekedés területén a repülés közege, továbbá nyers- és üzemanyag.

Minden ország levegővagya arányos az ország területével, és annak szennyezettsége általában olyan, ahogyan azt az adott ország szennyezi vagy védi. Azért csak általában, mert főként az ipari szennyezés és a levegő áramlásával rendszerint túljutnak a szennyező ország

határán - a levegő és vele együtt a környezet elemei számára nincsenek országhatárok. Svédországban például egyre több olyan káros szennyeződést észlelnek, amelyet bizonyíthatóan angliai gyárak bocsátanak ki. Hazánkban is több alkalommal megfigyelték a csapadék radioaktivitásának növekedését az Óceániában végzett magaslégtörő nukleáris robbantások után. Kis területű országokban az is előfordulhat, hogy a levegő szennyezettsége jobban függ a szomszédos országok kibocsátásától és széljárásától, mint a saját eredetű szennyezéstől. A nemzetközi áthatások aránya azonban Magyarországon egyelőre még jelentéktelen azokhoz a helyi szennyeződésekhez képest, amelyek az ipari gócpontok és a nagyvárosok közelében észlelhetők.

Környezetismerettel, környezetvédelemmel, a légkör szennyezésének megelőzésével foglalkozó szakemberek, valamint főként ezen interdiszciplináris tudományterület felsőfokú intézményekben tanuló hallgatói számára készült jegyzetünkben felhasználtuk - gyakran szó szerinti idézetben is - a témakörben már korábban megjelent, a levegőtisztaság-védelem jeles szakértői által írott anyagokat, könyvrészleteket. Az idézett irodalmakat a jegyzet végén soroljuk fel, és ezúton is köszönetet mondunk mindazoknak, akinek ismeretanyagait jegyzetünkbe beépítettük.

6.2. A LÉGKÖR ÖSSZETÉTELE ÉS SZERKEZETE

6.2.1. A levegő összetétele

A Föld légkörét számos gáz keveréke alkotja. Ezeket a gázokat különböző szempontok szerint osztályozhatjuk.

Az egyik felosztás az összetétel szerinti:

alapgázok - a gázfázis egyes komponenseit alapgázoknak nevezzük, ezek aránya a száraz levegőben

12. táblázat

gáz	térfogat %
nitrogén (N ₂)	78,10
oxigén (O ₂)	20,93
argon (Ar)	0,93
széndioxid (CO ₂)	0,03
hidrogén (H ₂) és nemesgázok	0,01

Az alapgázokon belül külön említést érdemel a szén-dioxid, amely a levegőben mint állandó összetevő 0,03 %-ban van jelen. Ez az arány a tenger, a légkör és a bioszféra között kialakult egyensúly következtében állandó. Fontos ez azért, mert a szén-dioxid a Föld sugárzási mérlegének kialakításában játszik szerepet. A rövidhullámú nap sugárzást elnyelés nélkül átengedi, de a felmelegedett földfelszín hosszuhullámú hősugárzását jelentős mértékben elnyeli: ezt nevezzük üvegházhatásnak. A szén-dioxid mennyiségének csökkenése a légkörben

tehát lehűléshez, növekedése pedig felmelegedéshez vezet. Ennek a korábban állandónak tekintett komponensnek a koncentrációja a megfigyelések szerint századunk eleje óta növekszik a fosszilis tüzelőanyagok nagymértékű égetése, valamint a szénhidrogén származékokkal hajtott járművek egyre növekvő forgalma következtében.

vendéganyagok - az alapgázokon kívül a természetes levegőben előforduló ún. vendéganyagok jelenlétének oka az, hogy a bioszféra elemei között állandó dinamikus anyagcseré van. Ezek az anyagok: vízgőz, különféle szilárd részecskék (por, korom, stb.), cseppfolyós és gáznemű részecskék, mikroszkopikus élő szervezetek.

A legfontosabb vendéganyag a vízgőz, amely több százalék térfogatrészt kitölthet (az Egyenlítőnél 3-4 %, a mérsékelt égövben 1 % körüli). A száraz levegő és a vízgőz elegye a nedves levegő. Ha a vízgőzt szilárd vagy gáznemű levegő-alkatrészek (por, korom, higroszkópos gázmolekula, pl. SO_2) az ún. kondenzációs magvakon kicsapódik, felhő vagy köd keletkezik. A víz légköri körfolyamata alapvető szerepet játszik a légkör öntisztításában is, mert az eső így a szennyező anyagokat mintegy kimossa a légkörből (egyidejűleg azonban a talaj és az élővizeink szennyeződnek!). A levegőből távozó sokféle szennyező anyag a talajra vagy a vízre ülepszik, sőt előnyös is lehet (például humuszt hord a szél egy homokos területre).

A vízgőz mellett a légkör az emberi tevékenységtől függetlenül is számos gáz halmazállapotú vegyületet (pl. CH_4 , H_2S , SO_2 , NH_3 , NO_x) tartalmaz kis mennyiségben biológiai, légköri (villámlás) vagy vulkanikus folyamatok eredményeként. Így bár azok nagyobb koncentrációban az egészségre ártalmasak, bizonyos mennyiségükhöz az ember nyilván alkalmazkodott, ezért a levegőtisztítás célját és eredményességét mindig ennek figyelembe vételével kell megítélni, és nem kell ezen anyagok teljes eltávolítására törekedni.

Az ózon (O_3) a magasabb légrétegekben keletkezik és, a légkör energiaháztartásában van szerepe.

A nitrogén-vegyületek közül a dinitrogén-oxid (N_2O) található a légkörben a legnagyobb mennyiségben, majd az ammónia (NH_3) és a nitrogén-dioxid (NO_2) következik. A kén-vegyületek közül a kén-dioxid (SO_2) és a kén-hidrogén (H_2S) a legjelentősebb. A teljes kén kibocsátás évente $100 \cdot 10^6$ tonnára tehető, ennek mintegy fele emberi tevékenység eredménye.

A cseppfolyós és szilárd aeroszol részecskék (10^{-3} - $10 \mu\text{m}$) egy része a föld, illetve az óceánok felszínéről diszpergálással kerül a levegőbe, emellett vulkáni kitörésekkel is számolni kell. Nagy hányad magában a levegőben képződik különféle reakciók következtében, pl. az ammónium-szulfát és a kénsav. A háttér-levegő 1 cm^3 -ében általában 250 - 500 db aeroszol részecske van. A levegőben mindig megtalálható az aeroplankton, vagyis a levegőben lebegő élőlények sokasága.

A talaj természetes eredetű radioaktív izotópjai közül a ^{222}Rn nemesgáz, így a talajból a levegőbe jut, ahol további bomlással szilárd termékek keletkeznek, amelyek a levegő aeroszolkjához kötődnek. Ezzel magyarázható, hogy a levegő aeroszolkjai többé-kevésbé radioaktívak. A levegő természetes radioaktivitása néhány Bq/m^3 nagyságrendű. Az óceánok felett a tengervíz nagyon csekély rádium-tartalma következtében a levegő radon-koncentrációja egy - két nagyságrenddel kisebb, mint a szárazföldek felett.

Az említett anyagok okozzák a légkör ún. globális háttér-szennyezettségét, a lakott területek levegő-szennyezettsége mégis túlnyomórészt mesterséges forrásokból ered. Bár a levegő-szennyezés elsődleges okai a szennyező anyagokat kibocsátó források, a légszennyezés kialakulását mindazok a tényezők befolyásolják, amelyek a levegőbe került anyagok koncentrációjának csökkenését kedvezően vagy kedvezőtlenül befolyásolják.

A másik felosztás a légkörben való tartózkodási idő szerint:

- igen változékony gázok, amelyek tartózkodási ideje néhány nap vagy hét
- változó gázok néhány éves, esetleg tízéves tartózkodási idővel
- állandó gázok jóval hosszabb tartózkodási idővel.

A tartózkodási idő fontos sajátossága az a törvényszerűség, miszerint minél kisebb valamelyik összetevő tartózkodási ideje, annál kisebb koncentrációjának tér- és időbeli változékonysága.

A Föld légkörében a különféle gázok, cseppfolyós és szilárd részecskék aeroszolt alkotnak, amelyek az atmoszférába a többi földi szférából kerülnek, illetve meghatározott tartózkodási idő után ide jutnak vissza.

6.3. A LÉGKÖR SZERKEZETE

Mielőtt a légkör szerkezetét elemeznénk, fontos megemlítenünk, milyen szférákból épül fel a Föld bolygó a felszínén illetve azt övezően.

A Föld felszínén található élettelen illetve élő formációkat az alábbi szféra-csoportokra osztjuk:

- litoszféra - a Földet alkotó ásványok és kőzetek összessége
- hidroszféra - a Föld felszínén található álló és folyóvizek összessége
- krioszféra - a Föld sarkvidékeit borító jégtakaró összessége (a magas hegyvidékek hó és jégkészlete nem tartozik bele)
- bioszféra - a Földön előforduló élőlények összessége
- atmoszféra - a Földet körülvevő több ezer kilométer vastagságú légrétegek összessége.

Földünket a levegőréteg több ezer kilométer vastagságban burkolja. A légkör alapvető sajátossága, hogy az állandóan érvényesülő keverő mozgások következtében - bár sűrűsége felfelé haladva csökken - a gázkeverék relatív összetétele kb. 80 km magasságig nem változik. Ezt a réteget homo szférának nevezzük.

Az atmoszférát - az előbb elmondottakat is figyelembe véve - két nagy, tulajdonságaiban egymástól lényegesen különböző részre: homoszférára és heteroszférára osztjuk. Ezen két nagy atmoszféra-egység további szerkezeti elemekre tagolódik.

Homoszféra

Troposzféra - a Föld felszínéhez legközelebb eső levegő-szféra, amelyet erős vertikális irányú légmozgások jellemeznek, amik a felszínről érkező szennyező anyagok intenzív turbulens keveredését, valamint konvekcióját idézik elő. A hőmérséklet ebben a légrétegben a

felszíntől függőlegesen irányban távolodva folyamatosan csökken, 100 méterenként átlagosan $0,65^{\circ}\text{C}$ -al. A troposzféra vastagsága a pólusokon mintegy 8 km, az Egyenlítő fölött 18 km, míg a mérsékelt égövben átlagosan 10 - 11 km. A troposzféra hőenergiáját a földfelszíntől kapja.

Sztratoszféra - a sztratoszférában járó szelek sebessége először csökken, majd újabb szélerősség-maximum következik, Ebben a rétegben a hőmérséklet a magassággal emelkedik. Magassága kb. 50 km, ahol a hőmérséklet 0°C körül mozog. Hőenergiáját a napfény ultraibolya sugárzásától kapja. Legfontosabb jellemzője, hogy ezen légréteg foglalja magába a földi élet szempontjából létfontosságú ózonréteget, amely a káros ultraibolya sugárzást nagymértékben elnyeli.

Mezoszféra - a homoszféra-rétegek közül a leghidegebb, mivel a földfelszínről visszaverődő hőszugárzás már csak alig érvényesíti felmelegítő hatását. Elnevezése is tükrözi, hogy átmenetet képez a két nagy réteg-csoport között. A mezoszféra magasságában már viszonylag csekély a levegő sűrűsége, ezért jelentősebb szelek nem alakulnak ki, ennek ellenére konvektív légmozgások fordulnak elő.

Heteroszféra vagy termoszféra

a légkör legkülső, távolabbi részein már a világűrrel kapcsolódó szerkezeti eleme. A levegő sűrűsége - a térfogategységben található molekulák száma - tovább csökken, közeledik a világűr légüres tere felé. Ebben a szférában a hőmérséklet - számunkra meglepő módon, hiszen azt várnánk, hogy közel a világűr jeges hidegéhez - ismét emelkedni kezd. Ez a melegedés azonban már nem függ össze a földfelszínről történő hővisszaverődéssel, közvetlenül a Napból származik, a még előforduló és a magasabb hőmérséklet következtében intenzív mozgást végző levegőmolekulák által elnyelt rövid- és mikrohullámú napsugárzás hatására jön létre. A Föld felszínén kialakuló és a légáramlás ok következtében mind vertikálisan, mind horizontálisan mozgó szennyezések a heteroszféra magasságába már nem jutnak fel, ezért a hagyományos értelemben vett környezeti levegőtisztaságvédelemnek már nem tanulmányozott eleme. Sajnálatos módon azonban ez az atmoszféra-egység sem mentes a földi hatású szennyező anyagoktól, gondoljunk csak a felbocsátott különféle időjárási vizsgáló eszközökből, szatellit-maradványokból, stb. származó hulladékokra, amelyek többnyire ebben a rétegben gyűlnek össze. Ezek a hulladékok azonban jelenlegi tudásunk szerint nincsenek hatással a földi életre.

6.4. AZ ÜVEGHÁZHATÁS

Az utóbbi években - évtizedekben folyamatosan szaporodnak a váratlan és furcsa időjárási - klimatikus jelenségek, amelyeket a szakemberek - meteorológusok, légkörkutatók - a globális felmelegedés rovására írnak. A globális - vagyis a Föld egészére kiterjedő - felmelegedés az üvegházhatásnak nevezett légköri folyamat eredménye, amely az atmoszférában felhalmozódó és ott szennyezőanyag réteget létrehozó ún. üvegház-gázok közreműködésével jön létre.

Mielőtt a jelenség részletezésébe fognánk, nézzük meg, melyek is az előbb említett üvegház-gázok és hogyan kerülnek az atmoszférába.

A legfontosabb üvegházhatású gázok közé a széndioxidot (CO_2), a metánt (CH_4), a vízgőzt (H_2O), a dinitrogén-oxidot (N_2O), az ózont (O_3), valamint a freonokat soroljuk. Az említettek közül a legjelentősebb befolyással az első három „Jégszennyező anyag” bír, mivel ezek a leggyakoribb ak, és mondhatjuk, hogy mind természetes úton, mind pedig az ember közreműködésével a legnagyobb mennyiségben kerülnek az atmoszférába. A fő bűnösnek a szén-dioxidot szoktuk kikiáltani, mivel tartózkodási ideje a légkörben igen hosszú - elérheti a 200 év időtartamot is. Ezzel szemben a vízgőznek, amelynek a hővisszatartásban játszott szerepe legalább olyan nagyságrendű, mint a CO_2 -é, jelentéktelenebb szerepet tulajdonítunk, mivel az atmoszférából hamar eltávozik, sajátos tulajdonságai, elsősorban igen magas felületi feszültsége révén néhány nap alatt növekvő nagyságú cseppekké áll össze, felhőket képez, és csapadék formájában kihullik a légkörből. Ugyancsak jelentős szerepet játszik az üvegházhatás kialakulásában a metán, de ugyancsak rövidebb tartózkodási ideje miatt a veszélyhelyzet létrejöttében közreműködése alárendeltebb. A legfontosabb üvegházhatású gázok jellemzőit az alábbi, 2. számú táblázatban foglaltuk össze, amelyet dr. Gács Iván a Budapesti Gazdaságtudományi és Műszaki Egyetem egyetemi docense, a téma kiváló ismerője volt szíves a jegyzet megírásához rendelkezésünkre bocsátani a fejezetben bemutatandó többi ábrával együtt. A táblázatban láthatóak a kibocsátott mennyiségek nagyságrendjei, a légkörben való tartózkodási idő, a hővisszatartó hatáshoz való hozzájárulás relatív nagysága, ahathoz történő hozzájárulás százalékos megoszlása, valamint a kibocsátás hozzávetőleges bontása természetes, valamint az ember által okozott, antropogén eredetre. Láthatjuk, hogy legveszélyesebbek a különféle freon-származékok lennének - amelyeket már az ózonlyukak kialakulásáért is alapvető felelőssé tettünk - de az atmoszférába jutó, ma már elenyésző mennyiségük miatt rendszerint nem foglalkozunk velük. Ugyanez a megállapítás vonatkozik a dinitrogén-oxidra is.

Az üvegházhatás - vagyis a Napból érkező hőenergia földfelszínen történő visszatartása - az alábbiak szerint jön létre.

A Napból kiinduló számtalan elektromágneses jellegű sugárzás közül az infravörös sugárzás az, amely a hőenergiát a Földre szállítja. Ez a sugárzás rövidhullámú IR-sugárzás, amelyet a kialakult szennyezőanyag-gázréteg akadálytalanul átenged. A Földre érkezve ez a sugárzás felmelegíti a felszínt, valamint a felszínen található különböző szférákat, miközben egy részük változatlan formában onnan visszaverődik, és ki is jut az atmoszférából. A felmelegedett Földről és objektumairól a felvett hőenergia egy részének leadására hosszuhullámú, ugyancsak infravörös sugárzás jellegű ún. földsugárzás indul meg a légkör magasabb rétegei, végsősoron a világűr felé. Ez a sugárzás azonban már gyakorlatilag nem tud áthatolni a szennyezőanyag-rétegen, arról a földfelszín irányába visszaverődik tovább melegítve azt. A folyamat ismétlődve egymást erősíti, az atmoszféra legalsó rétegeiben visszatartja a meleget - egész pontosan a növénytermesztésből jól ismert üvegházak hatását hozva létre.

A felsorolt gázok közreműködésével létrejött üvegházhatás nem tekintendő egyértelműen káros jelenségnek, mivel teljes hiányában a Földön nem létezhetnének az életfeltételek, fagyos hideg, átlag mínusz 18°C hőmérséklet uralkodna. A természetes üvegházhatás révén kb. 330°C -al magasabb, plussz 15°C a földi átlaghőmérséklet - természetesen a földrajzi övek szerint különböző megoszlásban.

13. táblázat A legfontosabb üvegházhatású gázok.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	O ₃	CFC-11	CFC-12
Légköri koncentráció						
iparosodás előtt, ppm	275-280	0,7-0,8	0,29	0,015	0	0
1990 körül, ppm	350-360	1,65-1,75	0,3-0,32	0,02	200-280*	320-480*
növekedési ütem, %/év	0,4-0,5	00,09,01	0,2-0,3	0,5	4-5	4-6
Légköri élettartam, év	15-200	kb. 10	kb. 150	0,1 (?)	50-80	100-150
Relatív hatás	1	32	150	2000	14 000	17 000
Hozzájárulás, %	44-52	6-18	3-6	6-10	5-8	10-18
Kibocsátás, Mt/év						
természetes	111-169**	77-317	1-3		0	0
antropogén	5-8**	110-450	5-9		0,31-0,4	0,44-0,56
ebből energetikai	4,5-5,5**	30-110	3-6		0	0

* ppb=10⁻⁶ppm

** Gt/év

Relatív hatás: egy atom hányszor akkora hatást fejt ki, mint egy CO₂ atom.

Hozzájárulás: szerep a 2000-ig bekövetkező üvegházhatáshoz. E gázok összes részesedése kb. 96%.

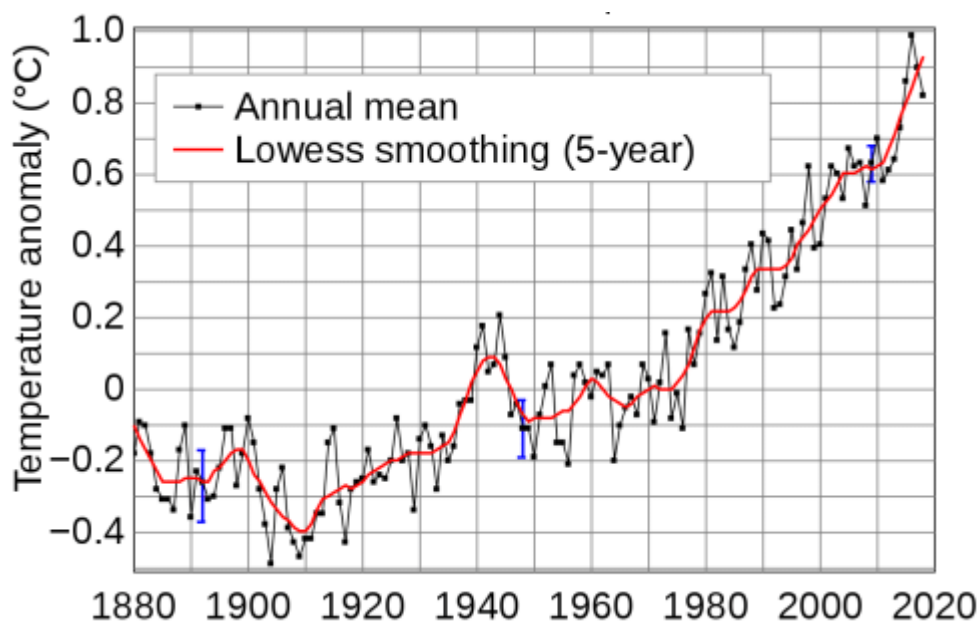
Vizsgáljuk meg a továbbiakban, hogy a most említett, a földi élet feltételeit biztosító kedvező hatásán kívül mi mindent tulajdoníthatunk a légkör szennyezése révén kialakuló üvegházhatásnak.

A bevezetőben már megemlített váratlan és furcsa globális klíma-rendellenességek nyomán egyre nagyobb fontosságot kapott a klimatológia tudománya, amely többek között azt vizsgálja, hogy az éghajlati változások természetesek-e, vagy az ember közreműködése idézi elő azokat. Mindenekelőtt jegyezzük meg: a földi klíma állandóan változik, ez természetes jelenség, az ember beavatkozása nélkül is így lenne - csak kérdés, milyen mértékben? Sajnos, jelenlegi tudásunk szerint, amint erről a későbbiekben részletesen szó lesz, ez a kérdés egyelőre eldönthetetlen.

Amikor üvegházhatásról beszélünk, az időjárásról van szó, ami időszakonként ingadozik (felmelegedés - lehűlés), és semmiképpen nem tévesztendő össze a klímával, ami az időjárások összességét jelenti az adott klimatikus övezetekben (pl. trópusi, mérsékelt, sarki, stb.). Ezen időjárás-ingadozások alapján nem lehet eldönteni, tényleges klímaváltozásról van-e szó, ehhez hosszú távú hőmérsékleti megfigyelésekre lenne szükség. Ha az egyik helyen az adott időben rossz az időjárás, még nem ad okot általános következtetések levonására. Ma már a nemzetközi meteorológiai mérőhálózat kialakítása révén minden nap mérik a hőmérsékletet a világ minden pontján. Ez a mérőhálózat azonban sajnos csak kb. 100 éve létezik - megbízható adatok csak ebből az évszázadból állnak rendelkezésünkre. Ez időszakban viszont az átlaghőmérséklet kb. 0,5 °C-val emelkedett. Az erről készített diagramot az **59. ábrán** mutatjuk be. Mint láthatjuk, még ebben a viszonylag rövid időszakban is jelentős ingadozások figyelhetők meg - egy kifejezett lehűlési periódus volt az 1960-1970-es években.

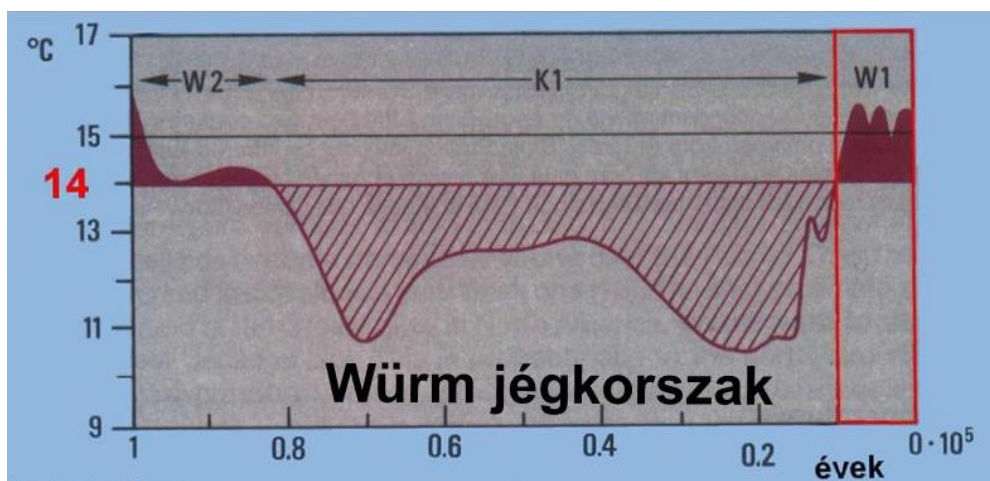
A globális felmelegedéssel foglalkozó szakemberek közül többen úgy vélik, nem egyértelműen az emberi tevékenység tehető felelőssé a változásokért, sőt kétségbe vonják még a globális felmelegedés tényét is. Szerintük ilyen nagyságrendű klímaváltozások a múltban, az ipari forradalmak előtt többször is előfordultak, a maitól lényegesen eltérő időjárási és klímaviszonyok uralkodtak. Leggyakrabban arra hivatkoznak, hogy valaha Grönland - mint a neve is mutatja - "zöld sziget" volt, lakott, ma pedig az örök hó és jég birodalma. Globálisan, a

Föld egészét tekintve azonban ez sem bizonyíték, hasonló, a maitól alapvetően különböző helyek és időszakok mindig is voltak.



59. ábra A Föld átlaghőmérséklete az utolsó 140 évben

Meteorológusok és klimatológusok egy csoportja szerint a jelenlegi lassú hőmérséklet-emelkedés természetes ingadozás, a legutolsó, az ún. Würmi jégkorszakot követő felmelegedés (60. ábra).



60. ábra A Föld átlaghőmérséklete az utolsó 100.000 évben

A távoli múlt időjárási és klímaváltozásait a vastag sarki jégtakarókban található gázzárványok, valamint a fák évgyűrűinek vizsgálatával próbálják rekonstruálni. A fák évgyűrűi a Föld természetes archivumai - szélesebb évgyűrűk melegebb, csapadékosabb tavaszra-nyarra utalnak. További vizsgálatokra alkalmasak még a Föld % részét alkotó

óceánokban kifejlődő korallak - a mészváz igen sok információt zár magába a tengerek változó viszonyairól.

Szén-dioxid mérésre azok az ideális helyek, amelyek távol vannak a várostól, amely termeli, és távol vannak a nagy kiterjedésű növényzettől, amely fogyasztja, elnyeli azt. Ilyen, a célra minden szempontból megfelelő mérési pontot találtak a Hawaii szigeteken lévő Mauna Loa vulkán területén, és az ott már kb. ötven éve folyó ma is folynak. A naponta többször elvégzett mérések során elsősorban egy tavaszi - őszi ciklikusság volt tapasztalható a légkör szén-dioxid koncentrációjában. Azt viszont egyértelműen megállapították, hogy a CO₂ mennyisége a légkörben minden évben lassan növekszik - a tudósok szerint ez bizonyíték arra nézve, hogy a többségét az ember termeli. A keletkező szén-dioxid - mint már láthattuk - az atmoszférában nagyon tartós, és szétterjed az egész Földön. Így ama kibocsátott CO₂ a jövő időjárását is meghatározza - biztosra vehetjük, hogy a szabályozási próbálkozásokkal már elkéstünk, a helyzet, a felmelegedés csak romlani fog. Ez a szituáció tipikus példája annak a figyelmeztetésnek, hogy a környezetszennyezéssel az unokáink jövőjét tesszük tönkre!

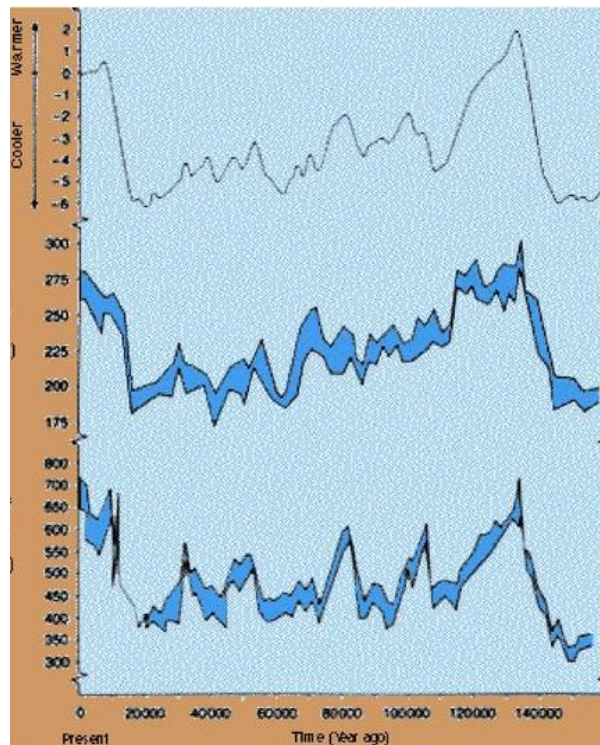
A kibocsátás első ranezesre hihetetlen mértékben növekszik. Nézzük meg a 3. táblázatot, amely az elmúlt 60 év ember általi CO₂-szennyezését mutatja be.

14. táblázat

Időszak	Karbon-kibocsátás CO ₂ formájában
1945	1 milliárd tonna
1960	2,5 milliárd tonna
ma	7 milliárd tonna

Az elvégzett mérések azt is bebizonyították, hogy a légköri szén-dioxid mennyiség és a hőmérséklet emelkedése között szignifikáns kapcsolat mutatható ki, amint az a **61. ábráról** egyértelműen megállapítható. Az ábrán azonban az is jól látszik, hogy bár az utóbbi néhány ezer évben erősen megemelkedett a CO₂ mennyisége és ezzel együtt a relatív hőmérséklet, az elmúlt évezredekben ilyen változások máskor is voltak, olyankor, amikor az ember még meg sem jelent a Földön. Ne feledjük el továbbá, hogy az utolsó jégkorszak kb. 10 ezer évvel ezelőtt fejeződött be!

Megemlítjük, hogy vannak olyan vélemények is (elsősorban a szennyező anyagot kibocsátó ipar képviselői között), amelyek szerint a CO₂ nem kell szennyezőnek tekinteni, hanem növénytápszernek - a fotoszintézis során a növények szöveteik felépítéséhez felhasználják, zöldebb lesz a világ. Modellkísérletekkel bebizonyították, hogy (jelentősen) megemelt szén-dioxid atmoszférában két év alatt 25 %-os növekedést értek el egy erdő fát vizsgálva. A hatás tehát pillanatnyilag kétségtelen, a tudósok szerint azonban ez a növekedés csak addig fog tartani, amíg a fák pusztulása be nem következik: ekkor a szerves anyag bomlása során felszabaduló szén-dioxid visszakerül a légkörbe. Nyilvánvalóan nekik van igazuk.



61. ábra CO₂ és a hőmérséklet kapcsolata

A globális felmelegedés a földfelszín és az azt övező atmoszféra fokozatos hőmérséklet emelkedését jelenti. Hatása természetesen első sorban közvetlen, ami a sarki jégtakarók egyre gyorsuló olvadását okozza, ami először centiméterekkel, később az előrejelzések szerint akár méterekkel is megemelheti a világtengerek szintjét. Gondoljuk csak el, mit jelent ez a vízszintnövekedés a mélyen fekvő, kiemelkedő partvidék nélküli országok, szigetek számára! Városok, országrészek, országok, szigetek tűnhetnek el a víz alatt - ennek megakadályozására kevés remény látszik.

A globális felmelegedés közvetett hatását a klímaváltozások jelentik. Az éghajlatváltozása sok folyamat bonyolult visszacsatolásából áll. Az óceánok vizének felmelegedése erősebb párolgást hoz létre, ezáltal több vízgőz kerül a levegőbe, ami erősíti az üvegházhatást - pozitív visszacsatolás. Ugyanakkor ezáltal több alacsony felhő is keletkezik, amelyek csökkentik a felmelegedést - negatív visszacsatolás. A szén-dioxid hatása tehát csak összetetten értelmezhető, és megítélésében a Nemzetközi Légkörkutató Központ (Boulder, Colorado, USA) kutatói szerint is nagyon sok a bizonytalanság.

Az óceánok az éghajlat jelentős befolyásoló, egyúttal bizonytalansági tényezői. A víz az Egyenlítőn felmelegszik - pl. a Golf-áramlat, amely a Mexikói-öbölből indul, az Atlanti óceánon átkelve Európa nyugati partjait melegíti, majd a sarkkör közelében már annyira lehűl, hogy a hideg sós víz lesüllyed, és a tenger mélyén tér vissza az Egyenlítőhöz. Ez a körforgás a CO₂ "eltétemését" is jelenti.

Felmerül a kérdés: tehetünk-e valamit a "világvége" elkerülésére, és ha igen, mit tegyünk? A problémát felismerve évekkel ezelőtt megindultak a kezdeményezések a kibocsátás szabályozására, csökkentésére. A kezdeményezésben az Egyesült Államok járt az élen, amely

a világ energiatermelésének egynegyedét használja fel egymaga. Világszerte igen sok szén (60 %) és olajerőmű működik, amelyek a kibocsátás fő bűnösei. Léteznek azonban más erőművek is, pl az atomerőművek, amelyek a széntüzelésűekkel együtt a legolcsóbb energiát szolgáltatják. Ismeretes azonban az emberek ellenállása az atomerőművekkel szemben - meg kellene értetni a tiltakozókkal a különbséget egy erőmű és a pusztító sugárfegyver között. Bármennyire is tiltakozunk a különféle "szennyező" energia-termelők ellen, be kell látnunk, hogy ma még semmiféle érdemi, gazdaságosan működő, és főként elegendő energiát előállító alternatívával nem rendelkezünk. És még csak kutatások sem folynak sehol a világon a hagyományos energiaforrások felváltására. Az ún. megújuló energiaforrások, mint a nap energia, a szélenergia, a biomassza. stb. csak távlati, és igen korlátozott lehetőségeket biztosítanak. Napenergiával (igen drágán) csak ott és akkor termelhető elektromos áram, ahol és amikor az erőmű berendezéseit megfelelő energiasűrűségű napsugárzás éri. Ez pedig a világ nagy részén nem megvalósítható ipari méretekben. Hasonló a helyzet a széllel - igen sok szélcsendes hely van világszerte, és a szél energiának is olyan kicsi az energia-sűrűsége, hogy egész országokat kellene szélenergiával teletűzdelni - de akkor hol marad hely az emberek, a mezőgazdaság számára? Az alternatívenergiaforrások közül viszonylag leggazdaságosabban a vízerőművek működnek - de az egész világ egyre növekvő energiaellátását nyilvánvalóan nem képesek biztosítani. A biomasszát pedig jobb elfelejteni, hiszen a kis fűtőértékű növényi alapanyagból amúgy is kevés van, pusztul az az ember közreműködése nélkül is - azonkívül ugyancsak CO₂-termelő.

Ne tévesszük szem elől, hogy a leghangosabb kritikusok maguk is "bűnösök" a globális felmelegedést előidéző változások kialakulásában, hiszen ahányszor felkapcsolunk egy lámpát, háztartási gépet, főzünk, fűtünk, melegvizet használunk - annyszor járulunk hozzá mindannyian a légkör szennyezéséhez az elektromos áram vagy más fosszilis tüzelőanyag alkalmazásával. Számítások szerint egy ember évente átlag 800 kg korbont, azaz $4 \cdot 800 = 3200$ kg szén-dioxidot juttat a levegőbe az általa felhasznált elektromos energiával. Ehhez járul még természetesen a közlekedés: a CO₂-kibocsátás egyharmada a járművekből ered! Elképzelések persze vannak itt is alternatív motorokról, motorhajtó anyagokról, amilyen például a hidrogén. Elvben a megoldás nem rossz (bár oxigénben elégetve szeret felrobbanni), a kipufogó melléktermék vízgőz, ami kevésbé káros az üvegházhatás szempontjából. De miből lesz a hidrogén? Vagy vízből elektromos árammal történő elbontással, vagy szénhidrogénekből szintén szennyező melléktermékek kibocsátása révén. Gondoljunk bele: akkor javítottunk valamin is?

Az 1997-es Kyoto-i Környezetvédelmi Világkongresszuson igen erőteljes törekvések fogalmazódtak meg a kibocsátás csökkentésére irányuló nemzetközi megállapodás kidolgozása érdekében. Hosszas viták és nagy nehézségek kompromisszumok árán létre is jött egy szabályozó dekrétum, de sajnos azóta bebizonyosodott, hogy azokat az ígérvényeket szinte sehol a világon nem tartják be. Az Egyesült Államok kongresszusa az elsők között volt, amely nem ratifikálta a megállapodást. Kyoto tehát megbukott, és közel az idő, amikor súlyos változások fognak bekövetkezni. Tengerszint-emelkedések, aszályok, áradások, pusztító szélviharok, járványok, éhínségek. Ma még mindig a fosszilis tüzelőanyagok korát éljük. Ha leszjövönk ezen a Földön, valami már energiaforrást kell találnunk, mert olyan változások elé nézünk, amelyek beláthatatlanok. A jövő generáció sorsa van a kezünkben.

6.5. SZENNYEZŐ ANYAGOK MENNYISÉGE A LÉGKÖRBEN

A légszennyező anyagok koncentrációja a levegőben attól függ, hogy

- mennyi légszennyező anyag kerül a levegőbe
- mekkora levegőtérfogatba és
- mennyi légszennyező anyag hagyja el a légkört.

A légszennyező anyagok a levegőbe a forrásokból közvetlenül emisszióval kerülnek (elsődleges légszennyezők), vagy pedig a levegőben az elsődleges légszennyező anyagokból, esetleg ezek és a levegő természetes alkotóelemeinek kölcsönhatására kémiai reakciókkal keletkeznek (másodlagos légszennyezők).

Ha a légkörbe jutó idegen anyagok változatlan formában a levegőben maradnának, akkor annak összetétele viszonylag rövid idő alatt úgy megváltozna, hogy az emberi élet számára alkalmatlanná válna. Szerencsére a levegőnek - az élő vízhez és a talajhoz hasonlóan - természetes öntisztulása van.

A tisztulási folyamatokat három csoportba sorolhatjuk:

- a szennyező anyag a légkörből eltávozik
- a szennyező anyag más (esetleg közömbös) anyaggá átalakul
- a szennyező anyag koncentrációja csökken, tehát felhígul.

Az első csoportba tartozó lehetőségek egyike az ülepedés (szedimentáció), amellyel a szilárd vagy folyékony szennyeződés durva frakciója távozik az atmoszférából. A radioaktivitás-vizsgálatoknál a kihullás (fall out) fogalmat használjuk.

Az impakció vagy precipitáció felületekhez ütközés vagy tapadás útján választja ki a szennyeződést. Termoprecipitáció esetén a részecskék a hozzájuk képest hidegebb felületre, elektroprecipitáció esetén pedig ellenkező elektromos töltésű felületekre csapódnak ki. Ezek a folyamatok nagyrészt a föld- és tengerfelülettel érintkező légrétegekben játszódnak le, de légköri részecskék vagy vízcseppek felületén is létrejöhetnek.

Az ad- és abszorpció gáznemű szennyezőknél elsőrendű jelentőségűek. Elsősorban a tengerek nagy felülete jön számításba, de a talaj és az élővilág gázmegkötő képessége is tekintélyes.

Jelentős folyamatok a kondenzálódás és a kimosódás is. Felhőképződéskor a szennyező anyagok kondenzációs magvakként szolgálhatnak, és a csapadékkal ők maguk is kikerülhetnek a légkörből. Emellett a csapadék kihullása során tekintélyes légrétegeket mos át.

Az említett tisztulási folyamatokat nem lehet egymástól élesen elhatárolni: például egy esőcsepp aeroszol részecskének ütközés után azt feloldhatja, a jelenség egyúttal kimosódás és ülepedés.

A második csoportba azok a folyamatok tartoznak, amelyek során a szennyeződés közömbös vagy kevésbé szennyező anyagokká alakul át.

A harmadik csoportba tartozó hígulási lehetőségek közül a diffúziót, továbbá a szelek és turbulens légmozgások hatását említjük. A hígulás csak a szűkebb környezet szempontjából

kedvező, nagyobb területre, illetve az atmoszférára nézve közömbös, mert így a légkörben lévő szennyező anyag abszolút mennyiségei nem változnak, csak koncentrációjuk csökken.

6.6. A LEVEGŐ FIZIKAI ÁLLAPOTHATÁROZÓI ÉS SZEREPÜK A LEVEGŐSZENNYEZÉSBEN

Az üvegházhatást részletező fejezet-részben már szó esett az időjárás és a klíma fogalmak megkülönböztetéséről.

- Az időjárás - a levegő pillanatnyi fizikai állapotainak sorozata.
- A klíma - az időjárások összessége a földfelszín valamely helyén
- Az időjárással a meteorológia, az éghajlattal pedig a klimatológia foglalkozik.
- Az időjárást és az éghajlatot a levegő fizikai állapothatározói jellemzik.

Ezek:

- a léghőmérséklet
- a légnyomás
- a levegő nedvességtartalma
- a felhőzet mennyisége
- alátástávolság
- a szélesebbesség és a szélirány.

A felsorolt fizikai állapothatározók nagyságát az időjárást és a klímát illetően mindig a földfelszínen és annak 100 - 200 m vastagságú légkörében kell vizsgálni, befolyásoló szerepük ott érvényesül. A magasabb légrétegek tulajdonságai, mindenkor állapotuk legfeljebb csak közvetve vannak hatással a felszínközeli lejátszódó folyamatokra.

A levegő hőmérséklete mint időjárást befolyásoló tényező valamennyiünk számára nyilvánvaló, és nagyságát a Napból induló infravörös sugárzás Földre érkező intenzitása és energiasűrűsége alakítja. A felmelegedést illető fontos szempont a sugárzás intenzitásán kívül a Föld Naptól való távolsága és a sugarak beesési szöge (tél - nyár!), valamint a felhőzet éppen aktuális kiterjedése, amely vastagságától és magassági elhelyezkedésétől függően több vagy kevesebb "meleget" enged át.

A légnyomás a hőmérséklettel szorosan összefüggő állapothatározó (gondoljunk vissza az általános gáztörvényről tanultakra!). Az időjárásra gyakorolt hatása rendszerint közvetett, elsősorban a szelek és az időjárási frontok kialakulásában van jelentősebb szerepe.

A levegő . (elsősorban relatív) nedvességtartalma nem csak a felhő- és csapadékképződés, hanem a légszennyező anyagokkal való kölcsönhatása miatt is jelentős.

Két fő rész-fogalmat különböztetünk meg:

- **abszolút nedvességtartalom** - az 1 m³ levegőben lévő vízpára grammokban kifejezett mennyisége
- **relatív nedvességtartalom** - a tényleges páratartalmat az adott hőmérsékleten a telítési vízgőztartalom százalékában adja meg (ezért csak a hőmérséklet egyidejű megadása esetén van értelme).

A felhőzet a levegő nedvességtartaimából alakul ki, és belőlük a felhő légkörben való elhelyezkedésének megfelelő hőmérsékleten elért telítési pontját elérve különféle csapadékok hullanak a földfelszínre. A felhőzet kiterjedésétől és vastagságától függően leárnyékolja a talaj felszínét, akadályozva felmelegedését, egyszersmind záróréteggént viselkedik, így hatása az időjárás alakulása szempontjából általában kedvezőtlen. A levegő nedvességtartaimából valamint a felhőkből létrejövő csapadékok a hőmérséklettől függően melegben harmat és eső, hidegben dér, dara, hó vagy jég.

Az időjárás változásait a különböző légáramlatok idézik elő, a klímát már több tényező határozza meg: a földrajzi szélesség, a tengerektől való távolság, a kialakult szélirány, a páratartalom ingadozásai, a tengerszint feletti magasság, a domborzati viszonyok, stb.

A napsugárzás hatására a talaj közeli rétegek felmelegednek, sűrűségük csökken, ezért felemelkednek. Ennek következtében a hűvösebb területek (pl. a nehezebben felmelegedő vízfelszín) felől a felmelegedett területre is légáramlás (szél) indul meg, ezeknek pótlására viszont a magasabb légrétegekből lefelé áramlik a levegő. ---ez a folytonos mozgás keveri a troposzférát. Enélkül a keverő hatás nélkül tűrhetetlen volna a nagyvárosok légterének szennyezettsége.

A légszennyező anyagok koncentrációjának csökkenését különösen a 8 - 10 m/s- nál nagyobb sebességű szelek segítik elő, mivel ezek turbulenciája már jelentős. -a turbulenciát fokozzák a szélirány-változások (pl. erdő), széllekeések és a függőleges szélmozgás. a gázok diffúziósebessége légköri méretekben nem elegendő a levegőbe került szennyező anyagok kellően gyors hígításához. A turbulens légköri mozgások hígulást elősegítő hatása százszor - ezerszer nagyobb a diffúzió hatásánál.

A különféle szelek az időjárás alakításán kívül a légszennyezettség nagyságának, eloszlásának és terjedésének alapvető befolyásoló tényezői.

Ebből a szempontból:

- a nagy sebességű (> 10 m/s), turbulens szelek → kedvező hatásúak
- a kisebb sebességű, lamináris szelek → kedvezőtlen hatásúak
- a szélcsend és az inverzió → kedvezőtlen hatásúak.

A légkör szennyezettségi állapota, valamint az ennek hatására kialakuló folyamatok szempontjából rendkívül fontos az inverzió jelenségének megértése. Az inverz állapot - jelentésénél fogva könnyen belátható - fordított állapotot jelent. Szokásos - normál - időjárási helyzetben a Nap által felmelegített földfelszín fölött meleg légrétegek helyezkednek el, fölöttük pedig fokozatosan csökkenő hőmérsékletűek. A légszennyező anyagok ezekbe a meleg rétegekbe emittálódnak, és minthogy a meleg levegő sűrűsége kisebb a fölöttük elhelyezkedő hidegebb légrétegekénél, megindul a szennyezett meleg levegő felfelé áramlása, vagyis keveredés, a szennyezés hígulása alakul ki. Ez a helyzet környezetvédelmi szempontból kedvezőnek ítéltető. Inverz - fordított - állapotban a földfelszínen található meleg levegő alá hideg légréteg áramlik (tör) be, és nehezebb sűrűsége miatt a felszínen megülepedik. Ennél fogva természetesen a szennyező anyagok is ebbe a légrétegbe jutnak, és mivel nincs felfelé irányuló légmozgás, keveredés, ezzel együtt a szennyezés felhígulása sem jön létre. A jelenség környezetvédelmi szempontból tehát egyértelműen káros, és a szennyező anyagok

földközeli tartásán kívül rendkívül kellemetlen időjárási jelenségek, ún. füstködök vagy szmogok kialakulását idézi elő.

Normál körülmények között a szilárd légszennyező anyagok nagyobb szemcseméret-tartományba eső részecskéi ülepednek, a kisebb részecskék pedig ütközésük révén fokozatosan nagyobb szemcsékké egyesülnek, és így ugyancsak az ülepedő por mérettartományába jutnak. A hidrofil porok agglomerációját a levegő nedvességtartalma megakadályozza. Így ezek a porok - vékony vízréteggel borítottnak - hosszú ideig lebegve maradnak és szennyezik a levegőt. Különböző gáz alakú légszennyező anyagok jelenlétében a hidrofób porok is hidrofíllé változhatnak, és a légnedvesség hatása ezekre is érvényesül.

A levegő nedvességtartalma tehát stabilizálja a porszennyeződést, utóbbi pedig elősegíti a ködképződést. A kölcsönhatás további következményeképpen a látástávolság csökken, ez ugyanakkor a közlekedési forgalom lassulásával fokozza a gépjárművek szennyezőanyag kibocsátását, a légszennyeződés erősödését. A légszennyező anyagoknak ilyen együttes hatása és a kedvezőtlen légköri, meteorológiai körülmények találkozása vezet a füstköd (szmog) kialakulásához, amely a levegőszennyeződési jelenségek legszélsőségesebb formája.

A füstködöknek vagy szmogoknak két alapvető típusát különböztetjük meg: a Londoni típusú szmogot, valamint a Los Angeles-i típusú szmogot. Elnevezése süket leggyakoribb előfordulási helyeikről kapták.

Londoni szmog: a füstköd egyik formája, amely a szén- és olajtüzelés következményeképpen főleg a téli időszakban, magas relatív nedvességtartalomnál szokott jelentkezni. A légszennyezést itt elsősorban kén-dioxid, szén-monoxid és korom okozza. A füstköd a hajnali órákban - amikor a leghidegebb van - alakul ki, amikor rendszerint inverziós állapot lép fel.

Los Angeles-i szmog: a füstköd másik formája, amely főleg a nagy gépjárműforgalom következménye lehet erős napfénybesugárzás és a levegő magas abszolút nedvességtartalma mellett. A légszennyeződést nitrogén-oxidok és szénhidrogének okozzák. Ezekből a napfény katalizáló hatására új vegyületek keletkeznek, többek között ózon, peroxi-acil származékok és más bonyolult szerves vegyületek, amelyek mérgezőek, fojtó hatásúak. Ez a fajta füstköd ryáron, a déli órákban lép fel a leggyakrabban.

Az előzőekben részletezett szmog-féleségek az utóbbi években sajnálatos módon egyre gyakrabban fordulnak elő, különösen a Los Angeles-i típusú, mivel a felmelegedés és a gépjárműforgalom okozta szennyezőanyag-kibocsátás egyre fokozódik, az elvékonyodó ózonréteg miatt pedig a napfény ultraibolya sugárzása erősödik. Forró nyári napokon létrejött egyre valószínűbb, ezért hazánkban ma már az önkormányzatok számára jogszabályban előírt kötelezettség, ún. szmog-riadó tervek készítése, amelynek végrehajtását a súlyosan károsító légszennyezettségi állapotban el kell rendelni, a lakosság és az arra illetékes hivatali szervek együttműködésével meg kell kísérelni az esetleges környezeti (és természetesen egészségügyi) katasztrófák bekövetkezését.

6.7. A LEVEGŐSZENNYEZÉS FORRÁSAI ÉS FAJTÁI

Levegőszennyezőnek kell minősíteni származásuktól és állapotuktól függetlenül azokat az anyagokat, amelyek olyan mértékben jutnak a levegőbe, hogy azzal az embert és környezetét kedvezőtlenül befolyásolják vagy anyagi kárt okoznak. Bár a természetes szennyező források összkibocsátásukat tekintve a mesterséges szennyező forrásokat jelenleg még többszörösen meghaladják, a bioszféra szempontjából káros szennyező anyagkoncentrációk kialakulásához nem vezetnek.

A mesterséges szennyező források egyik fő jellegzetessége, hogy általában területileg koncentráltan - nagy városokban vagy ipartelepeken - helyezkednek el, ezért a szennyező anyagokat erősen korlátozott kiterjedésű légtérbe bocsátják, és azoknak a környezet szempontjából ártalmatlan hígulására csak jóval a városok határain kívül kerül sor.

Légszennyező minden berendezés, épület, jármű vagy szabadban elhelyezkedő anyag (meddőhányó, széntároló, személtlerakó hely), amely légszennyezést okoz.

6.7.1. A légszennyezők eredete

A levegőszennyező anyagokat eredetük szempontjából két nagy csoportra, természetes és antropogén - az ember által előidézett - eredetűre osztjuk.

6.7.1.1. Természetes eredetű légszennyezők

A légkörbe jutó szennyező anyagok tekintélyes része természetes eredetű. A Föld felületének nagyobb részét kitevő hidroszféra jelentős mennyiségű aeroszolt termel. A hullámverései levegőbe jutó vízcseppek beszáradásával főleg nátrium (Na), kálium (K), klorid (Cl) szulfát (SO₄) ionokból álló vegyületek maradnak az atmoszférában. A tengeri élővilág hatalmas mennyiségű gáz halmazállapotú anyagcsere-terméket is a levegőbe juttat.

A litoszféra felületéről főleg szilárd fázisú szennyező anyagok származnak. A széllel felkavart homok (SiO₂) gyakran nagy koncentrációban van jelen. A talajok pora szerves alkatrészeket tartalmaz, főleg azonban ásványok porából, karbonátokból, szulfátokból és oxidokból áll (például CaCO₃, CaSO₄, MgSO₄, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, stb.). Vulkáni tevékenység során porok, gőzök és gázok (H₂S, SO₂, HCl, CO) jutnak a levegőbe. Sztyeppék, bozótok, erdők tüzeinek égéstermékei a szén-dioxidon kívül kormot és karcinogén szénhidrogéneket hordoznak. A növények és állatok bomlástermékei (NH₃, H₂S, aminok, merkaptánok, atb.) gyakran bűzösek. A gázkitörésekből és szerves bomlástermékként levegőbe kerülő kis szénatom-számú szénhidrogének közül legnagyobb és meglehetősen állandó a metán koncentrációja (1,2 ppm).

6.7.1.2. Antropogén eredetű Légszennyezők

Az egyes országok emisszióinak fajtája és mennyisége számos tényezőtől függ. Ilyenek: az energiatermeléshez és kommunális fűtéshez használt tüzelőanyagok fajtája, az ipari termelés

volumene és korszerűsége, a légszennyező anyagok leválasztásának foka, a gépjárművek száma és műszaki színvonala, a lakosság száma és az éghajlat. A fő szennyező forrásokat jól szemlélteti a táblázat, amely az Egyesült Államokban 1975-ben az emberi tevékenység során kibocsátott szennyező anyagok adatait tartalmazza.

15. táblázat Az USA-ban 1975-ben kibocsátott főbb légszennyező anyagok becsült mennyisége, Mt/év

Szennyező anyagok		Tüzelőanyagok égetése	Hulladékok égetése	Ipari folyamatok	Összesen
Szilárd részecskék Mt	1,2	6,0	0,9	7,9	16,0
szén-monoxid Mt	69,6	1,1	4,4	8,5	83,6
kén-dioxid Mt	0,8	23,7	0,1	5,1	29,7
nitrogén-oxidok Mt	9,6	11,0	0,3	0,6	21,7
szénhidrogének Mt	10,06	1,3	1,2	3,1	27,5
Összesen	91,8	43,3	6,9	25,2	178,5

Az iparhoz számítva az oldószer-elpárolgást is, az ipar részesedése 20,4 %. Az emittált szennyezés 90 %-a gáznemű és csak 10 %-a por, az emisszió mintegy fele a közlekedésből, 1/4 – 1/4 része pedig az iparból és a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből ered. Megállapíthatjuk azt is, hogy a levegő szennyezését elsősorban égési folyamatok (oxidáció) okozzák: bárhol is mennek végbe: háztartásokban, hőerőművekben vagy a gépjárművek robbanómotorjaiban. A fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) ugyanis a szénen kívül egyéb elemeket is tartalmaznak, azok mennyisége kihat a füst-gázok összetételére. Az égéskor keletkező füstgáz a szén oxidjain kívül vízgőzből, a kén és a nitrogén oxidjaiból áll, de néha metánt és egyéb gáznemű szénhidrogéneket is tartalmaz, sőt szilárd részeket is magával ragad, mint amilyenek a pernye, korom, koks és kátrány.

A levegő ember általi szennyezését elsősorban az égési folyamatok (oxidáció) okozzák, bárhol mennek is végbe: háztartásokban, hőerőművekben, a gépjárművek robbanómotorjaiban, vagy magában az emberi szervezetben.

Fosszilis tüzelőanyagok égetése - a kibocsátott légszennyezők főleg a szén, a kén, a nitrogén oxidjai, vízgőz, szilárd részecskék (pernye, por, korom, stb.), szénhidrogének.

Az égéstermékek hatása a környezetre nagyon különböző. A szén tökéletlen égésekor keletkező szén-monoxid (CO) nagyon erős mérgező, a tökéletes égés terméke, a szén-dioxid (CO₂) viszont hasznos a növényzet számára, ugyanakkor a kén-dioxid (SO₂) egyike a legkárosabb levegőszennyező anyagoknak.

Szembevetve kiemelkedik a széntüzelésű erőművek szennyező hatása. Gáznemű szennyező anyagokból az olajtüzelésű erőmű 35, a földgáztüzelésű csak 6 %-át bocsátja ki a széntüzelésű erőmű emissziójának. Ez utóbbiakban a szilárd részecskék a gáznemű szennyező anyagokkal nagyságrendileg azonos mennyiségben keletkeznek. Az olaj és földgáztüzelésű erőművek szilárd részecske kibocsátása a széntüzelésű erőművek emissziójához képest elhanyagolható. Külön figyelmet érdemelnek a nitrogén-oxidok, amelyeket az olaj és földgáztüzelésű erőművek is jelentős mértékben emittálnak.

Városok kén-dioxid és szilárd részecske emissziójának mértéke elsősorban a kommunális fűtés és az ipari hőenergia-termelés tüzelőanyagaitól és berendezéseitől függ.

Gépjárművek meghajtás - szén-monoxid, kén-dioxid, nitrogén-oxidok, szénhidrogének (telített, telítetlen), korom, benz-a-pirén és egy sor oxigéntartalmú szerves vegyület.

A gépkocsik okozta légszennyezés is a nagyvárosok egyik központi problémája, ennek érdekében figyelembe kell venni az Otto- és dízelmotorok kipufogógázainak eltérő összetételét. A kétféle motorban a különböző működési elv miatt eltérő égési folyamatok játszódnak le, az üzemanyag is már. Míg a dízelmotorok állandóan légleseleggel dolgoznak, az Otto-motorok az üzemi tartomány nagy részében léghiánnyal működnek, ezért az égéstermékek összetétele eltérő.

Az egészségre ártalmatlan komponensek mellett a két motortípus kipufogógázai - eltérő mértékben - szén-monoxidot, nitrogén-oxidokat, szénhidrogéneket (telített, telítetlen), kormot, benzpirént, kén-dioxidot és egy sor oxigéntartalmú szerves vegyületet tartalmaznak. Az egyes komponensek mennyiségét a motor üzemállapota (üresjárat, hidegindítás, stb.) nagymértékben befolyásolja. Közvetlen egészségártalom szempontjából legveszélyesebb a szén-monoxid, amely már 0,01 % v/v koncentráció felett mérgezési tüneteket okozhat azáltal, hogy a vér hemoglobinjából az oxigént kiszorítja.

A szennyező hatás értékelésére a szikragyújtású motoroknál elsősorban a szén-monoxidot, szénhidrogéneket és nitrogén-oxidokat, míg a kompressziós gyújtású motoroknál a koromtartalmat, illetve laboratóriumi szinten újabban a nitrogén-oxidokat, szén-monoxidot és szénhidrogéneket mérik. Ezen a területen az emisszió csökkentésére az első lépés a gondos karbantartás.

Ipari tevékenység - különféle szerves és szervetlen eredetű porok, gázok, gőzök, ásványi anyagok.

Az ipar rendkívül változatos szennyező anyagaival és koncentrált forrásaival tűnik ki. Általában zárt technológiák alkalmazására kell törekedni, a légszennyezési problémák megoldása gyakran hasznos anyagok visszanyerésével jár együtt. Fontos a telephely célszerű külölése és a védősávok alkalmazása. Az alábbiakban néhány jellemző példát említünk.

A szénbányák osztályozói szén- és meddőpor kibocsátásával szennyezik a környezetet. A legnagyobb porszennyezés okozói a cementgyárak, amelyek a nyers-anyagok és égetőkemencék porát, valamint a cementport egyaránt kibocsátják. Lég-szennyező a kohászat is: a nagyolvasztók torokgáza szén-monoxidot, metánt és port tartalmaz, aporemiszió 20 200 kg/t nyersvas lehet. Az acélgyártó berendezésekből kilépő gáz legjelentősebb komponense a vas-oxid, ami az ún. barnafüstöt képezi.

Hidrogén-fluoridból a legnagyobb mennyiség a foszfátműtrágya gyártásánál, a fluorapatit feltárásakor kerül a véggázzal a levegőbe. Jelentős a timföld elektrolízisének, az tvegmaratásnál és a zománcgyártásnál szabadba kerülő HF és más fluor-vegyületek mérgező hatása is. Klór a nátrium-kloridot elektrolizáló üzemekre és a szerves vegyiparra jellemző. Sósav nem csak a szintézisüzemből jut a környezetbe, hanem ércek klórozó pörkölésének és klórtartalmú hulladékok (pl. PVC) égetésének véggázaival is. Kénsav- és cellulózgyárak véggázaival kén-dioxid, nitrogénműtrágya és salétromsav gyárakból nitrogén-oxidok kerülnek a levegőbe.

A már említett iparágak mellett számottevő az építő-, építőanyag- és könnyűipar levegőszennyező hatása is.

Mezőgazdaság - porszenyezés, műtrágyák, növényvédő szerek, állattartás.

A mezőgazdasági tevékenység korábban csak olyan anyagokat juttatott a levegő-be, amelyek természetes körülmények között keletkeznek. Meg kell azonban említenünk, hogy olyan országokban, mint hazánk, a szántóföldekről származó porszenyezés is jelentős lehet. Ennek okai: az ország területének 70 %-a áll mezőgazdasági művelés alatt, az ország fele fel van szántva, ennek nagy része hónapokig fedetlen, ugyanakkor a csapadék és az erdőterület kevés.

Manapság az említett porszenyezés mellett a mezőgazdaság fokozódó kemizálásával nem csak a műtrágyák pora, hanem biológiailag aktív anyagok egész sora kerül a levegőbe, különösen amióta repülőgépről szórják, permetezik azokat. A peszticidek (klórozott szénhidrogének, szerves foszfátészterek, dítio-karbamátok, stb.) alkalmazása miatt ma már a mezőgazdaság a természet biológiai egyensúlyát nagyon veszélyezteti.

A metán-szenyezés mezőgazdasági eredetű is lehet. Tekintélyes mennyiségű metánt juttatnak a levegőbe a rizstermő földek, továbbá - bármilyen hihetetlennek tűnik is - de a szarvasmarhák emésztési anyagtermékei között is jelentős mértékben megtaláljuk a metán, vagyis a szarvasmarhák metánt lélegeznek ki.

6.7.2. A Légszenyező források fő típusai

Régebben egy ország vagy terület levegőjének szennyezettsége rendszerint iparának fejlettségével volt arányos, később a fejlettséget a közlekedés okozta szennyeződés részesedési aránya jellemezte. Napjainkban a korszerűsödő gépjárműállomány (főleg a gazdagabb országokban, de hazánkban is) a gépjárművek számának növekedése mellett nem növeli tovább a szennyezettséget.

Primer szennyező források azok, amelyek a szennyező anyagokat termelik és a légkörbe juttatják. Szekunder forrásoknak azokat nevezzük, ahonnan a levegőből egyszer már távozott, eltávolított, illetve a termelésből már kivont szennyező anyagok ismét a légkörbe kerülhetnek. Ilyenek a pernyehányók, meddőhányók vagy például a cementgyárak utakra, talajra, épületekre ülepedett pora, amelyet a szél felkavar. Ilyenek a szeméttelpek, továbbá a szennyvizek, amelyekből az elnyelt gázok, oldószerek gőzei kidiffundálnak.

A levegőbe szennyező anyagokat kibocsátó forrásokat elhelyezkedésük, jellegzetességeik, a kibocsátás jellege alapján csoportokba sorolták, amely egyrészt tájékoztat a légtérbe kerülés módjáról és egyúttal arra is rámutat, miként lehetséges az adott források szennyező hatását csökkenteni, esetleg megszüntetni.

Pontszerű források

A pontforrások (un. koncentrált paraméterű források) azok, amelyeknél a légszenyező anyagok koncentrációja és a hordozó gázok térfogatárama, ezáltal a környezetbe lépő káros anyagok mennyisége egyértelműen meghatározható. Nem feltétel, hogy a gázáramlást gépi

berendezés (szivattyú, ventilátor) biztosítsa. A pontforrásokhoz tartozik a kémény, a kürtő, a szellőző.

A pontforrás elnevezés arra utal, hogy a szennyező anyagok a terjedés-hígulási számítások szempontjából "egy pontban" lépnek ki a környezeti szabad levegőbe. Az ún. magas pontforrásoknál (erőművek, ipartelek magas kéményei) a légkör természetes bigítóképessége az év nagy részében optimális mértékben tud érvényesülni.

Felületi források

A felületi (un. szórt paraméterű vagy diffúz) forrás oknál a szennyező anyagokat kibocsátó felület nagysága ugyan meghatározható, de a hordozó gáz térfogata és sebessége nem, így a környezetbe kerülő anyagok mennyiségére csak közvetett mérések és számítások útján lehet következtetni. Itt a meteorológiai viszonyok, például a szélesebbég nem csak a már kilépett szennyező anyagok hígulását, hanem a diffúz forrásból történő anyagkibocsátást is jelentősen befolyásolják. Tipikus példája a felületi vagy diffúz forrásoknak a hulladéklerakók felszíne.

A diffúz források lényeges alcsoportját képezik az un. vonalas légszennyező források. Ide tartoznak a közutak, vasútvonalak, víziutak és légifolyosók. Ezeket a forrásokat az jellemzi, hogy szennyező hatásukat a rajtuk áthaladó járművek száma és egyedi kibocsátása határozza meg. Szennyező hatásuk mértéke közvetve ezen adatok mérésével és számítás útján határozható meg.

6.8. A LÉGSZENNYEZÉS FOLYAMATA ÉS MÉRÉSE

A légszennyezés folyamata három jól elkülöníthető szakaszból áll, ezek az emisszió, transzmisszió és immisszió.

Emisszió

A különböző típusú forrásokból időegység alatt a környezeti levegőbe bocsátott szennyező anyag mennyiségét emisszióknak nevezzük, értékét általában kg/óra egységben adjuk meg. A kibocsátás koncentrációja (emissziókoncentráció, g/Nm^3) a lég-szennyező anyagoknak a hordozó gáz normál térfogatára vonatkoztatott mennyisége.

A második szakaszban, a transzmisszió során a levegőbe került szennyező anyagok hígulnak, ülepednek, fizikai és kémiai változásokon mennek át. A transzmissziót leíró összefüggéseket a légkörfizikai jelenségek mérése és értékelése útján számítják.

Immisszió

A harmadik szakasz - amely környezetünkkel, tevékenységünkkel közvetlen kapcsolatban van - az immisszió, a környezeti levegőminőség. A kibocsátott szennyező anyagoknak a talaj közeli levegőben kialakult koncentrációját nevezzük immisszióknak.

Immisszió ellenőrző hálózatok:

Két fő típus:

- levegő monitorok - automatikus működésű mérőállomások
- rendszeres szakaszos mintavétel- 30 perces illetve 24 órás

- lehetnek telepítettek - automatikus vagy kézi
- időszakosan üzemelők - kézi méréssel vagy mérőkocsival.

A mérőpontok kijelölésének szempontjai a vizsgálat céljától függnnek, azonban mindig reprezentatív helyen kell kijelölni.

Telepíthetők minden különösebb rendszer nélkül, de ez szárnos hibaforrást rejt magában, és hatékonysága rossz. Adott szennyező forrás hatását célszerűen koncentrikus körökben, égtájanként telepített állomásokkal mérhetjük fel.

Háttérszennyeződés - a Meteorológiai Világszervezet által szigorúan meghatározott körülmények kötött kell mérni olyan helyeken, ahol semmiféle szennyezőforrás nincs.

Települések alapterhelése - az Egészségügyi Világszervezet javaslatán alapuló elrendezésben, helyi szennyező forrásoktól mentes, jól átszellőző helyekre telepített mérőállomásokon kell mérni.

A levegőt szennyező anyagokat legegyszerűbb halmazállapotuk szerint csoportosítani, így vannak

- szilárd,
- cseppfolyós és
- gáz halmazállapotú
- szennyező anyagok.

A gáz halmazállapotú szennyezők koncentrációját mg/m³, mg/ Nm³ vagy ppm egységeben adjuk meg. A ppm térfogatarányban kifejezett koncentráció, jelentése

$$1 \text{ ppm} = \frac{\text{cm}^3 (\text{légszennyezőanyag})}{\text{m}^3 (\text{levegő})}$$

A ppm egységben történő megadás előnye, hogy a gáz hőmérsékletének és nyomásának változásától gyakorlatilag független.

A tömeg szerinti koncentráció átszámítására szolgáló összefüggés

$$\text{ppm} = \frac{V}{M} k$$

ahol

- V a gáz moláris térfogata, cm³/mmol;
- M a légszennyező anyag V a légszennyező moláris tömege, mg/mmol;
- k a tömeg szerinti koncentráció, mg/m³

A por-és ködszennyeződés mértékét a tömeg vagy részecskeszám szerinti koncentrációval fejezhetjük ki:

- tömeg szerinti koncentráció vagy porterhelés, pl. mg/Nm³
- részecskeszám szerinti koncentráció, pl. db/cm³.

Üledő porok jellemzésére szokásos a porszórás megadása, amely a környezet területegységére időegység alatt leülepedő por mennyisége g/(m² * hónap) vagy t/(km² *év) egységben kifejezve.

A gáznemű közegben elosztott (diszpergált) részecskék ülepedés szempontjából a következőképpen csoportosíthatók:

- az 1000 - 1 μm szemcseméretűek gyorsan ülepednek (pl. ülepedő porok);
- a 10 - 0,1 μm szemcseméretű részecskék igen lassan ülepednek, stabil aeroszolt képeznek (pl. lebegő porok);
- a 0,1 - 0,001 μm szemcseméretűek már nem ülepednek, hígulásuk a gázokéhoz hasonló.

Az aeroszoloknak két fő csoportja van: diszperziós és kondenzációs aeroszolok. A diszperziós aeroszolok szilárd vagy folyékony anyagok aprítás a, illetve porlasztása vagy levegőáram révén lebegő állapotba vitelével keletkeznek. A kondenzációs aeroszolok gőzök kondenzációja vagy gázok kémiai reakciója révén képződnek, ezek rendszerint 1 μm -nél kisebb átmérőjűek. A diszperziós aeroszolok többnyire nagyobb szemcseméretűek és szabálytalan alakúak.

A szilárd részecskéket tartalmazó aeroszolatoknak pornak nevezzük, míg a szilárd és folyékony diszperz fázist együttesen tartalmazó aeroszolok a füstök, a csak folyékony részecskéket tartalmazó aeroszolok a ködök.

6.9. A LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK KIBOCSÁTÁSÁNAK SZABÁLYOZÁSA

A környezet védelmének szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény (a környezetvédelmi törvény) alapelveként az alábbiakat mondja ki:

- "A környezethasználatot úgy kell megszervezni, hogy
- a legkisebb mértékű környezetterhelést és igénybevételt idézze elő,
- megelőzze a környezetszennyezést,
- kizárja a környeztkárosítást.

A megelőzés érdekében a környezethasználat során a leghatékonyabb megoldást kell alkalmazni - elérhető (rendelkezésre álló) legjobb technikák (BAT).

BAT - a korszerű technikai színvonalnak megfelelő legjobb rendelkezésre álló technika, amelyet a kibocsátások megelőzése és - amennyiben a megelőzés nem valósítható meg - csökkentése, valamint a környezet egészére gyakorolt hatás mérséklése érdekében alkalmaznak, és amely a kibocsátási határértékek megállapításának alapjául szolgál.

6.9.1. Kibocsátási határértékek

A kibocsátási határértékeket a mindenkor érvényben lévő, a levegőtisztaság-védelemmel foglalkozó jogszabályok tartalmazzák. Jegyzetünk összeállításakor a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértégeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértégeiről miniszteri rendelet foglalja magába a jelenleg érvényes határérték-féleségeket, valamint a kibocsátható káros anyagok mennyiségeit a legkülönbözőbb termékekre vonatkozóan. A hivatkozott rendelet nem foglalkozik az illékony szerves anyagok kibocsátási

határértékeivel, azt a 26/2014. (III. 25.) VM - az egyes tevékenységek illékony szerves vegyület kibocsátásának korlátozásáról - rendelet szabályozza.

6.9.1.1. Technológiai kibocsátási határértékek

A technológiai kibocsátási határértékeket minden esetben a BAT figyelembe vételével kell megállapítani, ezért értékük a technikai, gazdasági és társadalmi fejlődéssel időben változik.

Két fő csoportra oszthatók:

- általános technológiai kibocsátási határértékek,
- eljárás-specifikus technológiai kibocsátási határértékek.

Értékük függ:

- a légszennyező anyag tömegáramától,
- a légszennyező anyag minőségétől, veszélyességétől,
- a legjobb rendelkezésre álló technika szintjétől.
- Különböző mértékegységekben adhatók meg:
- koncentráció: mg/rrr' füstgáz, ppm, térfogatszázalék
- termékspecifikus érték: g/GJ, g/kWh, kg/t termék, g/nr' termék
- A felhasznált nyersanyag mennyiségére vonatkoztatott érték: w%
- Általános technológiai kibocsátási határértékek.

6.9.1.2. Össztömegű kibocsátási határértékek

Az össztömegű kibocsátási határértékek mindig egy meghatározott területre vagy termelési ágra, szennyező forrás-csoportra megállapított, kibocsátható szennyezőanyag összmenyiségek.

Megállapításának célja, hogy egy adott területen - esetleg egy egész ország területén - egy meghatározott forrás-csoport kibocsátásának fokozatos tervszerű mérséklését lehessen elérni.

Kiemelt alkalmazási területe a határokon áttérjedő légszennyezések mérséklésére szolgáló nemzetközi egyezmények tervszerű teljesítésének biztosítása.

6.9.2. Az emisszió meghatározása

Az emisszió - más néven kibocsátás - meghatározása történhet méréssel illetve műszaki számítással.

A számítással történő meghatározás alapul veszi az anyagmérleget, a fajlagos és tapasztalati adatokat. Ez abban az esetben használható, ha nincs meg az a műszaki lehetőség, amellyel az emisszió meghatározás megoldható lenne.

- Gyakoribb és ma már egyre teljesebb körű az emisszió méréssel történő meghatározása.
- Alapvető emisszió-mérések:

- Gázok (gőzök) emissziójának mérése,
- Szilárd anyagok emissziójának mérése.

6.9.3. Az immisszió mérése

Az immisszió a levegőtisztaság-védelmi intézkedések eredménye: határértékek betartása minden levegőtisztaság-védelmi intézkedés végső célja.

Az immisszió kialakulására számos tényező hat, amelyek állandóan változnak. Ezért egy terület levegőszennyeződéséről nem kaphatunk néhány méréssel megfelelő képet. Általában több éven át végzett rendszeres ellenőrzést tartunk mértékadónak. A Központi Légekörfizikai Intézet számításai szerint minimálisan 26 adat szükséges ahhoz, hogy az évi átlagértéket elfogadható közelítéssel megadhatjuk. Ezeket a méréseket az év során egyenletesen elosztva kell végezni, egy-egy teljes napon át (24 órás átlag). Természetesen ilyen kis számú adatból részeredményeket kiragadni (például havi átlagot számítani, időjárási összefüggésekre következtetni) nem szabad.

A több szempontból kielégítő mérési eredményhez 24 órás időtartamú, naponkénti, kézi, vagy automatikus váltással történő átlagmintavétellel juthatunk. A gyakorlatban egy éven át legalább hetenként egyszer végeznek méréseket. Ügyelni kell arra, hogy adott mérőpontról a minták a nap különböző óráiból származzanak. A szennyeződés időbeni megoszlásának követésére legalkalmasabbak a folyamatosan működő regisztráló műszerek.

Az immisszió ellenőrző hálózatok két fő típusát különböztetjük meg. Az egyik az ún. air monitorok (regisztráló készülékek) alkalmazásán alapul. A mérő állomás folyamatosan működik, adataikat telefonvonalon vagy URH-n egy központba továbbítják, ahol a terület levegő szennyező dési állapota a mérésekkel egyidejűleg ellenőrizhető. Ez a rendszer azonnali beavatkozást tesz lehetővé veszélyhelyzet esetén: például elrendelhetik a füstköd intézkedési terv (szmog-riadó) alkalmazását. Ez egyrészt az erősen szennyező üzemek (például erőművek) teljesítményének csökkentését vagy időszakos leállítását teszik lehetővé, másrészt a közlekedés korlátozását (például belvárosokban) rendelhetik el. A füstköd intézkedési terv három fokozatú: készülség, amelyről csak az érintett szervezetek és üzemek értesülnek

- az 1. fokozat az üzemeltetés és a közlekedés kisebb korlátozásával jár, míg
- a 2. fokozat az erősen szennyezett légállapot huzamos fennmaradása esetén szigorúbb intézkedéseket tartalmaz.

A másik típus a rendszeres szakaszos (24 órás vagy 30 perces) mintavételt alkalmazza. A mérőhelyek lehetnek telepítettek, ezen belül automatikusak, vagy kézi vezérlésűek, és lehetnek olyanok, amelyeket időszakonként műszerrel, mérőkocsival felkeresnek. Az ilyen hálózat létesítése kevésbé költséges, így több mérőhely jelölhető ki. A szolgáltatott információk (különösen a 24 órás mérések esetében) a legfontosabb igényeket kielégítik. Az adatok értékelése és a beavatkozás általában egy hónap, vagy egy év után válik lehetővé.

A mérőpontok kijelölésének szempontjai a vizsgálat céljától függenek, azt azonban mindig reprezentatív helyen kell kitűzni. A forgalmas útkereszteződésekben a talajszinttől másfél méter magasságban vett minták reprezentatívak abban az esetben, ha az ott dolgozó

emberek terhelését kívánjuk felderíteni. Ugyanezek a mérések viszont egyáltalán nem reprezentatívak az illető városrész egészére vonatkozóan.

A háttérszennyeződés mérésére a nagy városoktól 100 km távolságban, forgalmas földi és légi útvonaltól nem érintett helyen kerülhet sor, ahol a környéken semminémű szennyező forrás nincs. Az ilyen mérő állomás követelményeit a Meteorológiai Világszervezet szigorúan meghatározza.

Valamely település alapterhelését mérő állomás sal szemben a következők a követelmények: helyi szennyező források közvetlen hatásától mentes, kéményektől és forgalomtól viszonylag távoli (néhány száz méterre felvett), jól átszellőző helyen, például a városi parkban legyen elhelyezve. Az ilyen állomás adatai a város egy nagyobb, kb. négyzetkilométeres területére jellemzők.

A mérőpontok kúelölhetők minden különösebb rendszer nélkül, de ez számos hibaforrást rejt magában, és hatékonysága rosszabb, mint a szisztematikus állomáshálózaté. Adott szennyező forrás hatását célszerűen koncentrikus körökben, égtájanként telepített állomásokkal mérhetjük fel. A mérőhelyek ideális esetben a szélrózsa és a körök metszéspontjaira kerülnek. Egy település, vagy terület felmérésére sokhelyütt alkalmazzák a négyzetháló-rendszert, amelyben a mérőpontok a négyzetháló metszéspontjaira kerülnek. Az egyes négyzetek oldalhossza a terület nagyságától és a laksűrűségtől függ: 2 km-től 10 km-ig változik. Az ilyen rendszerek kizárják a szubjektív telepítési szempontokat, egyenletes állomás-eloszlást adnak, és lehetővé teszik a pontos helymeghatározást, számítógépes térinformatika alkalmazását. Hátránya, hogy sok mérőeszközt igényel, és a gyakorlatban ritkán lehet a mérőállomást pontosan a kúelölt helyre telepíteni.

A szabad levegő szennyeződésének vizsgálata során általában két munkafázist különböztetünk meg: a mintavételt és az analízist. Ez a két fázis az air monitorok esetében nem különül el, a nyílt csatornás rendszereknél pedig nincs mintavétel.

6.10. A LEVEGŐSZENNYEZÉS ELLENI VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI

A környezetszennyezés kellő anyagi ráfordítás sal elvileg teljesen megszüntethető volna, viszont az országnak indokolatlanul nagy anyagi terheket jelentene. Az emissziók szabályozásának mértéke általában a környezet minőségére vonatkozó társadalmi igények, illetve az ország gazdasági lehetőségeinek kompromisszuma. Tekintettel a levegőtisztaság-védelem jelentős anyagi terheire, az emissziós normák az egyes időszakokban nem lehetnek függetlenek az össztársadalom érdekeitől.

Természetesen egészen más a helyzet a hanyagságból származó nagymértékű lörnyezetszennyezés esetében. A nagymértékű légszennyezettség csökkentésére több alternatív lehetőség ismert, ilyenek például az energiahordozók struktúrájának megváltoztatása, a tüzelőanyagok vagy a füstgázok kéntelenítése, porleválasztás, zárt technológiák alkalmazása, gáztisztítás, az üzemek áttelepítése, a gépkocsik emisszió-szabályozása.

Rendkívül fontos, hogy a tisztításra olcsó és hatékony megoldást találjunk, mivel a tisztítás mértékét nem gazdaságossági megfontolások, hanem környezetvédelmi előírások

Iatározzák meg, ugyanakkor a tisztítási hatásfok növelésével az eljárás költsége nem lineárisan, hanem exponenciálisan nő.

A tisztítási módszer kiválasztásakor nem elegendő csak azt vizsgálni, hogy a káros komponensek megfelelő mértékben eltávolíthatóak-e, hanem arról is döntení kell, hogy az elválasztott komponensekkel a továbbiakban mi történjék.

A tisztítási eljárás szerint a következő esetek lehetségesek:

A szennyező anyagokat ártalmatlan anyagokká alakítjuk - ez végleges megoldás (például szénhidrogének termikus vagy katalitikus égetéssel szén-dioxiddá vagy vízzé alakítása)

a szennyező anyagokat hasznosítható alakban nyerjük vissza (például fluor és hidrogén-fluorid visszanyerése kriolit formájában és visszavezetése a technológiai folyamatba)

a tisztítás során a szennyező komponensek csak dúsulnak, és a keletkező szennyvíz, szilárd hulladék, iszap, elhasznált adszorbens vagy mosófolyadék további elhelyezéséről gondoskodni kell (például dolomitos füstgáz kéntelenítésnél a CaSO_4 vagy MgSO_4 elhelyezése).

A tisztítás módja szerint száraz és nedves üzemű berendezéseket különböztetünk meg.

A **száraz tisztítóberendezések** a levegőben lévő szennyező anyagokat azok különböző fizikai tulajdonságai és fizikai módszerek alapján választják le. Ha a szennyező anyag értékes, a száraz leválasztás után minden további művelet nélkül újra hasznosítható. A száraz eljárás feltétele, hogy a levegőből gőzök ne kondenzálódjanak.

A **nedves eljárások** előnye, hogy gázok és porok együttesen is eltávolíthatóak, és a kezelendő gáz magas hőmérséklete sem korlátozó tényező. Hátrányuk a nagyobb energiaigény, korrózióveszély és a keletkező mosófolyadék további kezelésének szükségessége. Az alkalmazandó berendezések kiválasztásához a tisztítandó levegő mennyisége mellett a benne lévő szennyező anyagok fajtáit és koncentrációit, továbbá a kívánt tisztasági fokot kell ismerni. Adott esetben többlépcsős tisztító eljárásra lehet szükség (például durva porleválasztás utáni nedves gáztisztítás).

A szennyező anyagok levegőből történő leválasztási eljárásait összefoglalóan a 13. táblázatban mutatjuk be.

16. táblázat Szennyező anyagok leválasztási eljárásai levegőből
Szilárd szennyezők

Száraz leválasztás	Nedves leválasztás
tömegerőn alapuló leválasztás	leválasztó mozgó alkatrész nélkül
szűrőhatáson alapuló leválasztás	leválasztó mozgó alkatrésszel
elektrosztatikus leválasztás	nedves elektrosztatikus leválasztás
Gáz halmazállapotú szennyezők	
Szennyező anyag leválasztása	Szennyező anyag átalakítása
abszorpció	termikus égetés
adszorpció	katalitikus égetés
kondenzáció	katalitikus redukció
	véggázok biológiai tisztítása

Felhasznált irodalom:

Radnainé Dr. Gyöngyös Zsuzsanna: **Levegőtisztaság-védelem**, HEFOP jegyzet, 2008