

VÁROSI KÖRNYEZETVÉDELEM



Dr. Buzás Kálmán
Dr. Budai Péter
Horváth Adrienn

BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

2012



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
A városi környezet jellemzői, a város okozta környezeti problémák okai.....	4
Légszennyezés. Szennyezőanyagok forrása, csökkentésének lehetőségei. Légszennyezés által okozott környezeti problémák.	12
Szagproblémák.....	32
Burkolt felületek szennyezettsége.....	49
Talajszennyezés, talajtisztítás.....	64
A talajvíz szennyeződése a csatornázatlan települések alatt.....	91
Hulladékgazdálkodás a településeken.....	112
Zaj, rezgés, sugárzás.....	120



Bevezetés

A Városi környezetvédelem tárgy építőmérnök hallgatók számára nyújt szűkebb szakterületükhöz kapcsolódóan ismereteket a városi területek jellegzetes környezeti-közegészségügyi problémáiról és azok műszaki megoldásaira, elsősorban a vízhez, talajhoz, talajvízhez és a zajhoz kötődő területeken.

Tárgyalja a város szerepét a környezeti problémák kialakulásában, az okokat és következményeket, és a települési környezetvédelmi program jellemzőit.

A levegőszennyezés területén a közlekedés szerepét és a csatornahálózatok okozta bűzképződést részletezi és bemutatja a csapadék savasodásához vezető okokat, valamint ennek következményeit a belterületi felszíni lefolyás szennyeződésének alakulásában.

Tárgyalja a közterületek, elsősorban a közlekedési területek felszínének szennyeződési folyamatát, a szennyezőforrásokat, és a eltávolítás (köztisztaság) eltávolítódás (csapadék által okozott lemosás) folyamatát és következményeit a felszíni víz befogadóiban, valamint a talajvíz esetében.

Építőmérnöki megoldásokat ismertet a lefolyás okozta kedvezőtlen környezeti hatások csökkentésére, a felszíni lefolyási viszonyok módosításával, a csatornahálózati tározással elválasztott és egyesített rendszerű csatornahálózatok esetében. Kitér a csapadékvíz tisztítási lehetőségeire.

A csatornázatlan település szennyvizének környezetvédelmi szempontból megfelelő, egyedi elhelyezési megoldásait és a talajvíz minőségének alakulását tervezési feladat elkészítése keretében ismerik meg a hallgatók.

Tárgyalja a tipikus városi talajszennyezők, a szénhidrogének és nehézfémek okozta szennyezett állapot megszüntetésének (remediáció) és a szennyezés-terjedés megakadályozásának módszereit, a vonatkozó szabályozást.

A zaj, rezgés és sugárzás témaköréből a mérési, szabályozási és beavatkozási lehetőségeket foglalja össze. Utóbbiak esetében az építőmérnök lehetőségeire: a forgalomszervezéssel, zajvédő falakkal és az épületek szigetelésével elérhető csökkentésekre koncentrálnak.



1. A városi környezet jellemzői, a város okozta környezeti problémák okai

A város, mint nyílt rendszer

A modern település, elsősorban az iparosodott város olyan gazdasági, társadalmi és az ember által erősen módosított környezeti folyamatok helyszíne, amely folyamatok egyik következménye a sajátos városi környezet és környezeti problémák halmaza, tovább a város és környezete kapcsolatban jelentkező szennyező folyamatok. Könnyen belátható, hogy a városi belső folyamatok (települési metabolizmus) fenntartása lehetetlen a város és környezete kapcsolatában kialakított bemenő és kimenő áramok többé-kevésbé zavartalan fenntartása nélkül. A város sérülékeny rendszere teljes mértékben függ környezeti kapcsolataitól.

A települési metabolizmus mindazon (élet- és gazdasági tevékenységekhez kötődő) folyamatok összessége a településen, amelyekben a beérkező anyagok a felhasználás során közvetlenül vagy fizikai-kémiai átalakulás után részben tárolódnak, részben pedig termékként és (az élővilág anyagcsere végtermékének analógiájára) hulladékként távoznak. A folyamatokhoz bevitt energia kisebb részben mechanikai és kémiai energiatartalom formájában a visszatartott anyagokkal tárolódik, nagyobb részben azonban hulladék hőként a környezetbe kisugározva elvész.

Az ilyen rendszereket, amelyek rendszerfolyamatai a be- és kimenetek folyamatos működése nélkül nem maradnak fenn, nyílt rendszereknek nevezzük. Nyílt rendszerekre számos példa hozható a környezetből is: például egy egysejtű, vagy valamely térség ökoszisztémája.

Talán nem igényel bizonyítást, hogy napjaink települései teljes mértékben megfelelnek a nyitott rendszert jellemző kritériumnak, ha belegondolunk a mindennapi életet lehetővé tevő áruforgalomba és energiafogyasztásba: hogyan omlana össze a közlekedés, a gazdasági tevékenység, szűnne meg a vízellátás, ha nem jutnánk elektromos energiához, mihez kezdenénk fűtőanyag nélkül, vagy éppen mit okozna a víz hiánya. Gyorsan kialakuló káoszhoz vezetne az élelmiszerek városokba szállításának leállása is, és talán ahhoz sem szükséges élénk képzelőerő, hogy mi történne, ha egy városban csak egy-két hétre leállna a szemétszállítás.

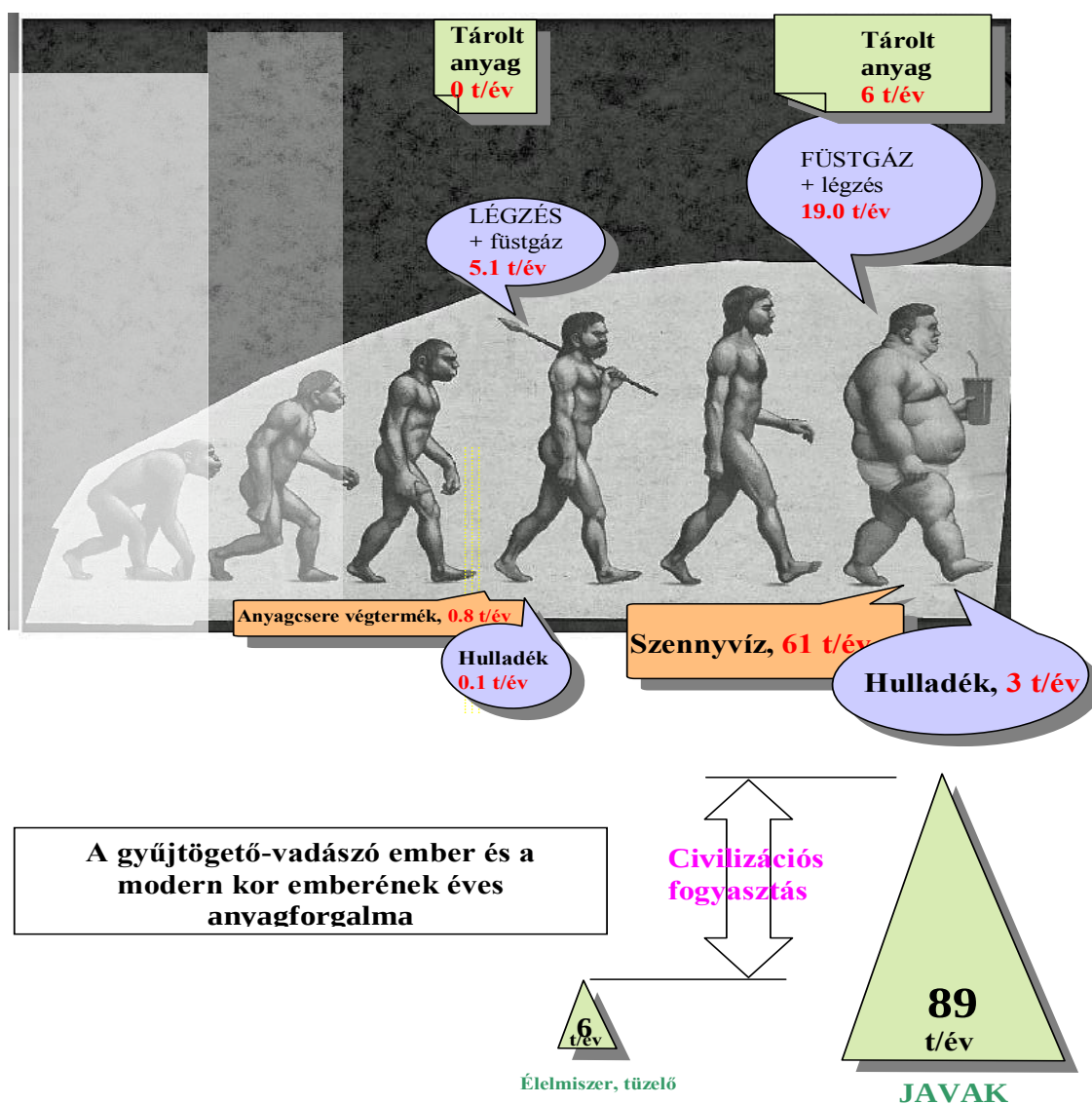
Az anyagáramok hajtóereje végső soron a településekben koncentrálódó lakosság igénye. Az urbanizálódott népesség megdöbbentő gyorsasággal és mértékben vonta be a természeti erőforrásokat saját használatába. Ezt a civilizációs fejlődést tekinthetjük korunk környezeti problémáinak meghatározó okának.

I. Környezeti problémáink alapvető kiváltója a mértéktelen civilizációs fogyasztás: a mennyiség okozta probléma

Az 1.1 ábrán az emberi faj fejlődésének lépéseit láthatjuk. Közöttük kitüntettünk két lépcsőt, a gyűjtögető-vadászó őst és a mai kor emberét. Az ábra e két, felnőtt korú ember életviteléhez kötődő éves anyagforgalmat mutatja. A két embert csupán néhány tízezer év választja el egymástól. Emberi léptékkal hosszú, az evolúció szempontjából azonban csaknem

elhanyagolható idő. Biológiai értelemben ez a két ember lényegében egyforma, ám az életvitelükhöz kapcsolódó, egyetlen egyedre vetített bemeneti anyagáramban több mint egy nagyságrend a különbség.

A gyűjtögető-vadászó barlanglakó, aki még belesimult környezete élővilágába, csak az élet és fajfenntartás érdekében fogyasztott a természetből. Az átlagosan évi hat tonnára becsülhető, egyetlen egyed által gerjesztett anyagáram meghatározó többségét az elfogyasztott élelem, tüzelőanyag és a felhasznált levegő alkotta. A víz mennyisége ebből becsülhetően 1-2 tonnát (m^3 -t) képviselt, a teljes anyagforgalom 15-30%-át. Következményeit tekintve nem közömbös, hogy ezt a vizet ő kereste fel a természetben.



Személyes fogyasztás vs. Fajlagos fogyasztás

1.1 ábra: A környezeti problémák eredete



Meglepő, hogy anyagforgalmának több mint 85%-a "légszennyezésként" jutott vissza a környezetbe, a kilélegzett levegő (nitrogén, széndioxid, vízpára), az emésztés során keletkező gázok és a melegedésre, ételkészítésre rakott tűz füstgázai formájában. Egyéb anyagcsere végtermékei mindössze 13%-ot képviseltek. A szilárd hulladék mennyisége, többségében bizonyára az elejtett állatok csontjai és némi hamu, szinte elhanyagolható. Az őseink hosszabb távra, egyik évről a másikra, nem tárolt javakat.

A fejlett világ átlagpolgárát azonban már nem csak a természeti erőforrások nagyságrenddel nagyobb igénybevétele jellemzi, hanem az anyagforgalom lényeges, mennyiségi és minőségi átrendeződése is. A növekmény valamennyi kibocsátásnál tetemes. Az energiatermelés, a fokozott fűtés, a gépjármű közlekedés, és az ipari termelés a fosszilis energiahordozók felhasználásának rohamos növekedésével járt. A fajlagos, fejenkénti légköri kibocsátás csaknem négyszeresére emelkedett. A szilárd hulladék fajlagos mennyisége (háztartási és ipari termelési eredetű hulladék) pedig mintegy harmincszorosára nőtt. A modern ember a közvetlen környezetében épület, bútorok és berendezések, gyárak, utak és közműves infrastruktúra formájában évente hatalmas anyagmennyiséget tárolva gyarapítja az antroposzférát. Mindezek a jelentős anyagforgalmi változások azonban szinte eltörpülnek a vízforgalomban bekövetkezett növekedéshez képest. A modern ember életviteléhez kötődő anyagforgalom tömegében a víz 60-70%-ot is képviselhet.

A fentiek alapján okkal állítható tehát, hogy a két egyed anyagforgalmának mennyiségi különbsége "civilizációs fogyasztás", ami nem elsődleges biológiai szükséglethez kötődik. A jelenséget úgy is fogalmazhatjuk, hogy jelentősen megnőtt az egyébként véges természeti erőforrások fajlagos ki(él)használása.

II. Az anyagáramok összetételének módosulása: a minőségi probléma

Már a mértéktelen erőforrás kihasználás sem kedvező környezeti szempontból, azonban ezt a helyzetet csak súlyosbítja az anyagáramok, elsősorban a kimeneti anyagáramok összetételének megváltozása.

A légköri emisszió nem csupán háromszorosára növekedett. A tűzifa füstje, a kilélegzett széndioxid, vízpára mellett a növekmény az ipari és közlekedési célú energiatermelés füstgázait, az ipari oldószerek és az üzemanyagok gőzeit, a hulladékegetőkben keletkező mérgező komponenseket is tartalmazza.

A bioszféra számára fogadható emberi anyagcsere végtermék mellett megjelent az ipari szennyvíz számos mérgező vegyületet és toxikus elemet tartalmazva, valamint a háztartási vegyszerek, gyógyszerek maradéka, sőt már a településről lefolyó csapadékvíz is szennyezett. A barlanglakó szilárd hulladéka, a hamu, az állati csontok és a szerszámkészítésből kihulló kő egyaránt környezetbarátnak tekinthető, ellentétben a számos anyagot, vegyületet tartalmazó települési és ipari hulladékkal. Mindez jelentősen súlyosbítja az anyagforgalom fajlagos mennyiségi növekedésének környezeti hatásait.

III. A népességnövekedés, ami az előző fajlagos kibocsátások abszolút értékeinek növekedését is okozza

Már 1999 nyarán, valószínűleg valahol a fejlődőnek, vagy harmadiknak nevezett világ egyik országában megszületett a 6 milliárdodik ember, 2011-ben pedig a 7 milliárdodik. A szám nagyságánál megdöbbentőbb a tendencia: 1950-ben 2.5 milliárd és még 1970-ben is csak 3.7 milliárd lakos élt a Földön. Az előrejelzések szerint a népességszám 2025-re eléri a 8.5 milliárdot.



Az okok ismertek, a keletkező problémák megoldási lehetőségei vitatottak. Magyarország lakossága ezzel szemben, hasonlóan számos (nyugat) európai országéhoz, a 80-as években elért 10.8 milliót követően elkezdett fogyni. A KSH legfrissebb adatai alapján 2011-ben közel nyolcszáz ezerrel kevesebben (9,98 millió) éltek Magyarországon, mint a nyolcvanas években. A folyamat (alacsony termékenységgel párosuló magas halálozási arány) kiváltó okai és megállításának lehetőségei vitatottak. A népesség hatalmas mértékű növekedése kedvezőtlen hatások erősödését okozza. A valószínűleg néhány millió ősemberrel szemben áll napjaink több mint 7 milliárdos népessége. A tárgyalt problémák szempontjából bizonyos értelemben szerencse, hogy ennek a hatalmas népességnek csak kisebbik, de azért néhány-százmillióra tehető hányadát jellemzi a bemutatott mértékben megnövekedett civilizációs fogyasztás.

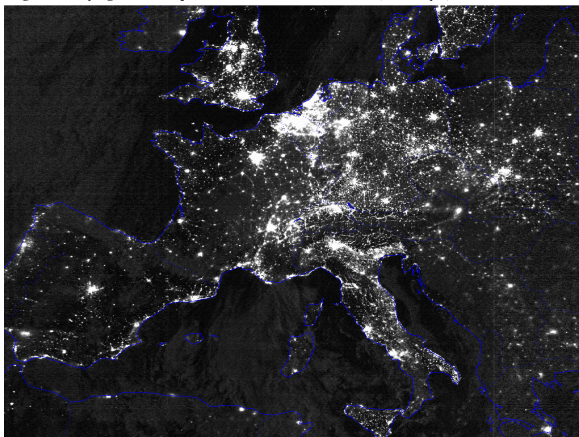
IV. Az urbanizáció, ami az előző hatásokat a környezetben irreverzibilis és kedvezőtlen állapotváltozásra kényszeríti

A fejlődő világ, ahol a teljes népességnek csaknem 80%-a él, robbanásszerű és megállíthatatlannak tűnő urbanizációs folyamaton megy át. Sao Paulo, Kalkutta, Mexico város és Kairó csak kiragadott példái azoknak az óriás városoknak, ahol néhány ezer négyzetkilométeren már ma is Magyarország lakos-számát meghaladó számú ember él. A folyamat kiváltó okai ismertek, megszüntetésének lehetőségei egyelőre nem látszanak.

Magyarországon az urbanizáció szelídebb folyamata prognosztizálható. Tovább nő a különbség az ország urbanizált, magasabb népsűrűségű és az alacsonyabb népsűrűségű, mezőgazdasági vidékei között. Várhatóan a népesség egyre nagyobb hányada fog az urbanizált térségekben és azok vonzáskörzetében lakni, és egyre csökken a vidéki körzetek népességaránya, népsűrűsége. 1990-ben az ország lakosságának 53%-a élt a 20 legnagyobb urbanizált vonzáskörzetben, 2010-re ez várhatóan eléri a 60%-ot.

A fejlődő világban a népesség gyors ütemű koncentrálódása egyelőre megoldhatatlan feladatok elé állítja a városi önkormányzatokat, többek között az infrastruktúra, ezen belül a vízi infrastruktúra fejlesztése területén. A nem elegendő mennyiségű és nem megfelelő minőségű víz, a keletkező szennyvizek hiányzó vagy csak részleges elvezetése betegségek és járványok megjelenésével jár. A koncentrálódott népesség és ipari termelés a környezet elimináló képességét messze meghaladó mennyiségű és összetételű szennyeződést bocsát ki, kiterjesztve ezzel a környezet tönkretételét a városi területekről azok szűkebb-tágabb térségére is. A városi környezetvédelem problémái a maguk teljességében ezekben a megapoliszokban bontakoznak ki. Ám Európában is növekszik az antroposzféra, kiterjedt agglomerációkat alkotva (1.2. ábra)

Figure 1. City lights of Europe observed with the DMSP-OLS, January 6, 1995.



1.2. ábra: Európa éjszakai műhold felvételén jól kirajzolódnak a terjeszkedő városiasodott területek, közöttük a legsűrűbben lakott Amszterdam – Rotterdam – Utrecht háromszög Hollandiában.



Hő- és vízháztartás

A nagyváros mesterséges környezete jelentős változást okoz a terület hő- és vízháztartásában. Különösen a sűrűn beépített városrészekben sajátos és kellemetlen mikroklíma alakul ki, amelyet a levegő szennyezettsége mellett nyáron a hőszigetek kialakulása jellemez. Módosul, kiegyenlítettebbé válik a napi és az éves hőmérsékleti viszonyok alakulása, ami a felszínt borító anyagok hőelnyelő képességének következménye. A nagy hőmérséklet különbségek heves helyi szelek kialakulásához vezetnek, ami például felhőkarcolók környezetében akár viharos erejű is lehet.

Átszellőzés

Egy város levegőminőségének kialakulásában nagy szerepe van a város átszellőzésének is. Javításához hozzájárul a város átgondolt fejlesztése, rekonstrukciója. Az átszellőzés mértékét és éves gyakoriságát a regionális léptékű szélviszonyok, a hegyek, dombok, a beépítettség foka és típusa, az utak iránya és szélessége határozza meg. A ventiláció intenzitás a keveredési réteg vastagságának és a szélesebességnek a szorzatával arányos.

A város átszellőzésében fontos szerepe van az ún. friss levegőt hozó szellőnek. Ez olyan termikusan indukált helyi szélrendszer, amit a város és környéke energiaháztartásbeli eltérése által keltett nyomásgradiens hoz létre. Fontossága abban rejlik, hogy egyébként szélcsendes időben is biztosítja a város feletti levegő cseréjét. Becslések szerint függőleges kiterjedése néhányszor tíz méter, évi gyakorisága pedig 10 - 20%. Pozitív hatásának létrejöttéhez szükséges, hogy legyenek ventilációs folyosók, és hogy a friss levegő keletkezési területén az emisszió sűrűség kismértékű legyen. A ventilációs csatornák lehetnek zöld folyosók, városi parkok, folyómedrek, utak, vasúti pályák, stb.

A hegyek szerepe megnyilvánul az ún. hegy-völgyi szél létrejöttében is. A hegy-völgyi szelek napszakos szélrendszert alkotnak. A lejtő és a völgyek tengelye mentén felfelé fúj nappal (völgyi szél) és lefelé fúj éjjel (hegyi szél). Nyugodt, derült időjárásban alakul ki. A völgyi szelet az a hőmérsékletkülönbség hozza létre, amely a lejtő mentén felmelegedett levegő és az ugyanazon magasságban lévő szabadlégköri levegő között keletkezik. Legjelentősebb déli lejtőkön nagy besugárzás esetén. A hegyi szelet a talaj éjszakai lehülése hozza létre, erőssége kisebb, mint a völgyi szélé.

A város topográfiájának áramlásmódosító hatása van. Beépített területen a szélesebesség függ a szélirány, valamint az utcák és épületek irányítottsága közötti kapcsolattól. Ha a városi blokkokban az épületek hosszú sorai merőlegesen a szélirányra, akkor az épületek között szélárnyékolt zónák alakulnak ki. Itt a szélesebesség a tetőszint feletti szélesebességnek csak töredéke. Ha az épületblokkok a széliránnyal párhuzamosak, akkor a szél az épületek közti hézagokon és az utcák mentén fúj, a szélesebességet csak az épületekkel történő súrlódás miatti kisebb sebességsökkenő hatás csökkenti.

A magas épületek hatása kétféle lehet. Ha a magas épületek sora a város szélfelőli végén helyezkedik el, akkor blokkolja a szelet. Ellenben, ha azok a város különböző pontjain vannak szétszórva, akkor jelentősen növelhetik a légáramlást. A magas házak körüli áramlási viszonyok következtében a szélesebesség akár ötszörösére is nőhet.

Az utcák szélessége bizonyos esetekben jobban, máskor kevésbé befolyásolja az átszellőzést. Ha az utcák merőlegesen a szélirányra, és a házak hosszú épületsorokat alkotnak, akkor a fő légáramlás az épületek felett történik. Az utcákban keletkező légáramlás másodlagos légáramlás, amely a város felett fújó szél házakkal való súrlódása következtében jön létre. Ilyenkor az utcák szélessége kevésbé befolyásolja az átszellőzést. Ha azonban az utcák ferdeszöget zárnak be az uralkodó széliránnyal, akkor a szél egy része az utca szélfelőli



oldalán az utca irányában áramlik, másik része az utca szélárnyékos oldalán alacsonyabb légnyomást okoz. Tehát a házak szélfelőli fala a nyomás, a szélárnyékos fala a szívás zónájában van, azaz jók a házak természetes átszellőzési viszonyai. Ilyenkor az utcák kiszélesítése megjavítja az utcák és a házak átszellőzési viszonyait.

Vízháztartás

A burkolt felületek nagy aránya a vízháztartási mérleg torzulásához vezet. Jelentősen emelkedik a felszíni lefolyás aránya a beszivárgás és a párolgás rovására. Ez a városi növényzet számára hozzáférhető talajvíz csökkenését és az elvezető rendszerek túlterhelését eredményezi. A lefolyásnak ugyanis nem csak a tömege, de a sebessége és ezzel a csúcs vízhozama is emelkedik. A következmény egyrészt műszaki-gazdasági jellegű, a korábban épített csapadécsatornák túlterheltté válhatnak, növekszik a kiöntések gyakorisága, ami különösen az egyesített rendszerű csatornázásnál kedvezőtlen, ahol nem csak gazdasági károk, de a kiöntés szennyvíztartalma miatt közegészségügyi veszélyeztetés is fellép. A modern várostervezés a zöld és vízáteresztő felületek arányának növelésére törekszik: zöld tetők, fűbeton burkolatú parkoló területek, parkok. Az építőmérnök is javíthat a vízháztartási viszonyokon, például beszivárogtató csatornák és tározók létesítésével. A lefolyó csúcs hozamokat pedig hatékonyan lehet csökkenteni az ideiglenes felszíni elöntések okos kialakításával és a csatornahálózati tározók létesítésével.

Összefoglalóan: a városokban jelentkező környezeti problémák általános okai a szennyezőanyagok emissziója, a környezet átalakítása és a környezeti erőforrások túlhatalomlata.

Fenntartható fejlődés és ökológiai lábnyom

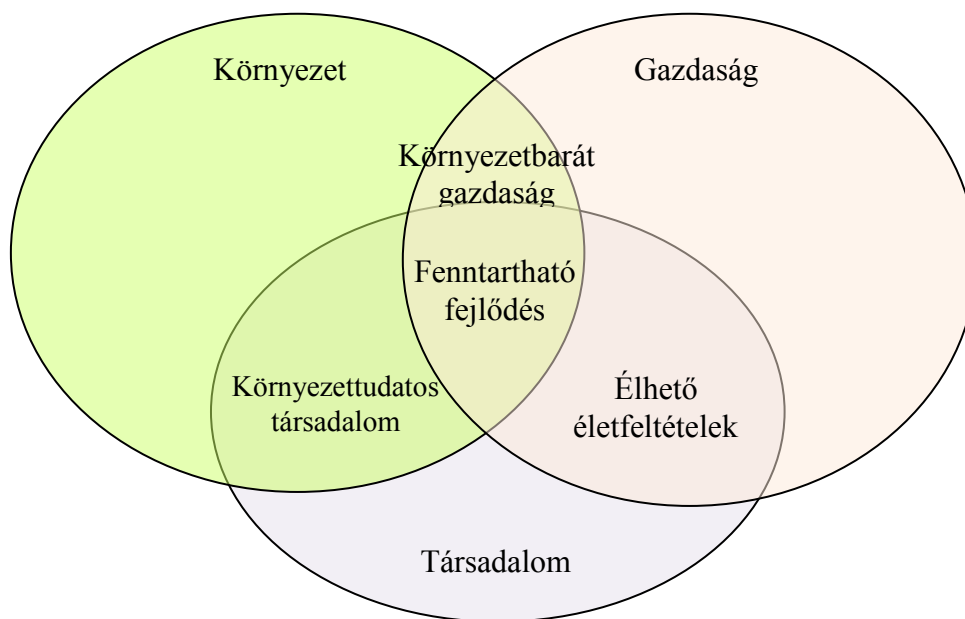
Az ökológiai lábnyom kifejezés kanadai ökológusoktól származik. Azt fejezi ki, hogy egy technológiának, társadalomnak, országnak, vagy éppen egy városnak mekkora területre van szüksége a benne zajló rendszer folyamatok fenntartásához és a keletkező hulladékok olyan elhelyezéséhez, ami nem vezet a környezet állapotának irreverzibilis (visszafordíthatatlan) romlásához. Az ökológiai lábnyom kifejezhető területi (például km^2 , ha), vagy fajlagos területi, például egy lakosra vetített (ha/fő), illetve technológia esetén az egységnyi termékre vetített (ha/tonna) értékkel. 2007-es adatok alapján az Egyesült Arab Emírátsok ökológiai lábnyoma 10,68 ha/fő , az Egyesült Államoké 8,00 ha/fő , Magyarorszáké pedig 2,99 ha/fő . A Földön az átlagos ökológiai lábnyom 2,7 ha/fő , viszont ez egy főre jutó terület mindössze 1,8 ha, ami azt mutatja, hogy a szükségletek kielégítésére és a hulladékok elhelyezéséhez nagyobb területre van szükség, mint ami rendelkezésre áll. Ez alapján a Föld ökológiai hiánya -0,9 ha/fő . Az Amerikai Egyesült Államokban ez az érték -4,13, Magyarországon -0,76, azonban például Finnországban, Kanadában és Ausztráliában pozitív értékű. Utóbbi azt jelenti, hogy ezen országok területe nagyobb, mint az ökológiai lábnyomuk.

Az ökológiai lábnyom számszerűsíti, és kimutatja, hogy az egyes területek, országok mekkora mértékben használják a feltárt természeti erőforrásokat. A fenntartható fejlődés egyrészt a Föld bármely pontján élő emberek egyenlő jogát jelenti a természeti erőforrások használatához, az egészséges környezethez. Másrészt kimondja a generációk egyenlőségét. Eszerint a fenntartható fejlődés egy olyan folyamat kell, hogy legyen, ami úgy elégíti ki a jelen szükségleteket, hogy a jövő generációk szükségleteinek kielégítését nem veszélyezteti.



A fenntartható fejlődés (1.3. ábra) valójában egy idea, egy olyan cél, amit az emberiség valószínűleg soha sem fog elérni: azt tudniillik, hogy egy időben legyen harmóniában a környezetvédelem, a gazdaság és a társadalom. A nehézséget mutatja, amire a kilencvenes években elején, holland kutatók által kidolgozott modell eredménye. A modellben a gazdaságot alárendelték a környezetvédelemnek, másképpen fogalmazva a gazdaság környezetbarát módon működik. Arra a következtetésre jutottak, hogy amennyiben a környező országok nem térnek át ugyan erre a rendszerre, a holland gazdaság 1-2 éven belül tönkremegy. Tehát csak akkor megvalósítható a fenntartható fejlődés, ha mindenhol érvényesítik. Tehát a fenntartható fejlődés globális fogalom. Mérnöki szempontból csak kevésbé operatív, azaz a mindennapi mérnöki tevékenységben közvetlenül nem tudjuk alkalmazni.

Az építőmérnöki tevékenységben a környezetvédelmi szabályozásokkal lehet ezt az elvet a gyakorlatba átültetni, illetve a tervező egyéni hozzáállásán és belátásán is múlik, hogy a műszakilag egyenértékű megoldások közül a környezetkímélőbb, a környezettel nagyobb összhangban lévő változatot válassza vagy javasolja megvalósításra.



Az ábrán az egyes szférákat jelző körök közös területei (metszetei) jelképezik a két szféra közötti harmónia meglétét. Mint látható a fenntartható fejlődés megvalósulása mindegyik szférának a másik kettővel való harmóniájára utal.

1.3. ábra: A fenntartható fejlődés vázlata

Irodalom

<http://www.nepszamlalas.hu/>

Buzás, K.: Sustainable Development, Delft University of Technology, 1992, research paper

Enyedi et. Al.: Magyarország település-környezete, MTA, 2000



- Kovács, M.: A nagyvárosok környezete, Budapest, 1985, Gondolat
- Moser Miklós - Pálmai György: A környezetvédelem alapjai, Tankönyvkiadó, Budapest 1992.
- Reichholf, J.: A települések ökológiája (ford.:Schmidt E.), Magyar Könyvklub, 1999
- Somlyódy et. Al., A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései, MTA, 2002
- Dr. Szepesi Dezső és Dr. Titkos Ervin, A főváros átszellőzési viszonyai, Levegőkörnyezeti kézikönyv, Levegőkörnyezet-gazdálkodási Szaktanácsadó Bt., 1996



2. Légszennyezés. Szennyezőanyagok forrása, csökkentésének lehetőségei. Légszennyezés által okozott környezeti problémák.

A Föld kialakulásával egy időben, alakult ki az őslégkör, mely elsősorban hidrogént és héliumot tartalmazott. A csekély gravitáció miatt azonban ezek a gázok elszöktek, és a Föld egy időre légkör nélkül maradt. Majd a vulkánkitörések és meteoritzáporok révén kialakult a második őslégkör, melyet főként vízgőz, szén-dioxid, nitrogén és kén alkotta. A földfelszín fokozatos lehűlésével a légkörben lévő vízgőz kicsapódott, ezáltal létrehozva a tengereket és óceánokat. Ennek köszönhetően kb. 3,5-4 milliárd évvel ezelőtt megjelent az élővilág a Földön. Az algák fotoszintézise révén a vízből és a CO₂-ból szabad oxigén állítottak elő, mely kezdetben a tengerek és a szárazföld redukált állapotú elemeinek oxidációjára fordítódott. Ezeknek a folyamatoknak a lejátszódása után a felesleges oxigén a légkörbe került, lehetővé téve az ózonréteg és a szárazföldi élet kialakulását.

A légkör oxigéntartalma kb. 1-1,5 milliárd éve a mai szinten stabilizálódott. A jelenlegi légkör összetétele:

2.1. táblázat: Légkör összetétele

Alkotó	Arány [%]	
Nitrogén (N ₂)	78	Állandó alkotók
Oxigén (O ₂)	21	
Argon (Ar)	0,9	
Szén-dioxid (CO ₂)	0,1	Változó alkotók
Metán (CH ₄)		
Hidrogén (H ₂)		
Kén-dioxid (SO ₂)		Erősen változó alkotók
Nitrogén oxidok (NO _x)		
Ammónia (NH ₃)		

Az ókorban és középkorban a légszennyezés forrását az utcákra kidobott hulladék és fekália jelentette, ami miatt a középkori városok nagyon bűdösek voltak. Azonban az ipari forradalom beköszöntével és az egyre gyorsabb technikai fejlődéssel a légkörbe kibocsátott gáz és szilárd szennyező anyagok mennyisége megnőtt és összetétele megváltozott.

A következő 7 fő területről jutnak szennyezőanyagok a légkörbe:

- Mező, erdő és vízgazdálkodás
- Ipar
- Hőközpontok – gázok, égéstermékek
- Erőművek
- Közlekedés
- Szolgáltatás
- Lakosság

Ezen kibocsátások közül a legnagyobb környezetterhelést a közlekedés és az ipar által kibocsátott szennyezőanyagok okozzák.



A levegő állapotát meghatározó tényező a légszennyező anyagok kibocsátása (emisszió) és azok terjedése (transzmisszió). Ezek következtében áll elő a légkör valamely pontján mérhető szennyezőanyag koncentráció, az immissziós érték, ami a minősítés alapja. Az emissziós források három típusa különböztethető meg: pontforrás, vonalmenti és diffúz. A típus hatással van a transzmissziós folyamatra, így a levegő minőségére. Más szennyezettségi értéket tapasztalhatunk például ugyanazon kibocsátási és mintavételi pont esetén a pontforrás és a diffúz forrás esetén. Pontforrás például egy ipartelepi kémény, de a nagyszámú lakóépületek kéményei diffúz szennyező forrásként vehetők figyelembe. Levegőminőségi szempontból nagy jelentősége van és ezért külön is figyelembe kell vennünk a forrás magasságát. A pontforrások kibocsátása jobban ellenőrizhető, és határértékekkel szabályozható, mint a vonalmenti (például autópálya) és területileg megoszló emissziók.

Szennyezőanyagok

A kibocsátott szennyezőanyagokat az emisszió eredete szerint csoportosíthatjuk. Ezek alapján beszélhetünk antropogén, valamint természetes (biológiai) eredetű kibocsátásokról.

Az antropogén eredetű szennyezőanyagokat további két csoportra bonthatjuk, az elsődleges és a másodlagos szennyezőanyagokra. Az elsődleges szennyezőanyagokat közvetlenül a kibocsátótól jutnak a légkörbe, míg a másodlagos szennyezőanyagok az elsődlegesek emissziói hatására, közvetett, fotokémiai és egyéb átalakulási folyamatok révén jönnek létre.

Elsődleges szennyezőanyagok:

- CO, CO₂,
- NO_x, (NO, NO₂)
- SO₂
- Szerves illékony (illékony szénhidrogének)
- Nehézfémek: Hg, Cd, Cu, Zn
- Por, korom
- Azbeszt

Másodlagos szennyezőanyagok:

- Ózon
- Peroxi-acetilnitrát
- Aldehyde – formaldehid, acetaldehid

Biológiai/természetes eredetű szennyezőanyagok:

- Pollenek
- N₂O (dinitrogén-oxid)
- NH₃ (ammónia)
- CH₄ (metán)
- Atka ürülék
- Radon (belső terekben)



Elsődleges szennyezőanyagok

CO (szén-monoxid) kibocsátás

A CO egy színtelen, szagtalan, a levegőnél könnyebb gáz. Szén és széntartalmú anyagok tökéletlen égése, az izzó szén és CO₂ reakciója ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$) vagy a CO₂ disszociációja ($\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \text{O}$) során keletkezik. A keletkezés folyamata lehet természetes vagy antropogén eredetű. Viszont míg a természetes forrásból származó CO keletkezésének és távozásának sebessége közel azonos, addig az emberi társadalom jóval nagyobb mennyiségben juttat CO-t a légkörbe, mint ami a természetes folyamatok által távozni tud.

A természetes eredetű CO származhat a talajokból, az óceánokból és a szárazföldi növényekből. A talaj a típusától, az éghajlattól és az évszak függvényében nyelőként vagy forrásként is viselkedhet. A növényzet szintén viselkedhet forrásként és nyelőként is, de vizsgálatok azt mutatták, hogy inkább, mint természetes forrást kell figyelembe venni őket. Az óceánok felső rétegei túltelített állapotba kerülhetnek, így a felesleg a légkörbe kerülnek, melynek maximuma a déli órákra tehető. A természetes CO kibocsátás másodlagos forrása a metán oxidációja (Mészáros, 2006).

Az antropogén eredetű CO kibocsátás a teljes emisszió kb. felét teszi, mely a különböző fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származik. A legjelentősebb forrás a belső égésű motorok, tehát a közlekedés, melynek az antropogén eredetű CO kibocsátás nagyjából 80% tulajdonítható. Az ipari tevékenységek (kőolaj, vaskohászat, hulladékégetés) és a mezőgazdasági célú erdő- és tarlóégetések is jelentős mennyiségű szén-monoxidot juttatnak a légkörbe (Mészáros, 2006).

Szív és érrendszeri panaszokat, légzési megbetegedéseket, rosszullétet, fejfájást, végső fokon fulladást okoz, mivel jobban kötődik a vér hemoglobinjához, mint az oxigén, ezáltal akadályozza a szervezet oxigénfelvételét és ellátását. Veszélyességét fokozza, hogy szagtalan. Legenyhébb tünetet Limuzin-betegségnek nevezik, a látószervek zavarai, a tájékozódás és ítélőképesség csökkenésében jelentkezik, elalváshoz vezet. Nagyvárosok közlekedési csomópontjaiban a szén-monoxid a károsító szintet általában eléri, ami az öntudat tompulásában és a reakcióképesség csökkenésében nyilvánul meg.

A CO kibocsátás csökkentésének egyik módja az égés tökéletesítése. A tüzelőberendezések esetében ez a tüzelőanyag szemcseméretének, szerkezetének, levegővel való elegyítésének és a tartózkodási idő szabályozásával valósítható meg. A gépjárművek kibocsátásának csökkentése nehéz, mert tökéletes égést nem lehet létrehozni a motorokban és a kipufogógáz lehűtésére sincs lehetőség. A CO csökkentése megvalósítható a füstgáz útjában elhelyezett katalizátorral is.



Végül néhány kibocsátási határérték:

2.2 táblázat: Különböző tüzelőanyagokkal üzemeltett tüzelőberendezések füstgázaiban megengedett kibocsátási koncentrációk

Különböző tüzelőanyagokkal üzemeltett tüzelőberendezések füstgázaiban megengedett kibocsátási koncentrációk [mg/Nm ³] 140 kW-50 MW névleges bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezéseknél 23/2001 KöM			
Tüzelőanyag típusa	Szilárd	Folyékony	Gáz
Szén-monoxid	250	175	100

CO₂ (szén-dioxid) kibocsátás

Szintelen, kis koncentrációban szagtalan, a levegőnél nehezebb gáz. Forrás a szén és széntartalmú anyagok égése, élőlények légzése: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$. Legnagyobb nyelő pedig a fotoszintézis, melynek során az élőlények a nap energiájának segítségével szervesetlen anyagból szerveset állítanak elő: $xCO_2 + yH_2O \rightarrow C_x(H_2O)_y + xO_2$.

Évezredek során gyakorlatilag ugyan annyi CO₂ került a légkörbe, mint ami távozott, a koncentrációja kb. 290 ppm volt. Azonban a múlt évszázad során az emberi tevékenység hatására a légköri koncentrációja emelkedni kezdett, és jelenleg kb. 390 ppm.

A szén-monoxid légköri koncentrációjának növekedése pozitív sugárzási kényszert okoz, tehát a globális melegedéshez járul hozzá. A 2011-es IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) jelentés alapján 1750 és 2000 között a CO₂ növekedés által okozott sugárzásnövekedés volt a legnagyobb mértékű.

NO_x (nitrogén oxidok) kibocsátása

A nitrogén-monoxidot (NO), a nitrogén-dioxidot (NO₂) és a dinitrogén-oxidot (N₂O) együtt szokták nitrogén oxidoknak hívni.

A nitrogén-monoxid szintelen, szagtalan, vízben rosszul oldódó, toxikus gáz. A légkörbe jutva a levegő oxigénjével NO₂-dá alakul ($2NO + O_2 = 2NO_2$). A nitrogén-dioxid vöröses-barna, szúrós szagú, vízben jól oldódó, erősen toxikus gáz.

A dinitrogén-oxid (N₂O), szintelen, édeskés illatú és ízű, nem toxikus gáz. A hétköznapi nyelvben kékjáznak vagy nevetőgáznak is hívják, mert belélegezve elbódít. Belső égésű motorok üzemanyagához keverve növeli annak teljesítményét.

A források 80%-a természetes eredetű, mely a biotermészeti bomlásból, a talajban lévő élő szervezetek bomlásakor, valamint a villámlás során az elektromos kisülésnek köszönhetően a légkör nitrogén és oxigén molekulája egyesül. A maradék 20% pedig antropogén eredetű. A fosszilis tüzelőanyagok égetése során, a belső égésű motorok kipufogó gázaival, illetve közvetetten a talajból a mezőgazdaságban alkalmazott N tartalmú trágyák túlzott mértékű alkalmazásával kerül a légkörbe. A dinitrogén-oxid emelkedő légköri koncentrációjában szerepet játszik még a salétromsav gyártás és a műanyagipar is.

A nitrogén oxidok légkörbe bocsátott mennyiségének csökkentésére szükség van, mert a NO₂-ot belélegezve az a levegővel akadálytalanul bejut a tüdőhólyagokba, hosszabb idő elteltével hörgőgyulladást, bronchitist okoz, mert a légúti nyálkahártyákban salétromsav keletkezik. A levegőben fellépő koncentrációk a légzőszervek funkcióinak romlását, fertőző légúti



megbetegedésekkel szembeni fokozott érzékenységet, és enyhe lefolyású, de krónikus légúti megbetegedéseket okozhatnak. A szagküszöb 0,12 ppm, 10 ppm a szagérzékelés romlását, 400 ppm pedig azonnali halált okoz.

A N_2O jelentős üvegházgáz, 6%-ra tehető a részesedése a globális felmelegedést okozó gázok között.

A nitrogén oxidok kibocsátása a füstgáz tisztításával, a mezőgazdaságban alkalmazott N tartalmú trágyáknak a szükségesnél nagyobb mértékű használatának elkerülésével lehetséges.

SO_2 (kén-dioxid) kibocsátás

Színtelen, irritáló szagú, vízben jól oldódó gáz. Konzerviparban tartósításra, papír- és textiliparban fertőtlenítésre használják. Természetes háttér-koncentrációja 1 ppb.

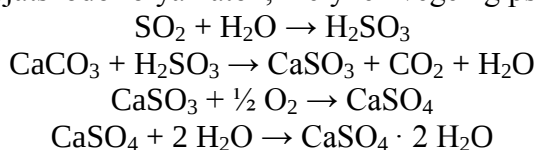
A kén-trioxid a kéntartalmú vegyületek elégetésekor a füstgázban található meg. Rendkívül reakcióképes, a légkörben lévő vízmolekulákkal kénsavat alkot.

Kéntartalmú anyagok égetése és elemi kén égése során keletkezik. A SO_2 természetes forrásai, mely az emissziók 30-40%-át teszik ki, elsősorban a vulkáni tevékenységek és a biológiai folyamatok során a légkörbe jutó kéntartalmú vegyületek (pl. H_2S) SO_2 -dá történő oxidációja. Az antropogén eredetű kibocsátások között a fosszilis tüzelőanyagok égetése és a színesfém kohászat játszik nagy szerepet. A színesfémek általában szulfidos ércként (CuFeS_2 , PbS , ZnS) fordulnak elő a természetben. A kohósításhoz azonban először valamilyen technológiával ki kell nyerni a színesfémeket az ércből, melynek során SO_2 jut a légkörbe.

A légkörbe jutó SO_2 mennyiségének csökkentését vagy a tüzelőanyag kéntartalmának csökkentésével, vagy a füstgáz tisztításával valósítható meg.

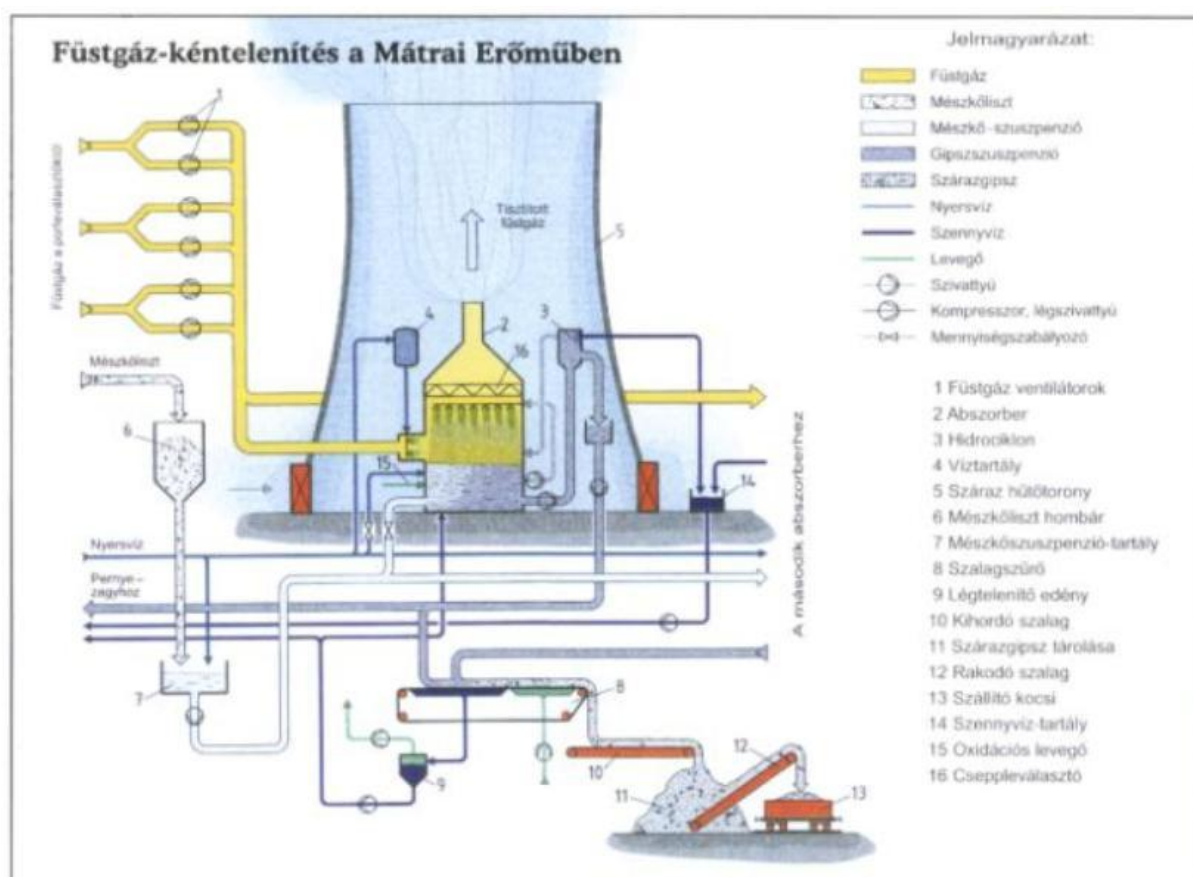
- Az erőművekben a nagy kéntartalmú tüzelőanyagok felváltása kisebb kéntartalmúakkal. Például a széntüzelésű erőművek átállása olaj vagy gáztüzelésre.
- A SO_2 füstgázból történő eltávolítása költséges, az eljárást tekintve lehet nedves, félszáraz és száraz technológiájú. Az eltávolításhoz lúgos közeget kell alkalmazni a SO_2 és SO_3 savas karaktere miatt. Erre az egyik legrégebben használt módszer a mésszel lúgosított vízzel történő tisztítás, a másik módszer a bázikus nátrium vegyületekkel történő vizes tisztítás.

Az meszes eljárás során lejátszódó folyamatok, melynek végén gipsz keletkezik.



A kéntelenítés hatásfoka 90-95%, viszont az eljárás hátránya, hogy a reakciók során a füstgáz lehűl, amit újra fel kell melegíteni ahhoz, hogy elkerülhető legyen a kénybeli kondenzációja.

Hazai példaként említhetjük a Mátrai Erőműben 2000 októberében, hazánkban elsőként, üzembe helyezett mosótornyot (2.1 ábra), melybe vizes mészköszuszpenziót permeteznek a füstgáz kén-dioxid tartalmának csökkentésére. Az eljárás melléktermékeként keletkező gipszet pedig a hazai építőanyag ipar hasznosítja.



2.1 ábra: A Mátrai Erőmű füstgázának kéntelenítő mosótornya

A kén-dioxid emissziójának csökkentését több tényező is indokolja.

- Nagyobb koncentrációban a szem és a felső légutak, kisebb mennyiségben az alsó légutak nyálkahártyáját izgatja, így a védekező képesség csökkenésével gyulladásos betegségek kialakulását okozhatja. Zavarja a fehérje anyagcserét, izgatja az idegvégződéseket. Akut mérgezés esetén a halálos kimenetel ritka. 1 évig 0,07 ppm SO_2 -nak kitett gyermekeknél krónikus légúti betegségek súlyosbodása lép fel, 8 ppm torokirritációt, 20 ppm köhögést és szemirritációt, míg 400 ppm tüdőödémát okoz.
- Mivel a légkörbe jutó kén-dioxid katalitikus úton kénsavvá alakul, illetve a kén-trioxid a levegőben lévő vízmolekulákkal szintén kénsavat hoz létre a savas eső kialakulásában jelentős szerepe van. A savas eső kialakulásának csökkentése miatt is lényeges a SO_2 emissziójának csökkentése.

Szénhidrogének (C_xH_y) kibocsátása

A szénhidrogének, ahogy a nevük is jelzi, szénből és hidrogénből álló vegyületek. Csoportosításuk történhet a szerkezetük (alifás, aromás) alapján vagy a szénatomok közötti kötések (telített vagy telítetlen) alapján. A többszörös, vagyis telítetlen kötésekkel rendelkező szénhidrogének kémiaiailag sokkal aktívabbak az atmoszférában, mivel számos fotokémiai reakcióban részt vesznek.

A policiklikus aromás szénhidrogének (PAH-ok), több benzol gyűrűből álló vegyületek, melyek között több is karcinogén, mutagén és teratogén hatással rendelkezik.



Az egyik legnagyobb mennyiségben előforduló, természetes eredetű, C_xH_y a metán (CH_4), mely szerves vegyületek anaerob bomlása során keletkezik. Koncentrációja 1,0-1,5 ppm, míg a többi szénhidrogéné kevesebb, mint 0,1 ppm. A metán kivételével, melynek becsült élettartama hét év, a szénhidrogének csak néhány napig maradnak a levegőben. Természetes szénhidrogén forrás még a növények (citrusfélék, fenyők) által emittált, gyakran kellemes illatú terpének ($C_{10}H_{16}$). Ide tartozik a kámfor, mentol, limonén, stb. A policiklikus aromás szénhidrogének (aromás telítetlen) természetes forrásai az erdőtűzek, a kőolaj tartalmú kőzetek eróziója és a természetes olajszivárgás.

Mint az eddig már tárgyalt légszennyező anyagok esetében is, a C_xH_y -oknak is jelentős mértékű antropogén forrása van. Az elégetett hajtóanyagok füstgázai, a festékek elpárolgó oldószer tartalma, a gumiiipar által felhasznált korom gyártása, egyéb kőszén- és olajipari termékek előállítása illetve a dohányzás is a légkörbe jutó C_xH_y mennyiségét növeli. A PAH-ok antropogén forrása a kőszén és kőolaj feldolgozása, a bitumen felhasználása például vízszigetelésre, tetőfedésre és útburkolatban, az alumínium- és acélipar, valamint a fatüzelés és biomassza égetés. A terhelésben a közlekedés részesedése Európában és hazánkban is 50 százalék. Jellemző közlekedési forrás a benzinüzem, a tökéletlen égés valamint a különböző fázisokban történő kipárolgás. A kétütemű motor az üzemanyaggal kevert kenőolaj elégetése miatt különösen magas szénhidrogén emisszióval rendelkezik. Ezek azon csatornák is, ahol a már jelzett katalizátoros szűrés mellett technológiai feladatok vannak hazai és nemzetközi téren egyaránt. Technikailag mind a motorok, mind az üzemanyag rendszerek oldaláról jelentős tartalékok vannak, ami azt jelenti, hogy gyakorlatilag szinte teljesen megszüntethető lenne a közlekedési eredetű kibocsátás.

Por, korom kibocsátás

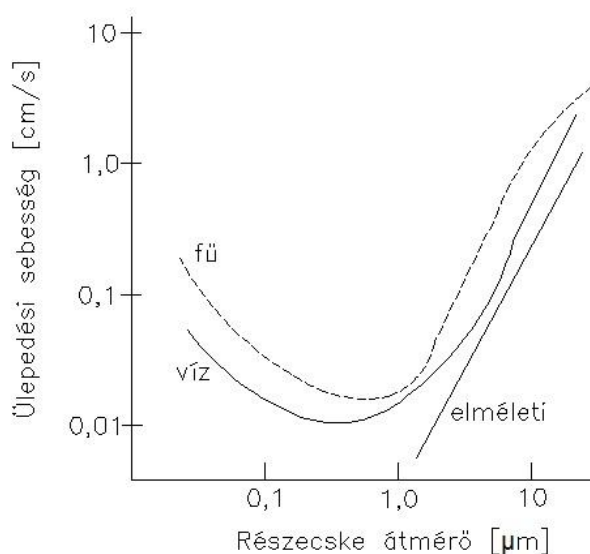
A természetes eredetű részecskék forrása a vízfelszínen szétpattanó buborékokból a légkörbe jutó sókristályok, a vulkánkitörések során a vulkáni hamu, a talaj aprózódásából a szél által felkapott talajalkotók, és az erdőtűzek füstjében lévő részecskék.

Az ipari folyamatok, a hulladék és mezőgazdasági égetés valamint a közlekedés révén nagy mennyiségű port, kormot juttatunk a légkörbe. A gépjárművek üzemanyag elégetése során kisméretű szilárd részecskék, por keletkezik, mely szilárd széndarabokra (korom) ráakad, elégetlen vegyületekből, valamint a motor kopása következtében leváló fémből áll.

A finom részecskék számos vélemény szerint a legkomolyabb nagyvárosi kockázati tényezőként jelennek meg, bár adott térben csak egy részük köthető közlekedési, elsősorban diesel motoros eredethez.

A légszennyezettség mérésénél a PM10, azaz a 10 μm átmérőjű szálló por koncentrációját mérik, és határoznak meg határértékeket. A PM2,5-tel, ugyan azon az analógián, a 2,5 μm átmérőjű finom por koncentrációját adják meg.

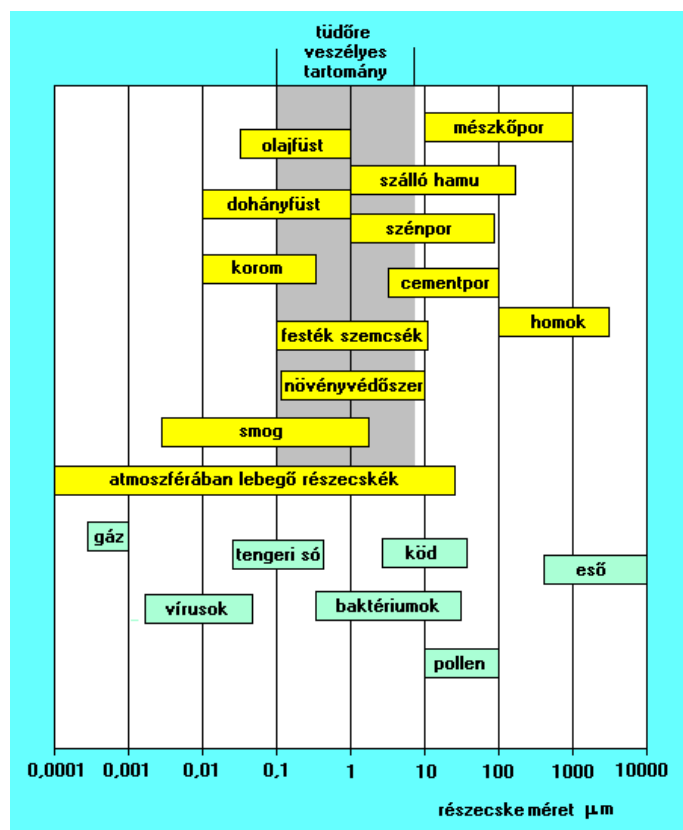
Csapadékmentes időszakban az aeroszol részecskék a felületeken való megkötődés, a gravitációs ülepedés és a turbulens diffúzió hatására kerülhetnek ki a légkörből. Az 2.2 ábra alapján elmondható, hogy a 0,1-1,0 μm közötti mérettartományba eső részecskék ülepedési sebessége a legkisebb. Ezen részecskék inkább a nedves kiülepedés folytán kerülnek ki a légkörből. Azonban egy részecskeméret alatt a további átmérőcsökkenés hatására az ülepedési sebesség elkezd nőni a Brown- féle mozgásnak köszönhetően. A jelenséget turbulens ülepedésnek nevezzük



2.2. ábra: Az aeroszol részecskék száraz (gravitációs és turbulens) ülepedési sebessége fű és vízfelszín felett. Az egyenes az elméleti szedimentációs sebességet adja meg egységnyi sűrűségű, gömbalakú részecskék esetében (Mészáros E., 1993)

A porok az ülepedés szempontjából a következőképpen csoportosíthatók:

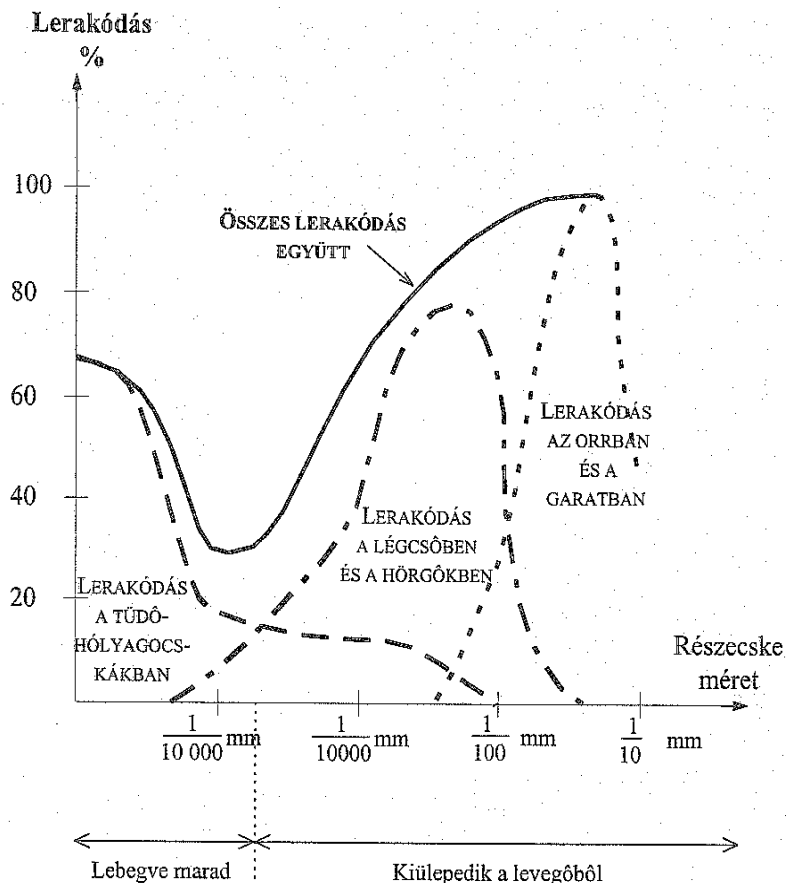
- 10 – 1000 μm szemcseméretűek, gyorsan ülepednek
- 0,1 – 10 μm szemcseméretű, lebegő porok
- 0,001 – 0,1 μm szemcseméretű porok, nem ülepednek, hígulásuk a gázokéhoz hasonló



2.3 ábra: A különböző eredetű részecskék mérettartomány



A $2,5\text{ }\mu\text{m}$ alatti részecskék veszélyeztetik legnagyobb mértékben a légzőszervet, ugyanis ezek mélyen, egészen a tüdőhólyagocskákig eljutnak és ott rakódnak le, ahonnan köhögéssel nem tudjuk eltávolítani őket (2.4 ábra). Az azbeszt szálak belégzése is emiatt veszélyes, ugyanis hosszabb kitettség során a belélegzett szálak a tüdőhólyagocskák folyamatos irritációját okozzák.



2.4. ábra: A részecskék méretének függvényében a tüdőbeli lerakódás mértéke

A részecskék légköri koncentrációjának emelkedése növeli az atmoszféra zavarosságát, csökkenti a látótávolságot és korlátozza a napsugárzás melegítő hatását (negatív sugárzási kényszer). A kisméretű részecskék fajlagos felülete nagy, amin egyéb, toxikus szennyezőanyagok tudnak adszorbeálódni, ezáltal mélyebbre bejutnak a tüdőbe.

Néhány közismert fogalom definíciója:

Aeroszol: gázban diszpergált folyadék és/vagy szilárd részecskék elegye.

Füst: gázban diszpergált szilárd részecskék elegye.

Köd: gázban szétoszlatott folyadékcseppek elegye.



Biológiai/természetes eredetű légszennyező anyagok

Pollenszennyezettség

A légszennyezettség egyik természetes formája a pollenszennyezettség. Magyarországon az emberek 15-25 %-a hajlamos az allergiára. Az allergiás tünetek egyik legfontosabb kiváltója a növények virágpora.

Ilyen szempontból azok a növényfajok jelentősek, amelyek: pollenfehérjéi allergének, szélbeporzásúak, nagymennyiségű pollent termelnek és gyakoriak. A magyar flóra 2400 faja közül 20 - 40 okozhat allergiát.

A pollenszezon - azaz a virágzási időszak - februártól októberig tart és három, egymást átfedő szakaszra osztható. Ezek a fák, a fűvek és a gyomok szezonja. A fák szezonja februártól tavasz végéig tart, és a mogyoró, az éger, a kőris, a fűz, a szil, a nyír, a tölgy, a bükk, a juhar és a platán a legfontosabb allergének. Érdekes megjegyezni, hogy a májusi nyárfa-allergia valójában már fű-allergia, csak a korai fűvek virágzása egybe esik a nyárfa termésszórásával. A fűvek májustól kora őszig okoznak allergiát, legkellemetlenebb a helyzet május-júniusban. A gyomok már tavasztól kezdve virágznak (pl. útifű), de a legsúlyosabb tünetek július-szeptemberben vannak (libatopfélék, üröm, parlagfű).

A virágzás kezdete természetesen nem tevődik mindenütt és mindig ugyanarra az időpontra, ennek kezdetét befolyásolja a földrajzi helyek makro- és mezoklimája és az egyes évek különböző időjárása. Az éves ritmus mellett minden fajra jellemző a napi pollenkoncentráció ritmusa is, amelyet szintén erősen befolyásolnak az időjárási tényezők. A legtöbb faj esetében a napi változásra az jellemző, hogy csúcsa a délelőtti, dél körüli időszakokra esik, ekkor vannak a legsúlyosabb allergiás tünetek.

Az említett allergiát okozó csoportok közül a légúti allergiások 8 - 15%-a érzékeny valamilyen fapollenre, 30 - 50%-a fűpollenre, és 30 - 80%-a gyompollenre is. A levegő pollentartalmának monitorozására nemzetközi hálózat jött létre (European Aeroallergen Network), hazánkban Budapesten 3, az ország további 8 nagyvárosában 1-1 mérőállomás van.

Levegő rost

A rostok egészségi kockázatát három tényező befolyásolja:

- a dózis, vagyis meghatározott idő alatt belélegzett pormennyiség,
- a rostok méretei, illetve hogy a szálló rost belélegezhető-e. Ez a 3 mikronnál kisebb átmérőjű és 5 mikronnál hosszabb olyan részecskéket jelent, ahol a szálhossz és az átmérő aránya nagyobb, mint 3:1,
- a biológiai tartózkodási idő, azaz hogy a tüdő mennyi idő alatt engedi át a szóban forgó rostokat.

Az ásványi rostok közül legveszélyesebbnek az azbesztet tartják, rákkeltő hatása miatt. A mesterséges ásványi rostok (üvegszál, üveggyapot, ásványgyapot, kerámiaszál) egészségártalom szempontjából potenciálisan rákkeltő anyagok.

A rostok legjelentősebb forrásai:

- a rostgyártó és felhasználó ipar emissziója,
- rost szerkezetű nyersanyagok, hulladékok szállítása,
- azbeszttel szigetelt építmények megbontása, átépítése, azbesztmentesítése,
- az azbeszt, mint veszélyes hulladék szakszerűtlen kezelése és elhelyezése és
- a fékbetétek kopásából származó szennyezés.
- A levegő rostszenyezettségénél különböző rostvizsgálatokat végeznek:
- a szállórost eredetének felderítése, mérési stratégia kidolgozása,
- a rostkoncentráció meghatározása,



- a rost morfológiai vizsgálata,
- a rost identifikálása,
- elhárítás, megelőzés lehetőségei.

Másodlagos szennyezőanyagok

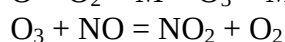
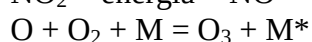
Peroxil-acetil-nitrát

Rendkívül mérgező vegyület, a szénhidrogén és nitrogén-monoxid reakciójából keletkezik. Termikusan és fotokémiaiilag is bomlanak, emiatt napközben 1-2 óra az élettartamuk. Azonban ha a koncentrációja tartósan, >0,02 ppm, akkor rövid idő alatt az élőlények egészség károsodását és az épített környezet korrózióját okozza.

Ózon

Az ózon egy három oxigénatomból álló instabil molekula, mely szúrós szagú, mérgező gáz. A magaslégköri (sztratoszférikus) ózon (ózonréteg) megjelenése segítette elő a szárazföldi élet kialakulását, ugyanis a naptól érkező, az élő szervezetek számára halálos, ultraibolya sugárzást elnyeli. Az oxigén molekulák csak a 0,28 µm-nél kisebb hullámhosszú (UVC) sugarakat képes elnyelni, az ózon azonban a 0,28-0,32 µm tartományba eső sugarakat is blokkolja, és a 0,4 µm-nél kisebb hullámhosszú sugárzás nagy részét is elnyeli.

Az ózon külön is kiemelendő és kezelendő, mint közvetlen közegészségi kockázati tényező. Nemzetközi adatok szerint kritikus szintje eléri az egészségi határérték négyszeresét. Földközeli intenzív napfény hatására a nitrogén-dioxid átalakul nitrogén-monoxiddá. A felszabaduló oxigéntartalom a levegő oxigénjével egyesül, ózon (O₃) keletkezik. Megfigyelhető koncentrációjának fokozódása magas katalizátoros, tehát alacsony nitrogén-oxid szint mellett is, tekintettel arra a jelenségre, hogy a NO_x semlegesíti az ózon jelentős részét (2.8. ábra).



A keletkező ózon a végbemenő folyamatok során el is bomlik, élettartamát tiszta időben 35 – 40 napra becsülik, míg szennyezett levegőben néhány óra is elég az átalakulásához.

A troposzférában kialakuló ózon légszennyezőként viselkedik, mivel a földfelszínről visszaverődő hosszú hullámú sugárzás troposzférából való kijutását gátolja, illetve belélegezve légúti betegségek kialakulásához vezet. A felszín közeli (troposzférikus) ózon koncentrációja a déli órákban a legnagyobb, mivel képződéséhez a napsugárzás energiája szükséges. A nyári (Los Angeles típusú) szmog egyik másodlagos szennyezőanyaga.

Hosszú távon az ózon-koncentráció csökkentése a komolyabb kihívás mind közegészségi, mind az ökoszisztéma védelme szempontjából. A NO_x kibocsátásának 70-80 százalékos csökkentése szükséges az elfogadható ózonszint kialakulásához. A megengedhető szint lakó- és termőterületeken 120 µg/m³ (8 órás átlagérték).



Környezeti hatások

A légszennyező anyagok számos környezeti, egészségügyi és gazdasági kárt okoznak.

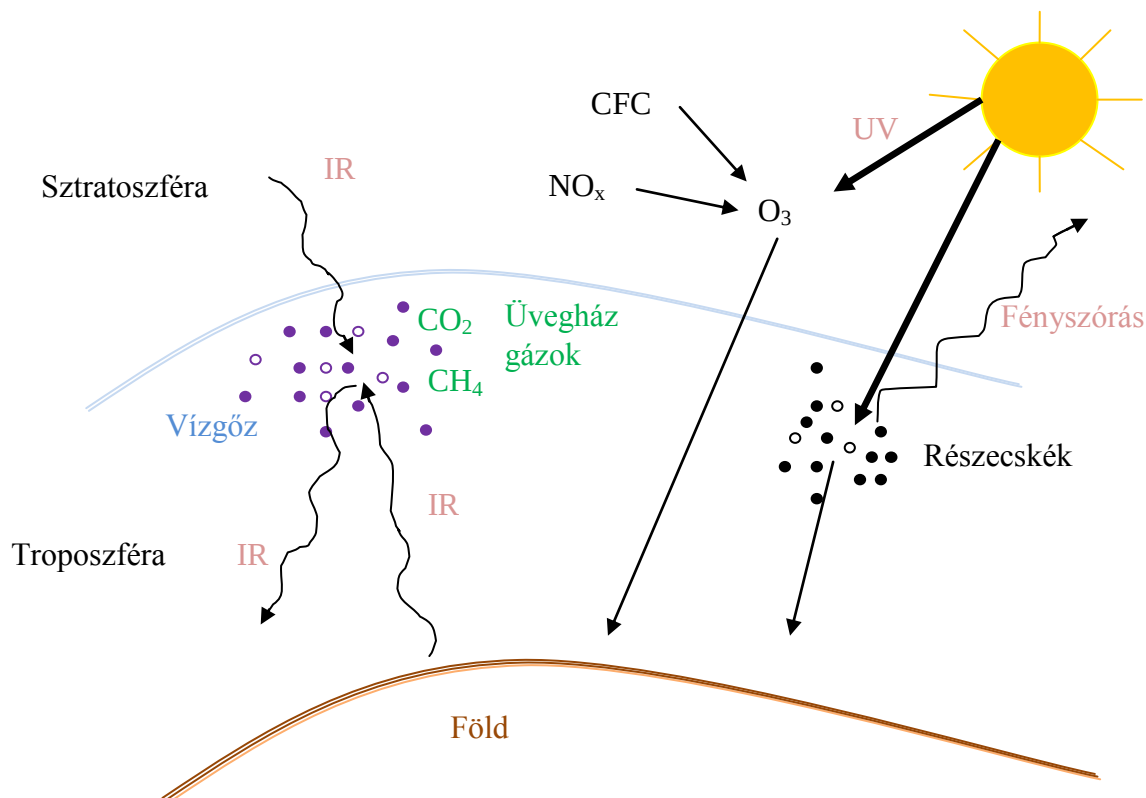
Klímaváltozás

Eddigi tanulmányok szerint a CO₂ 55%-kal, a freonok 24%-kal, a metán 15%-kal és a N₂O 6%-kal járult hozzá a globális melegedéshez.

Az emberi tevékenység következtében a légkörbe jutó szennyeződés a légköri üvegházhatást és a planetáris albedót változtatja meg, ami miatt a Föld sugárzási mérlege átalakul (Nováky, 2002) (2.5 ábra). A kibocsátott üvegházgázok pozitív irányba módosítják a sugárzási kényszert, azaz a légkör melegedését okozzák. Az IPCC (Éghajlat-változási Kormányközi Testület - Intergovernmental Panel of Climate Change) 2001-es jelentése alapján a CO₂ 55%-kal, a freonok 24%-kal, a metán 15%-kal és a N₂O 6%-kal járult hozzá a globális melegedéshez. Ezzel ellentétben az aeroszolok negatív sugárzási kényszert váltanak ki. A légkörbe jutó aeroszol a bejövő sugárzás egy részét visszaveri, valamint a felhők albedóját is növeli, ezáltal a Föld légkörének melegedését akadályozza. Azonban összegezve a negatív és pozitív sugárzási kényszereket pozitív értéket kapunk (1,6 W/m²). Az 1990-2025 és az 1990-2050 közötti időszakra előre jelzett hőmérsékletnövekedés 0,4-1,1 °C és 0,8-2,6 °C-ra tehető. Nagy valószínűséggel állítható, hogy a XX. században bekövetkezett melegedés nagy szerepet játszott a tengerszintek emelkedésében, a tengervíz hőmérsékletének növekedésében, a havas területek és a jeges tengerek kiterjedésének csökkenésében, valamint a hidrológiai ciklus intenzívebbé válásában, ami hevesebb, változékonyabb csapadékokkal jár együtt (IPCC, 2001).

A klímaváltozás globális probléma, azonban az előrejelzési modellek léptéke, a modellek korlátozott térbeli felbontási képessége miatt alulról korlátos. Tehát egy kisebb területre nehéz előre jelezni a változás irányát. A Kárpát-medencére az átlaghőmérséklet növekedését, az extrém csapadékesemények gyakoriságának növekedését és az éves csapadékmennyiség eloszlásának változását jelzik előre.

A városok klímáját, időjárási viszonyait nagymértékben befolyásolja a burkolt területek nagysága, a légszennyezés mértéke, emiatt az egyes térségekre előre jelzett változások nem feltétlenül érvényesek egy városra is.



2.5 ábra: A légszennyező anyagok hatása a sugárzási mérlegre

Savas eső

A hétköznapi életben esővíz minőségét leginkább csak a savasságával jellemzik, pedig sok egyéb szennyezőanyag is előfordulhat benne. Az esővíz elvileg tiszta, desztillált víz, azaz nem tartalmaz semmilyen oldott sókat és egyéb anyagot, mert az esőfelhőket a magasba emelkedő vízpára hozza létre. Ez azonban a valóságban nincs így. A csapadék pH értéke nem semleges ($\text{pH} = 7$), mert minden esetben a légkörből szén-dioxidot köt meg, így savas kémhatás felé tolódik el. A tisztának mondható csapadék pH-ja 5,6-nál nem nagyobb, míg ha egyéb légszennyező anyagok (például kén- és nitrogénvegyületek) is előfordulnak a légkörben, ez az érték még alacsonyabb (Böse, 2008). A SO_2 kénsavat a NO_2 pedig salétromsavat hoz létre a légköri vízmolekulákkal reakcióba lépve, ami csökkenti a lehulló csapadék pH értékét.

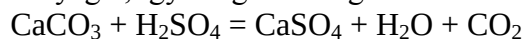
A valaha mért legsavasabb csapadékot Kínában, 1981-ben mérték egy erősen szennyezett légkörű nehézipari területen, amikor is a pH 2,25 volt. Magyarország közepesen szennyezett területnek számít az országos átlagban 4,6 –es pH-jú csapadékkal. Az átlagos pH érték nyugatról kelet felé nő 4,5-ről 5,5-ig, ami elsősorban az iparosodás mértékével függ össze. A savas eső komoly károkat okoz az erdős területeken, főleg a magasabban fekvőkben, a vizes élőhelyekben, de az épített környezetben is. A károkozás mértéke erősen függ a talaj pufferoló hatásának mértékétől.

A savas eső az élővilágra és az épített környezetre egyaránt káros hatással van. A vizes élőhelyek pH-jának 5,5 alá csökkenése a halak kipusztulását okozza. Ez a Skandináv országokban jelentős problémát okoz, azonban Magyarországon a vizeink magas puffer kapacitásának (magas HCO_3 tartalom) köszönhetően nem jelent problémát.



A savas eső az erdős területeket is károsítja, amennyiben megsérti a levelek védőrétegét, így érzékenyebbé válnak a különböző betegségekre. Továbbá a savas csapadék a talajba jutva csökkenti annak pH értékét, és az alapvető ásványi anyagokat (kalcium, magnézium) kioldja még mielőtt azt a növényzet fel tudná venni, ezzel csökkentve a talaj termékenységét. Azonban a savasodás hatására mérgező anyagok is kioldódnak, mint például az alumínium és más nehézfémek, amelyek a talajban felhalmozódva károsítják annak élővilágát.

Az épített környezetben a kalcium-karbonát tartalmú anyagokat (márvány, mészkő, beton) a savas eső feloldja azok anyagát, így rongálva meg a felszínüket:



Minél tömörebb a kőzet, annál csekélyebb a károkozás lehetősége.

A fém burkolatokból a savas eső fémet old ki, ami így a talajba vagy a csatornahálózaton keresztül a szennyvíztisztító telepre, ott pedig a szennyvíziszapba kerül ezzel megakadályozva a mezőgazdasági felhasználását.

Szmog

A szmog a „smoke” (füst) és a „fog” (köd) angol szavak összevonásából alakult ki.

Szmogról akkor beszélünk, ha a légszennyezési mutatók koncentrációja tartósan és jelentős mértékben meghaladja az előírt határértékeket. Két típusa van a téli/londoni és a nyári/los-angelesi szmog.

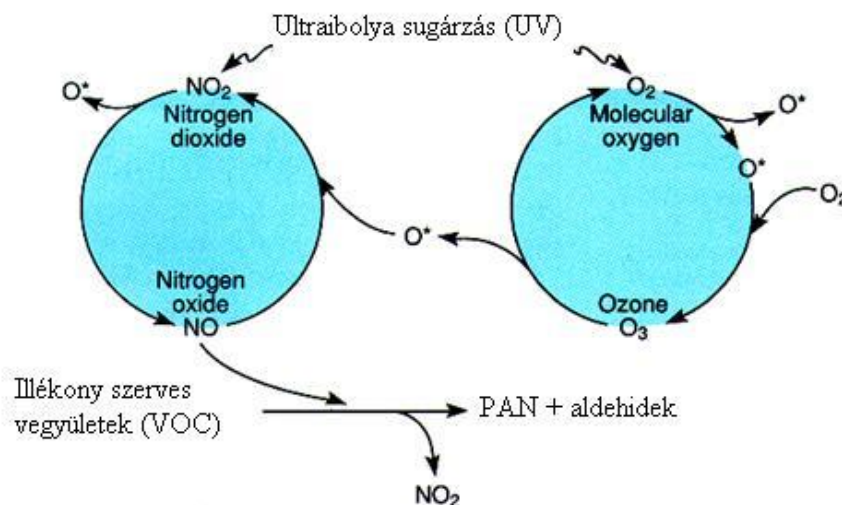
A téli vagy londoni szmog (2.6. ábra) a szén- és olaj égéstermékek magas koncentrációja következtében jön létre. Szélcsend, nedves levegő és fagypont körüli hőmérséklet szükséges a kialakulásához.

A nevét az 1952 decemberében, 5 napig Londont borító füstköd után kapta.



2.6 ábra: Téli/London típusú szmog

A nyári vagy Los-Angeles típusú szmog elsősorban a megnövekedett gépjárműforgalom által kibocsátott anyagoknak tulajdonítható. A légszennyező forrásokból metán, szén-monoxid, kén-dioxid, nitrogén-oxidok és különböző szénhidrogének kerülnek a levegőbe. A kibocsátott elsődleges szennyezőanyagok a levegőben másodlagos szennyező vegyületekké alakulhatnak. Az átalakulások egy része a napsugárzásból nyeri a reakció lefolyásához szükséges energiát (ezért fotokémiai szmognak is nevezzük az így kialakult szmogot). Ezt követően termikus reakciók zajlanak le, amelyek sebessége a hőmérséklet növekedésével egyre jelentősebbé válik. Így az elsődleges szennyezőanyagok intenzív kibocsátásakor, napsütés és magas hőmérséklet esetén a másodlagos szennyezők válhatnak a levegő minőségének meghatározójává. A levegőben magas NO₂, SO₂, O₃ és illékony szervesanyag koncentráció mérhető (2.7. ábra).



Az ábrán látható reakciók összefoglalása:

1. $O_2 + UV \longrightarrow O^* + O^*$ oxigén ion vagy szabadgyökök
2. $NO_2 + UV \longrightarrow NO + O^*$
3. $O^* + O_2 \longrightarrow O_3$
4. $O_3 + NO \longrightarrow O_2 + NO_2$
5. $NO + VOC \longrightarrow NO_2 + PAN \text{ (peroxi-acetil-nitrát) + aldehidek}^*$

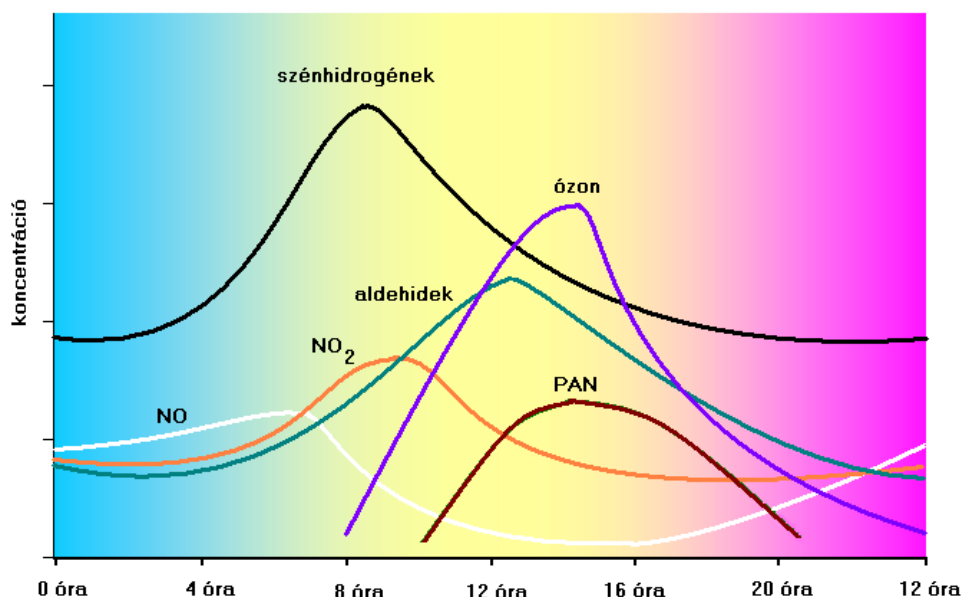
Reakciók összesítése:



* Példák az aldehidekre: formaldehid, acetaldehid és benzaldehid

2.7 ábra: A nyári szmog során lejátszódó reakciók

A városi levegőben lévő szennyezőanyagok mennyiségének napi változása jellegzetes képet mutat (2.8 ábra). A reggeli órákban, a gépkocsiforgalom beindulásával hirtelen megnő a levegő nem-metán-szénhidrogén és nitrogén-monoxid koncentrációja. Egy maximum elérése után csökkenni kezd, és délelőttre a nitrogén-dioxid és az aldehidek keletkeznek. A napsugárzás erősödésével a nitrogén-dioxid nitrogén-monoxiddá és atomos oxigénné bomlik. Délutánra megindul az ózon képződése (oxigénmolekulák és atomos oxigén reakciójából), az aldehidek pedig hidrogénre és szén-monoxidra bomlanak. Párhuzamosan ezzel, a NO_2 -ből és a szénhidrogénből rendkívül mérgező peroxi-acetil-nitrát (PAN) és salétromsav keletkezik. A késő délutáni, esti órákban mérséklődik a fotokémiai aktivitás, növekszik a szénhidrogén és csökken az ózon mennyisége. Ezzel párhuzamosan ismét emelkedik a nitrogén-dioxid koncentráció. Ha a rendszerben SO_2 is van, akkor aeroszol részecskék is keletkeznek. Ezek száma a déli órákban maximális.



2.8 ábra: Egy nyári szmog alkalmával a légszennyező anyagok koncentrációjának napi alakulása

Egészségügyi hatások

CO

Rendkívül mérgező, emberre és állatra egyaránt. A vérben az oxigént kiszorítja, ezáltal csökkenti a testszövetekhez szállított mennyiséget, és szén-monoxid-hemoglobin keletkezik. Szív és érrendszeri panaszokat, légzési megbetegedéseket, rosszullétet, fejfájást, végső fokon fulladást okoz. Veszélyességét fokozza, hogy szagtalan.

A legenyhébb tünetet Limuzin-betegségnek nevezik, a látószervek zavarai, a tájékozódás és ítélőképesség csökkenésében jelentkeznek, elalváshoz vezet.

Nagyvárosok közlekedési csomópontjaiban a szén-monoxid a károsító szintet általában eléri, ami az öntudat tompulásában és a reakcióképesség csökkenésében nyilvánul meg.

SO₂

Nagyobb koncentrációban a szem és a felső légutak, kisebb mennyiségben az alsó légutak nyálkahártyáját izgatja, így a védekező képesség csökkenésével gyulladásos betegségek kialakulását okozhatja. Zavarja a fehérje anyagcserét, izgatja az idegvégződéseket. Akut mérgezés esetén a halálos kimenetel ritka.

NO

A vér hemoglobinját mezhemoglobinná alakítja, így az nem tudja a szövetek oxigénellátását elvégezni. A levegőben azonban az egészségügyileg megengedhetőnél jóval kisebb koncentrációban fordul elő, ugyanis igen hamar átalakul nitrogén-dioxiddá.

NO₂

A levegővel akadálytalanul bejut a tüdőhólyagokba, hosszabb idő elteltével hörgőgyulladást, bronchitist okoz. A levegőben fellépő koncentrációk a légzőszervek funkcióinak romlását, fertőző légúti megbetegedésekkel szembeni fokozott érzékenységet, és enyhe lefolyású, de krónikus légúti megbetegedéseket okozhatnak.



O₃

Vízben kis mértékben oldódik, a szervezet nyálkahártyája nem tudja megkötni, így belélegezve akadálytalanul eljut a tüdő legrejtettebb helyeire is. Erős oxidáló szer, a földfelszín közelében minden élő sejtet károsít. Már kisebb terhelés is zavarja a sejtek működését, a tüdőben gyulladások keletkeznek. Különösen veszélyes a gyermekek, idősek, sportolók és nehéz fizikai munkát végzők számára.

Szénhidrogének

Sokféle vegyületet foglalnak magukba (paraffinok, olefinek, acetilén, metán, benzol, butadién, benzapirén, toluol, xilol). Több ezek közül közvetlenül is mérgező hatású, mind az emberre, mind az élővilág más elemeire. Különösen rákkeltő a benzol és a butadién, melyek ugyanakkor ózonképző és klimatikus gázok is.

A metán kivételével, melynek becsült élettartama hét év, a szénhidrogének csak néhány napig maradnak a levegőben.

Cl₂

Az elemi klór mérgező, belélegezve roncsolja a tüdőt és a nyálkahártyát.

HF

Szúrós szagú, maró hatású gáz. Légutakat izgatja, égési sérüléseket okoz.

Por, korom, pernye

A legveszélyesebb a 0,25 µm –nél kisebb részecskék. A nagy fajlagos felületükön szennyezőanyagokat adszorbeálnak (pl. nehézfémek, PAH) melyek aztán így akadálytalanul eljutnak a tüdő legmélyére.

Gazdasági károk

A légkör szennyezettsége nemcsak az élő szervezeteket rongálja, hanem az épített környezetet is. Az acél korróziós sebessége a nagyvárosokban 2-4-szer nagyobb, mint vidéken, feltehetően a légkör szennyezettsége miatt. Az ózon gyorsítja a gumik öregedését, a savas eső pedig a mész tartalmú burkolatokat, szobrokat károsítja.

Jogszabályi háttér

- **1995. LIII. törvény** A környezet védelmének általános szabályairól
- **4/2002. (X. 7.) KvVM rendelet** a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről
- **4/2004. (IV. 7.) KvVM–ESZCSM–FVM együttes rendelet** a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KöM–EüM–FVM együttes rendelet módosításáról
- **314/2005. Korm. rend.** Környezeti hatásvizsgálati, egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról
- **306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet** a levegő védelméről
- **4/2011. (I. 14.) VM rendelet** a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről



- **6/2011. (I. 14.) VM rendelet** a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról
- **1330/2011. (X. 12.) Korm. határozat** a kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési programjáról

2.3 táblázat: A légszennyezettség egészségügyi határértékei, célértékei, hosszú távú célkitűzései és a PM_{2,5}-re vonatkozó specifikus kötelezettségek a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet alapján

Légszennyező anyag	Határérték [µg/m ³]						
	órás		24 órás		éves		Veszélyességi fokozat
	Határérték	Tűrőhatár	Határérték	Tűrőhatár	Határérték	Tűrőhatár	
Kén-dioxid	250 a naptári év alatt 24-nél többször nem léphető túl	150 ¹	125 a naptári év alatt 3-nál többször nem léphető túl		50		III.
Nitrogén-dioxid	100 a naptári év alatt 18-nál többször nem léphető túl	50% ²	85		40	50% ²	II.
Szén-monoxid	10 000		5 000	60% ¹	3 000		II.
Szálló por (PM ₁₀)			50 a naptári év alatt 35-nél többször nem léphető túl	50% ¹	40	20% ¹	III.
Ólom					0,3	100% ³	I.
Higany és szervetlen higany vegyületek Hg-ként					1		I.
Benzol (Rákkeltő légszennyező anyag)			10		5	100% ²	I.

¹ A határértéknek való megfelelés szempontjából a tűrőhatárt 2005. január 1-jéig lehet alkalmazni.

² A határértéknek való megfelelés szempontjából a tűrőhatárt 2010. január 1-jéig lehet alkalmazni.

³ A határértéknek való megfelelés szempontjából a tűrőhatárt 2010. január 1-jéig lehet alkalmazni a több évtizedes ipari tevékenység során szennyeződött helyszíneken lévő jellegzetes ipari források közvetlen környezetében (1000 méternél nem messzebb).



2.4 táblázat: Tájékoztatási és riasztási küszöbértékek a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet alapján

Légszennyező anyag	Átlagolási időszak	Tájékoztatási küszöbérték	Riasztási küszöbérték
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Kén-dioxid	1 óra	400 három egymást követő órában	500 három egymást követő órában vagy 72 órán túl meghaladott 400
Nitrogén-dioxid	1 óra	350 három egymást követő órában	400 három egymást követő órában vagy 72 órán túl meghaladott 350
Szén-monoxid	1 óra	20 000 három egymást követő órában	30 000 három egymást követő órában vagy 72 órán túl meghaladott 20 000
Szálló por (PM₁₀)	24 óra	75 két egymást követő napon és a meteorológiai előrejelzések szerint a következő napon javulás nem várható	100 két egymást követő napon és a meteorológiai előrejelzések szerint a következő napon javulás nem várható
Ózon	1 óra	180 három egymást követő órában	240 három egymást követő órában vagy 72 órán túl meghaladott 180

Nemzetközi egyezmények

1979 – Genf – Országhatáron áterjedő levegőszennyezésről. Ebben először csak a kén-dioxidról volt szó. Az egyezményhez csatolt jegyzőkönyvek tartalmazzák az előírt intézkedéseket és a kibocsátás csökkentési célokat.

1985 – Helsinki – kénkibocsátás csökkentéséről. 1993-ig 30%-os csökkenés 1980-hoz képest. Magyarországon az erőművek füstgázainak kéntelenítésével az 1980. évi 1,63 Mt-ről 2000-re 0,4 Mt-ra csökkent a kibocsátás.

1988 – Szófia – Nitrogén-oxid kibocsátás csökkentése. 1994-ig a kibocsátás nem haladhatja meg az 1987-es szintet.

1991 – Genf – illékony szerves vegyületek (VOC) kibocsátásának szabályozása. Az 1999-es kibocsátás nem haladja meg az 1988-as évi szintet.

1994 – Oslo – kénkibocsátás további csökkentése. Hazánk 2010-ig az 1980-as viszonyítási évhez képest 60%-os csökkentést vállalt.

1998 – Aarhus – nehézfémek légköri kibocsátásának csökkentéséről.

1999 – Göteborg – a savasodás, az eutrofizáció és a felszínközeli ózon csökkentéséről.



2002 aug. – Kiotó – hazánk 6%-os CO₂ csökkenést vállalt 2008-2012-ig az 1958-87-es időszakhoz képest.

Irodalom

- Bartholy J.: Az éghajlat változása - bizonyosságok és bizonytalanságok. Mindentudás Egyetemén elhangzott előadás, 2004. szeptember 13.
- Bartholy J. Globális és regionális skálán is változik az éghajlat. Környezeti Nevelés Egyesület. Budapest, 2008. március 1.
- dr. Bozó L., dr. Szlávik J., Vaskövi B.né., Váraljai I. (2003): Az 1990-2003 közötti időszak levegőminőségének értékelése. Készült: „A levegőminőség alakulása Magyarországon az 1990-2003 közötti időszakban” című tanulmány alapján.
- Böse K-H. Az esővíz hasznosítása. CSER Kiadó, Budapest, 2008.
- Épített környezet védelme. BMEE OEMASH5 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére.
- Förstner, U.: Környezetvédelmi technika, Springer, 1993
- IPCC (2001): Cambio Climatico. Informe de Síntesis, Contribuciones de los Grupos de Trabajo al Tercer Informe de Evaluación, XVIIIª Reunión Plenaria del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Wembley, Reino Unido
- IPCC (2007): Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York
- Környezet- és Természetvédelmi Lexikon (2002). Akadémiai Kiadó, Budapest
- Mészáros E. Légekörtan. Veszprémi Egyetemi Kiadó, 1993.
- Mészáros T. A légköri szén-monoxid mérlege és trendje Európában. Pannon Egyetem, Környezettudomány Doktori Iskola, Veszprém. 2006.
- Nováky B. (2002): Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. In „A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései (szerkesztette: Somlyódy László)”: Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. pp.75-106.
- Segédlet az üvegházhatást okozó légköri szennyezőanyag kibocsátás csökkenés meghatározására. Készült az Energia Központ Kht megbízásából az UNDP-GEF „Energiahatékonysági program az önkormányzati szektorban” projekt keretében. Budapest, 2005 november.



3. Szagproblémák

A 306/2010. (XII. 23) Korm. rendelet 3.§-a rögzíti, hogy a „**Bűz:** szaghatással járó légszennyező anyag vagy anyagok keveréke, amely **összetevőivel egyértelműen nem jellemezhető**, az adott környezetben környezetidegen, és az érintett terület rendeltetésszerű használatát zavarja” A fentiek alapján a kellemetlen szaganyagok is légszennyezők a magyar joggyakorlat szerint, jóllehet ezek nem okoznak maradandó károsodást az élő szervezetben, hanem sokkal inkább pszichikai érzeten alapuló hatásuk van. Felvetődik a kérdés, hogy *Mik a szagok? Milyen mértékben tekinthetők légszennyezőnek a szaganyagok és hogyan mérhetjük ezeket?* A víziközművek szolgáltatói, üzemeltetői akkor végzik jól a dolgukat, ha a fogyasztó számára „észrevétlenek” maradnak. Ezt az „észrevétlenséget” az üzemeltetés problémái és kellemetlen hatásai, így a szaghatások is könnyen feledtethetik a fogyasztóval. *Hol keletkezhetnek kellemetlen szaganyagok? Hogyan lehet megelőzni, kezelni, hatástalanítani, elkerülni a kellemetlen szaghatásokat?*

Szaganyag koncentráció

A szagok, illetve illatok egyik objektív mennyiségi jellemzője, amelyet **ppm-ben** (parts-per-million; milliónkénti darabszám), **ppb-ben** (parts-per-billion; milliárdonkénti darabszám) vagy **mg/Nm³**-ben fejeznek ki, és amelyik analitikai módszerrel egyértelműen mérhető. Problémát jelent azonban, hogy az emberi orr a különböző anyagokra eltérő érzékenységgel reagál, a gyakorlatban előforduló szagok általában nem egy vegyületből, hanem a levegőben megjelenő összes komponens együtthatásából jelentkeznek.

Szagküszöb

A szaganyagnak az a legkisebb koncentrációja, amely szaghatás keltésére elegendő ingert vált ki a megfigyelő receptoraiban, azaz orrában. Ez nemcsak az anyagi tulajdonságoktól, hanem a megfigyelő személy érzékelésétől függ. Az alábbiakban néhány, a szennyvíztisztító telepen és a csatornahálózatban, mint bűzforrásnál keletkező vegyület szagküszöb értékét (3.1 táblázat) tüntettük fel.

3.1 táblázat: Szagküszöb értékek

Vegyület	Szagküszöb értékek (ppm)	
	Súlyozott középérték	Min – Max.
Ammónia	17	-
Kénhidrogén	0,0094	0,001 – 0,13
Metil-merkaptán	0,00054	2×10^{-7} – 0,041
Etil-merkaptán	0,00035	$9,8 \times 10^{-5}$ – 0,003

Szagegység: Az egyes vegyületek hatásainak különbözősége miatt, összehasonlíthatóságuk érdekében került bevezetésre ez a fogalom. 1 szagegység (magyarban SZE, a német szakirodalomban GE, az angolban OU a rövidítése) azt a hígítást jelenti, amely mellett a vizsgálatban résztvevő személyek 50%-a az adott szagot még érzi, 50%-a már nem. A szagegység bevezetésével az egyéni érzékenység különbözősége matematikai-statisztikai módszerekkel kiszűrhető. A szagegység mérése az ún. dinamikus olfaktometria elvén – a szagos levegő és tiszta levegő különböző arányú elegyének szaglászékelésével – történik, meghatározott számú érzékelő személy adott észlelési adatainak összevetésével.



Szagintenzitás: A szagerősség meghatározására alkalmazott – de egy szubjektív és nem egységes – jellemző paraméter, melyet tetszőleges skálán mérnek. (Az alsó érték: nem vagy alig érezhető, felső érték: erősen érezhető.) A legújabban egy ismert szaghatású vegyülethez, a normál oktanolhoz viszonyítva (min. 0 – max. 8) adják meg. A szagintenzitás a szaganyag koncentrációjának logaritmusával arányosan nő (Weber-Fechner törvény).

Hedonikus hatás: Az adott esetben tapasztalt szagok szubjektív megítélésére szolgál, vagyis az észlelőnek „kellemetlen – kellemes vagy kibíráhatatlan” a vizsgált szaghatás.

Szaggyakoriság, szagterhelés: Az adott szaghatás észlelési gyakoriságára jellemző mérőszám, melyet **szagórában** fejeznek ki és egy hosszabb időtartamra – a gyakorlatban egy évre (8760 óra) – vonatkoztatva, %-ban adnak meg.

Szagáram: A szagáram a szaganyag koncentrációjának (SZE/m^3) és áramlási sebességének (m/h) szorzata, mértékegysége: SZE/h . A szagáram időben változhat, ez az emisszió ütemével fejezhető ki.

Szagok keletkezése

A szennyvízzel kapcsolatba hozható szag(bűz)anyagok megjelenése és keletkezése két helyen történhet:

- a csatornahálózatban, ahonnan a szennyvízzel együtt érkezik meg a szennyvíztisztító telepre, illetve a hálózati átemelőkbe,
- a szennyvíztisztító telepeken végbemenő, a technológiai folyamatoktól függő, a fizikai-kémiai-biológiai reakciók során végbemenő átalakulással, illetve közbülső és végső oxidációs termékekből keletkezhetnek.

A szaghatást okozó folyamatok lényegében tehát az alábbiak:

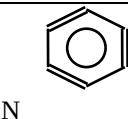
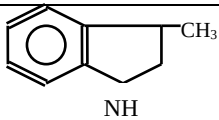
- illékony anyagok emissziói,
- biológiai lebontódás,
- adszorpció csökkenése a szilárd anyagok felszínén,
- transzportálódás a teljes rendszeren keresztül,
- anyagok keletkezése az oxidáció, redukció és fertőtlenítés hatására vagy a prekursor (előjelző) vegyületek lebontódása oxidációs melléktermékekkel.

A szennyvíztisztító telepen és a csatornahálózatban megjelenő bűzanyagok (3.2. táblázat), anyagi tulajdonságukat tekintve lényegében kétfélék lehetnek:

- szerves vegyületek (merkaptánok indol ($\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$), illetve a szkatol),
- szervetlen vegyületek (hidrogén-szulfid és az ammónia).



3.2 táblázat: Néhány vegyület szagküszöb értéke és szaghatása.

A vegyület neve	A vegyület képlete	Szagküszöb érték (ppb)	Szaghatás
Merkaptán	R-SH, (R – szerves vegyület)	0,029	Görényszagú
Allil-merkaptán	CH ₂ =CH-CH ₂ -SH	0,05	Erős feketekávé
Amil-merkaptán	CH ₃ -(CH ₂) ₃ -CH ₂ -SH	0,3	Kellemetlen-rothadt
Benzil-merkaptán	C ₆ H ₅ CH ₂ -SH	0,19	Erős – kellemetlen
Crotil-merkaptán	CH ₃ -CH=CH-CH ₂ -SH	0,029	Bűzös
Etil-merkaptán*	CH ₃ -CH ₂ -SH	0,19	Rothadt káposzta
Metil-merkaptán*	CH ₃ -SH	1,1	Rothadt káposzta
Propil-merkaptán*	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -SH	0,075	Kellemetlen
Tert-butil merkaptán	(CH ₃) ₃ C-SH	0,08	Bűzös, kellemetlen
Tiokrezol	CH ₃ -C ₆ H ₄ -SH	0,1	Avas, görényszaghoz hasonló
Tiofenol	C ₆ H ₅ SH	0,062	Rothadt, orrfacsaró
Ammónia	NH ₃	37	Erős, szúrósszagú
Klór	Cl ₂	10	Irritáló
Hidrogén-szulfid	H ₂ S	1,1	Záptojás
Dimetil-szulfid	CH ₃ -S-CH ₃	1	Romlott gyümölcs
Dietil-szulfid	C ₂ H ₅ -S-C ₂ H ₅	0,25	Émelyítő
Difenil-szulfid		0,048	Kellemetlen
Piridin		3,7	Irritáló
Szkatol		1,2	Fekália
Kén-dioxid	SO ₂	9	Irritáló

* - A földgáz szagositására használt anyagok.



Szagok észlelése és azonosítása, értelmezése

A szagérzet fiziológiai és pszichológiai részből tevődik össze, ami a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$\text{Szagérzet} = \text{Szagészlelés} + \text{Szagértelmezés}$$

Az észlelés fiziológiai mechanizmusa ez idáig tökéletesen nem ismert. Az interpretáció – a pszichológiai rész is – nagyon sok tényezőtől függ, melyek két csoportba oszthatók:

- „objektív tényezők”: szagerősség, szagfajta, szagtartósság, szagidőpont, szaggyakoriság, stb.
- „szubjektív tényezők”: életkor, nem, munkahely, fizikai és pszichikai egészségi állapot, stb.

A szagérzékelést a következő tényezők befolyásolják:

- a szaghordozó molekulák száma, levegőtérfogot,
- a belélegzett levegőben levő szagaktív anyagok gőznyomása,
- egyéni légzéstechnika (egy belégzés tartóssága és térfogata, levegőáramlás),
- a központi idegek feldolgozó-mechanizmusa.

A szagok kétféle módon határozhatók meg:

1. Az érzékeléssel kapcsolatos szenzórius vagy organoleptikus (érzékszervi) mérés (olfaktometria, Európai Szabvány (CEN 13725). Ezek esetében az előzőekben tárgyalt emberi orr, mint detektor alkalmazható, ami azonban szubjektív eredményt szolgáltat és számos észlelő személy szükséges hozzá.
2. A fizikai-kémiai (analitikus) mérés: gázkromatográfia.

Csatornahálózati szagemisszió

A nyers szennyvíz oldott oxigéntartalma 0-5 mg/l közötti. Ha az oxigén koncentrációja 1 mg/l alá csökken, akkor megindulnak az anaerob lebontási folyamatok (szulfát-redukció), melyek egyik végterméke a bűzt okozó kén-hidrogén. Tehát a csatornahálózat jó kialakításának egyik kritériuma az, hogy fenn tud-e maradni a szennyvíz legalább anoxikus állapota (3.3 táblázat).

A szennyvízben az oxigén oldott és vegyületekben kötött formában is jelen van (3.3 táblázat). A mikroorganizmusok először a szabad, oldott oxigént használják fel, majd ha ez elfogyott először a NO_3^- , majd a SO_4^{2-} kötött oxigénjét vonják el.

3.3 táblázat: A szennyvíz oldott és kötött oxigénjének hozzáférhetőségének sorrendje

Oxigénforrás		Redukált termékek	Szag
O_2 (oldott oxigén)	aerob állapot (kb 1 óra)	CO_2 , H_2O	szagmentes
NO_3^- (nitrát)	anoxikus állapot	NH_3	
SO_4^{2-} (szulfát)	anaerob állapot	H_2S	záptojás szag
szerves kötésben lévő oxigén		redukált szerves anyag	gyakran szaggal jár
CO_2		metán	szagmentes



Tartózkodási idő

A csatornahálózati szagemisszió egyik okozója az lehet, hogy a szennyvíz túl hosszú ideig tartózkodik a friss levegő elől elzárt csatornacsőben (melyet anaerob térnek lehet tekinteni) és ott időközben különböző kémiai-biológiai folyamatok indulnak el. Az átemelők, illetve a nyomott szennyvízcsatornák fogadóaknáinak környezetében, ahová viszonylag hosszú út és hosszú tartózkodási idő után érkezik meg a „berothadt” szennyvíz, van meg a lehetőség az átlegegőzésre. A friss levegő bejutásának helyén - mivel aktív légmozgás, légáramlás van - a csatornacsőben felszabaduló gázok, bűzanyagok távozhatnak a csatorna-rendszerből, vagyis így a felszíni környezetet terhelik.

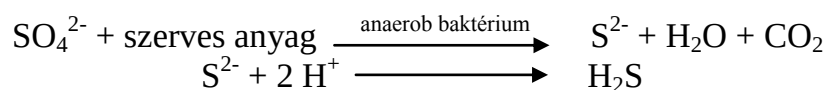
Kémiai – biológiai folyamatok a csatornában

A csatornában és az átemelőkben a szennyvízzel bejutó mikroorganizmusok ill. a csőfalakon és egyéb, hordozóként funkcionáló tárgyakon megtapadó biofilm tevékenysége következtében az oldott oxigénszint - megfelelő utánpótlás hiányában - gyorsan csökkenhet és anaerob folyamatok indulhatnak meg. Ennek következtében, elsősorban a nyári magas hőmérséklet mellett, a szennyvízelvezető rendszerek bizonyos szakaszaiból kellemetlen szagú mikrobiális anyagcseretermékek juthatnak ki a környezetbe. A kiáramló vegyületek szaghatásain túlmenően általában jelentős korrozív hatással is rendelkeznek, így egyaránt csökkentik a lakosság jó közérzetét és a szennyvízelvezető rendszer műtárgyainak élettartamát. A keletkezés okainak feltárása és a kiküszöbölés lehetőségének vizsgálata így rendkívül fontos feladat, melynek hatékony megoldására a mai napig is kísérletek folynak. Számos csatornaszakaszban az oxigénfogyasztást, ill. annak sebességét az áramló szennyvíz által szállított és a hártába transzportálódott oldott oxigén mennyisége alapvetően korlátozhatja. A kis átmérőjű csatornában, amelyekben kicsi az oxigénfogyasztási sebesség, viszonylag nagy oxigénkoncentráció létezik, az oxigén tetemes hányada a hártában használdik fel (3.1 ábra). Nagyobb csatornában nagy oxigénfogyasztási sebességek, kis energiavonal lejtések és nagyobb hidraulikus sugár kombinációk esetében a hártá oxigénfogyasztása viszonylag kisebb mértékű.

A szennyvizet gyűjtő- és szállító rendszerekben a szakszerűtlen üzemeltetés miatt, illetve a szennyvíztisztítási technológia részeként a tervezett anaerob folyamatok révén szagot és korróziót okozó vegyületek keletkeznek. Ezek zöme a kén és nitrogén tartalmú szerves anyagok anaerob lebontódásakor jelentkeznek. A szerves anyagú gázok általában a hidrogén-szulfidot, ammóniát, széndioxidot és metánt tartalmaznak. Ezek közül csak a hidrogén-szulfid és az ammónia bűzös. A leggyakoribb bűzös gáz a H₂S. Ez záptojás szagú, rendkívül toxikus és a vasra, betonra, cinkre, rézre, ólomra és kadmiumra korrozív hatású.

Szulfát-redukció

A szag és korrózió problémák elsősorban a szulfát redukciójakor, a képződő H₂S miatt jelentkeznek. Ekkor a szennyvíz már anaerob állapotban van, és olyan lebontó mikroorganizmusok kezdik meg tevékenységüket, melyek ebben a környezetben érzik jól magukat és oxigénforrásként a szulfát kötött oxigénjét használják fel.

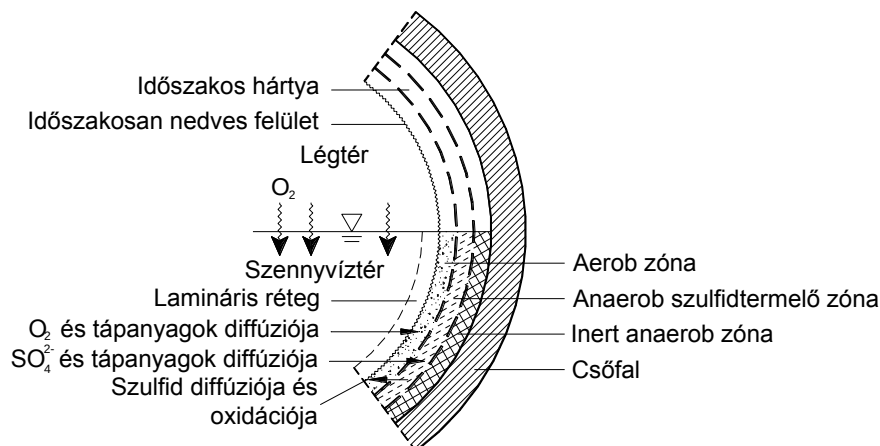


A szulfát-redukció elsősorban a csőfalon képződő biológiai hártában, iszapterekben és üledékben jelentkezik. A biológiai hártát fonalas szervezetek és zselatinszerű anyagok



alkotják, melyet kisebb baktériumok fognak körül. A hártya vastagsága (0,3-0,1 mm) a szennyvíz áramlási sebességétől és egyéb környezeti tényezőtől függ.

A biológiai hártában (3.1 ábra) több zóna figyelhető meg. A csőfalhoz legközelebb, egy biológiailag inert zóna található, mivel ide a tápanyag bejutása korlátozott. Az anaerob zónában lejátszódó redukciós folyamatok révén keletkező szulfid addig nem tud a szennyvíztérbe jutni, amíg az aerob zóna létezik, hiszen ott oxidálódik.



3.1 ábra: Biológiai hártya

Oldott szulfidok

A szulfid-komponensek közül egyedül a H_2S képes a csatornában áramló szennyvízből a levegőbe kioldódni és ezáltal szag- és korróziós problémákat okozni. Ezért az összes oldott szulfidok mennyiségének, valamint a pH-nak az ismerete fontos. Az oldott formában jelenlévő összes oldott szulfidok mennyisége nagyságrendileg 70-90 %. Az oldott szulfidok (H_2S , HS^-) mennyisége a pH-tól és a szennyvízben levő oldott fémek (mint akceptorvegyületek) mennyiségétől függ.

Szennyvíztisztító telepek szagemissziói

A nyílt vízfelületek levegőztetésekor a légkörbe kerülő vízcseppek baktériumokat és vírusokat is tartalmazhatnak. A folyadék gyorsan elpárolog a vízcseppekből, így egy stabil aeroszol képződik, melynek átmérője 5 μm körüli.

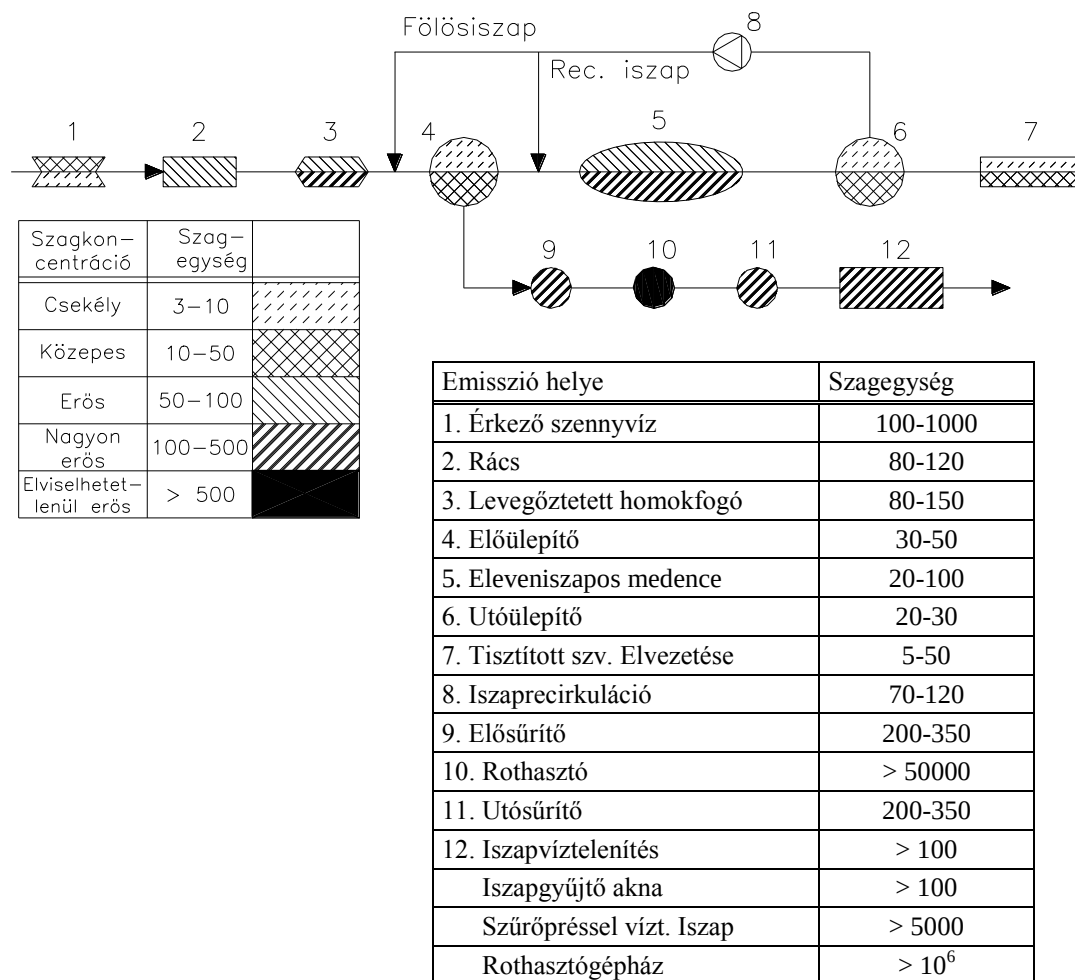
A szennyvíztisztítás különböző folyamatai során a biológiai lebontásból keletkező gázok a folyadék és a gázfázis közötti nyomáskülönbségekből, valamint a fizikai határfeltételektől függő mértékben ki tudnak levegőzni. Az emissziót két csoportra lehet osztani:

- Tervezett: Például a CO_2 , amely a biológiai lebontásokkal járó végtermék, vagy pl. az N_2 (nitrogéngáz), amely a szerves nitrogénvegyületek biológiai lebontásából (nitrifikáció, denitrifikációból) származó végtermék.
- Nem tervezett: szag és egyéb ártalmas gázanyagok kilevegőztetésekor az eleveniszapos medencében, ill. egyéb berendezések folyadék/levegő határán.

A szennyvíztisztító telepen a legnagyobb szagemissziók az iszapkezelési műveletek során keletkeznek, melyet a 3.2 ábra is jól szemléltet.

Az üzemeltetés során nagy figyelmet kell fordítani az egyes fázisok során keletkező szagos gázok légtérből való eltávolítására. A 13. ábrán feltüntetett szagegységeket megnézve, és

tudva, hogy az ember szagterhelési küszöbe $10\text{--}30 \text{ SZE/m}^3$, megállapítható, hogy a szennyvíztisztító telep jelentős szagemissziójú.



3.2 ábra: A szagemisszió helyei és intenzitásuk a szennyvízkezelésben

A **komposzt-telepen** a különböző fajta szagok koncentrációja a komposztálás egyes szakaszaiban eltérő. A szagok eredete

- elsősorban a nyers fekáliából származó szagok, amelyek a prizma keverésekor és a prizmából származhatnak,
- az elszívott gázokkal szabályozott lebontódásból keletkeznek,
- a komposzt-telep területén az aktív anyagok jelenlétéből származhatnak.

A komposzt-telepi szagok általában keverékszagok, koncentrációik is eltérőek.



3.4 táblázat: A komposzt-telepi szagintenzitások és a hozzájuk tartalmazó koncentrációk (mg/m³)

Szaganyag	1 Közelítőleg szagmentes	2 Gyenge intenzitás	3 Mérsékelt intenzitás	4 Erős intenzitás	5 Túlságosan intenzív
NH ₃	0,1	0,6	2	10	40
(C ₂ H ₅) ₃ N	0,0001	0,001	0,02	0,2	3
H ₂ S	0,0005	0,006	0,06	0,7	8
CH ₃ SH	0,0001	0,0007	0,004	0,03	0,2
(CH ₃) ₂ S	0,0001	0,002	0,04	0,8	20
CH ₃ CHO	0,002	0,01	0,1	1	10
C ₈ H ₈	0,03	0,2	0,8	4	20

A komposzt-telepeken még megengedhető a 2. szintű szagintenzitás.

A szaganyagok kezelésére az általános szageltávolítási módszereken felül, a legalkalmasabb természetes eljárás a talaj, illetve komposztoszűrő, ami egy komposzt-telepen mindig rendelkezésre áll. A komposztoszűrő teljesítménye, illetve a komposztoszűrőbe vezetendő gáz mennyiségét meghatározza, hogy a szaganyagok teljes mértékben adszorbeálhatók legyenek, a mikroorganizmusok fel tudják venni ezeket, átalakulásra képesek és oxidálhatóak legyenek.

253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről

Szennyvíztisztító, szennyvíziszap-kezelő, -tároló és -elhelyező építmények legkisebb távolsága (védőterülete) lakó-, vegyes-, gazdasági- (a jelentős mértékű zavaró hatású ipari kivételével), üdülő- és különleges (a hulladéklerakók területének kivételével) területektől

- | | |
|--------------|--|
| I/A. >1000 m | <ul style="list-style-type: none"> - nyersiszaptároló, iszaprohasztó földmedencék 200 000 m³ hasznos térfogat fölött,* - tavas (levegőzés nélküli) szennyvíztisztítás 10 000 m³/d szennyvízmennyiség fölött; |
| I/B. 1000 m | <ul style="list-style-type: none"> - nyersiszap tároló, iszaprohasztó földmedencék 200 000 m³ hasznos térfogatig, - tavas (levegőzés nélküli) szennyvíztisztítás 10 000 m³/d szennyvízmennyiségig, - nyersiszap mezőgazdasági hasznosítással történő elhelyezése felületi szórással, - anaerob iszapkezelés és a kezelt iszap tárolása nyitott műtárgyakban 50 000 m³/d szennyvíztisztítási kapacitás fölött, - folyékony települési hulladékgyűjtő, -kezelő (nem aerob) és ártalmatlanító létesítmények 500 m³/d fölött; |
| II. >500 m | <ul style="list-style-type: none"> - hagyományos szennyvíztisztító folyadékfázis-kezelő létesítményei 50 000 m³/d szennyvízmennyiség fölött, - anaerob iszapkezelés és a kezelt iszap tárolása nyitott műtárgyakban 50 000 m³/d szennyvíztisztítási kapacitásig, - szennyvíziszap komposztáló (hagyományos vagy gyorsított rendszer nyitott prizmákkal), - nyersiszap mezőgazdasági hasznosítása talajba injektálással, - levegőztetett és aerob szennyvíztavak 100 m³/d kapacitásig (meredek partkiképzés - legalább 1:3 rézsűk -, nádas partvédelem nélkül), - folyékony települési hulladék aerob kezelése 500 m³/d kapacitásig, - folyékony települési hulladék barázda teknős elhelyezése; |
| III. >300 m | <ul style="list-style-type: none"> - hagyományos szennyvíztisztító folyadékfázis-kezelő és zárt anaerob iszapkezelő létesítményei 50 000 m³/d szennyvíztisztítási kapacitásig, - aerob úton stabilizált iszap kezelése nyitottan, - zárt, szagtalanítóval ellátott folyékony települési hulladékkezelő vagy előkészítő létesítmények, termikus iszapkezelő (égető, kondicionáló, szárító) létesítmények, - rapid iszapkomposztálók zárt rendszerben, szagtalanítóval ellátva; |
| IV. >150 m | <ul style="list-style-type: none"> - teljesoxidációs eleveniszapos berendezések nyitott iszapkezelés nélkül, 5000 m³/d kapacitásig, |



- V. <20 m***
- zárt, szagtalanítóval ellátott egyéb szennyvíztisztító berendezés, iszapkezelés nélkül 10 000 m³/d kapacitásig, iszapkezeléssel 1000 m³/d kapacitásig,
 - nyers szennyvízátemelők védelem nélkül;**
 - teljesoxidációs eleveniszapos kisberendezés (500 m³/d), zajszigetelt, cseppszóródás ellen védett, üzemzavar esetén gravitációsan vagy beépített gépegységekkel teljesen leüríthető kivitelben,
 - nyers szennyvízátemelők zajszigetelt, zárt, szagtalanítóval ellátott kivitelben,
 - oldómedence (zárt), szikkasztó mező 20 m³/d kapacitásig

* Környezeti hatásvizsgálat alapján egyedileg kell meghatározni.

** Megfelelő védelem (zaj, bűz ellen) esetén az építési hatóság az értéket csökkentheti.

*** Egyedileg kell meghatározni.

Megjegyzés: Ha egy feltétel nem teljesül, a következő (szigorúbb) előírás figyelembevétele javasolható. Ha két feltétel nem teljesül, vagy a kapacitástúllépés eléri a kétszeres értéket, egyedi elbírálás (általában két kategóriával szigorúbb besorolás) célszerű.

Szagmissziók csökkentésének lehetőségei

Az szagmisszió csökkentésének alapja a szennyvíz anaerob állapotba kerülésének megakadályozása. A minimalizálás egyik leghatékonyabb eszköze a körültekintő tervezés, mellyel a különböző technológiai folyamatok szagmissziója alacsony, illetve a kívánt határértékre csökkenthető.

A meglévő emissziók csökkentésének 3 alap lehetősége:

- „end of pipe” technológia – pl. a szennyezett levegő tisztítása
- üzemeltetési folyamatok megváltoztatása
- emissziós források minimalizálása

Gazdasági szempontból általában a csővégi technológiák a legolcsóbbak, a legcélravezetőbb pedig az emissziós források megszüntetése.

Elsődleges szagcsökkentési lehetőségek:

- Szennyvíz frissen tartása
- Lerakódások megakadályozása (csatornahálózati)
- Zárt szállítási körfolyamatok
- Vegyszer adagolása
 - o Szagot okozó baktériumok zöme elpusztítható
 - o Szaganyagok oxidáció révén ártalmatlanná tehetők
 - o Oldott oxigén tartalom növelhető

Másodlagos szagcsökkentési lehetőségek

- Üzemeltetési folyamat megváltoztatása
 - o Levegőcsere csökkentése
 - o Szagjavító adagolása
 - o Technológia optimalizálása
- Műszaki védekezés építési tevékenységgel
 - o Lefedés
 - o Burkolás
 - o Épületbe helyezés
 - o Védőfalak
 - o Emissziós felület csökkentése



- Emisszióval terhelt közeg hígítása
- Szaganyagokat tartalmazó levegő tisztítása
 - Eleveniszapos medencébe való légbefúvás
 - Komposztaszűrés
 - Biofilter
 - Biomosó
 - Kémiai mosó
 - Égetés

Csatornahálózati szag és korrózió elleni védekezés

A csatornahálózat tervezésekor a szulfid és a szagképződést előidéző vegyületek kiküszöbölésére, vagy megfelelő mértékű csökkentésére is gondolni kell.

A szulfid- és a szagképződést előidéző legfontosabb tényezők:

- a magas hőmérséklet,
- a sík jellegű domborzat,
- a nagyszelvényű csatorna.

Hidraulikai tervezési lehetőségek a szag, valamint a korrózió elleni védekezés elősegítése érdekében a következők:

A fenékvonal lejtése

A csatorna-fenékvonal lejtése a szulfidproblémák kiküszöbölése szempontjából alapvető paraméter. A minimális lejtésű, hosszú tartózkodási időre méretezett, a gyenge oxigén abszorpciós tulajdonságú és a lebegőanyagok ülepitésére hajlamos szennyvízcsatornáknál a szulfidképződésre eleve számítani kell. Az új csatornáknál, ha a szennyvízszállítás a kapacitásuknál kezdetben még kisebb, az áramlási sebességek pedig a lebegőanyagok szuszpendált állapotban tartásához elégtelenek, a szulfidképződés súlyos problémákat okozhat. Hasonló, alulterheltségből származó szagproblémák adódhatnak az üdülőterületeken, illetve ott, ahol nagy az évszakos egyenlőtlenségi tényező, mivel az év nagy részében a szennyvízterhelés csak töredéke az üdülési szezon szennyvízterhelésének, amire a csatornák keresztmetszetét méretezik.

A nagyobb csatornalejtés a szennyvízáramlás turbulensebb állapotát, ill. az aktívabb oxigénabszorpciót, így a szennyvízbeli aerob állapot fenntartását, végső soron a szulfidképződés akadályozását segíti. A jelenlegi, szokott tervezési gyakorlat 0,6 m/s minimális átlagos áramlási sebességet vesz alapul, a csatornaátmérőtől függetlenül, amiatt, hogy a csatorna öntisztító képessége biztosítható legyen. A nyírófeszültség a csatorna fenékfelületén a másik tervezési paraméter. A minimális nyírófeszültség legyen fenntartható a csatornafének felületén, ezáltal a feltételezés szerint - a szuszpendált lebegőanyagok ülepedése a csatornafénkre elkerülhető.

A minimális szállítási sebesség, amelynél a lebegő részecskék még elsodródhatnak, függ:

- a részecskék fajsúlyától,
- a gravitációs gyorsulás állandójától,
- a részecske átmérőjétől,
- a súrlódási tényezőtől.



Ez azt jelenti, hogy nagyobb csatornaátmérők esetében nagyobb lejtéseket kell alkalmazni, annak érdekében, hogy a megfelelő elragadó sebesség fenntartható legyen. Az általánosan ajánlott 0,6 m/s minimális sebesség; szükség esetén 0,9 m/s, vagy ennél nagyobb sebesség felvétele is célszerű lehet.

Csatornaátmérő

Ha egy adott átmérőnél a szulfidképződés problémaként jelentkezik, a felszíni oxigénabszorpció növelése céljából nagyobb csatornaátmérő választható. A nagyobb szelvényű csatorna azonos szennyvízhozam és lejtés esetében a közepes hidraulikus mélységet csökkenti, miközben az oxigénabszorpciót segítő szennyvízfelszín nő. A megfelelő mértékű minimális vízszintes áramlási sebesség fenntartása akkor is követelmény, ha nagyobb átmérőjű csatornát választunk. A nyomás alatti csatornák gyakran kis átmérőjűek, ezáltal a szennyvíz tartózkodási ideje és így a csatornabeli szulfidképződés is csökkenthető. Azonban kisebb átmérőjű csatornánál a hártát hordozó falfelület és a szennyvíztérfogat aránya nagyobb, ami a tartózkodási idő csökkenés előnyét részben ellensúlyozhatja, mivel fajlagosan kisebb a biológiai hártá szulfidfelvétele. A kis csatornaátmérő tehát szulfidképződés szempontjából jelentősebb előnyt nem eredményez.

Bukás, esés

Az oldott szulfidot csak kismértékben vagy egyáltalán nem tartalmazó szennyvíz bukása vagy esése közben tekintélyes mennyiségű oxigént vesz fel és az aerob állapot fenntartását, a szulfidképződés elmaradását, vagy mérséklését segíti.

Az oldott szulfidot tartalmazó szennyvíz bukása vagy esése közben a keletkezett nagyfokú turbulencia miatt a H_2S a légkörbe távozik, ezáltal szag-, ill. korróziós hatást eredményez. A bukás, ha a szennyvíz tetemes mennyiségű oldott szulfidot tartalmaz, általában nem ajánlott. A turbulencia a szulfid szennyvízből való távozását, így szag képződését és közvetett úton a korróziót segíti elő.

Csatornacsatlakozás

A csatornák csatlakozása könnyen az ülepedés és az oldott oxigén levegőbe való távozásának okozója lehet. Aerob állapot esetében a csatlakozást létrehozó műtárgy célja a sima áramlási átmenet, a minimális turbulencia és az áramlási árnyékoktól mentes hidraulikai viszonyok biztosítása.

Átemelők

Az átemelők a csatornarendszer kritikus elemei, mivel ezekkel kapcsolatban ellenkező érdekeket képviselnek a tervezők (biztonsági követelmények, nagy tározótérfogat, stb.), az üzemeltetők (egyenletes szivattyúzás, a szivattyú folyamatos üzeme, kis tározótérfogat) és az érintett lakosság (a csatorna és az átemelő legyen „észrevétlen”, vagyis „szagtalan”). A kellemetlen szaghatások szempontjából az átemelő úgy tervezendő, hogy a csatornarendszer összes szulfidképződési potenciálja ne növekedjen.

Ennek az elvnek a betartása gyakran nehéz, mert a jelenlegi tervezői gyakorlat az átemelőtelepen szennyvíztározást, a nyomás alatti csatornában pedig szennyvíz visszatartást irányoz elő. Ha kiegészítő levegőztetést nem alkalmaznak, akkor a szulfidképződés potenciálja nő, mivel

- az összes tartózkodási idő a rendszerben nő, továbbá



- a szennyvíz érintkezése a csatorna belső felületén, az átemelő falán levő rendszerint szulfidtermelő hártáival hosszabb idejűvé válik.

Az átemelők üzeme általában szakaszos, mivel az érkező szennyvíz mennyisége változó évszaktól és napszaktól függően. Annak érdekében, hogy az átemelőkben a szennyvíz tartózkodási ideje minimális legyen, és így csökkenteni lehessen az anaerob folyamatok beindulását, a tervezés során különös gondot kell fordítani. Az átemelők aknafének kialakítását úgy kell megoldani, hogy holt terek ne tudjanak kialakulni. A szivattyúk kiválasztása során is van olyan lehetőség, melynek segítségével az átemelőből a szennyvíz mennyiséget teljes egészében el lehet távolítani.

Az átemelő tározóterében szulfid várhatóan nem képződik, ha a tartózkodási időt csökkentjük. Ezért célszerű, ha az átemelő tározótère - a szulfidképződés minimalizálása miatt - kicsi. A maximális tartózkodási idő 30 perc, vagy annál kisebb legyen; ennek betartása végett inkább kisebb tározó-térfogatú átemelő tervezése ajánlott.

A szulfid szabályozás alternatívái átemelők esetében:

- tározótérbeli szennyvíz levegőztetése,
- kémiai kezelés,
- a tározótér feletti H_2S tartalmú levegő összegyűjtése és tisztítása,
- a szennyezett levegő elvezetése az átemelő alatti csatornaszakaszba,
- levegő vagy oxigén injektálása az átemelő feletti csatornaszakaszba.

A tározótérbeli szennyvíz levegőztetésével az oldott szulfid hatékonyan oxidálható, a levegőztetés az oldott oxigénkoncentráció növekedésén és a szulfidkeletkezés elleni védelmen túlmenően azzal az előnnyel is jár, hogy az átemelő nyomás alatti csatornaszakaszban szulfid nem keletkezik.

Hagyományos kémiai módszerek

A hagyományos kémiai vegyszeres kezelésnek több megoldása ismert, úgymint:

- klórgáz adagolás
- hypo adagolás,
- hidrogénperoxid adagolás,
- fémsók adagolása,
- pH növelés nátrium-hidroxid, mész, vagy egyéb lúg adagolásával.

A **klórgáz** adagolásával baktericid hatás érhető el, amivel a kénhidrogén keletkezését akadályozzák. A klór a már meglévő kénhidrogént oxidálással távolítja el. A klóradagolás igen nagy hátránya, hogy a szennyvízben toxikus és rákkeltő hatású szénhidrogén termékek keletkeznek, más környezetre káros vegyületekkel együtt. A szagok nem minden esetben távolíthatóak el, mert például fenolt tartalmazó szennyvízben klórfenol képződik, ami még intenzívebb szagú gáz. A klórgázt a szennyvíztisztító előtti csatornaszakaszba szokták adagolni.

A **hidrogénperoxid** szennyvízbe jutásával elsősorban már meglévő, a szennyvízben oldott állapotú kénhidrogént oxidálják. Az eljárás hátránya, hogy kénhidrogén változatlanul keletkezhet és a szennyvízszállító, tároló és iszapkezelő létesítmények légterébe juthat. Ahhoz, hogy az adagolás a mikrobiális termelést is gátolja, igen nagy mennyiségek



alkalmazására van szükség, ami rendkívül költséges, másrészt pedig a szennyvíz biológiai jellegének elvesztéséhez is vezethet.

A **fémsók** adagolása a hidrogén-szulfiddal való reakcióba lépés felismerésén alapul. A szulfidokkal sokféle fémsó, pl.: vas-klorid, cinkszulfát, vasszulfát, stb. lép reakcióba. A keletkező anyag gyakorlatilag oldhatatlan, a szennyvízzel együtt távozik. A legáltalánosabban használt fémsó a vas-klorid. Az eljárás hátránya, hogy csak az oldatban levő szulfidokat távolítja el, a szennyvíz nehézfém terhelése növekszik, a szennyvíziszap további kezelése megnehezül, mivel az iszapot továbbiakban veszélyes hulladékként kell kezelni. Hátránya még, hogy a kénhidrogén termelést az adagolás nem gátolja, a légtérbe került kénhidrogén-gáz korróziós és bűzképző hatását nem csökkenti.

A **pH növelésére** alkáliákat, meszet, vagy nátriumhidroxidot adagolnak. A pH értékétől függ a H_2S - HS^- aránya az egyensúlyi rendszerben. Ha a pH elég magas, akkor a gázalakú hidrogén-szulfid aránya igen kicsi, a HS^- pedig a szennyvízben oldva marad, ezzel a bűz és a korrózió mértéke csökkenthető. A pH növelésére ezeket a vegyszereket csak időszakosan adagolják. Folyamatos adagolásra nem alkalmasak, mert az adagolás helyétől távolodva a pH értéke gyorsan csökken, a csatornában keletkező széndioxid és szerves sav termékek miatt. Hátránya még az eljárásnak, hogy a szennyvíz biológiai anyag jellegének részleges inaktiválása és a viszonylag sűrűn telepítendő adagolási helyek igénye. Továbbá hazánkban a vizek nagy puffer kapacitása miatt jelentős mennyiségű vegyszer adagolására lenne szükség.

Szaghatás elleni védekezés nitrát adagolással

A bűzös gázok keletkezésének csökkentésére alkalmas eljárás a *nitrátok* adagolása a szennyvízhez. Az eljárás szerint a nitrátot a szállított, vagy kezelt szennyvíz, szennyvíziszap mennyiségéhez igazítják. A nitrátadagolással való kénhidrogén képződés csökkentésének lehetősége abban áll, hogy a szennyvízben és a szennyvíziszapban élő mikroorganizmusok elsősorban az oldott oxigént, majd a nitrátok kötött oxigénjét, ennek elfogyása után a szulfátok kötött oxigénjét fogyasztják. A felhasználási sorrend jól behatárolható, elsősorban az adott és egyéb környezeti tényezők, hatások pontos ismeretében. Az aerobból anaerobbá átalakuló rendszerben a különböző oxigénformák hasznosítására képes baktériumok a korábban már említett sorrendben szaporodnak. Amíg az oldott oxigén, vagy nitrát van jelen a rendszerben az ezeket hasznosító mikroorganizmusok szaporodnak, s ezzel elvonják a szaporodás lehetőségét az alacsonyabb energiaszinten létező mikroorganizmusoktól. Amennyiben tehát oxigénhiány fellépésekor nitrátot adagolunk a szennyvízhez, vagy szennyvíziszaphoz akkor nem következik be szulfátbontás, mert a nitrátokból kisebb energiafelhasználás árán nyerhető oxigén, mint a szulfátokból.

A helytelen adagolás, illetve, az, hogy nem veszik figyelembe a nitrát adag hatását a felhasználó mikroorganizmusok elszaporodásánál, a beadagolt nitrát egyre gyorsabban fogy, így a szulfát-redukció megjelenik.

Limitált nitrát-adagolás

A siófoki szennyvízcsatorna hálózatán dolgozták ki ezt a módszert. A több éves vizsgálat és kísérlet alatt arra a felismerésre jutottak, hogy a szulfát-redukáló mikroorganizmusok a legkönnyebben lebontható biodegradált szubsztrátokat tudják szénforrásként hasznosítani, így elegendő a nitrátbontó mikroorganizmusok számát olyan szinten tartani, hogy ezt a szulfát-redukálók által preferált szubsztrátot éppen elfogyasszák.



A nitrát adagolási helyeket ott érdemes kialakítani, ahol a légtér H_2S koncentrációja 10 ppm feletti.

Amennyiben a szennyvíz ecetsav tartalma 15 mg/l felé emelkedik közvetlenül az átemelőbe és/vagy az áramlási irány szerint az átemelő előtti csatornaszakaszba nitrát adagolás szükséges.

Szennyezett levegő összegyűjtése és tisztítása

A szennyezett levegő tisztítására több eljárást is kidolgoztak, azonban meg kell említeni, hogy mivel ezek nem a szag forrását szüntetik meg, így a korróziós hatások kiküszöbölésére nem alkalmasak.

Eljárások és berendezések

- Katalitikus égetés
- Égetés gázzal, fűtőolajjal
- Vegyszeres mosás, savas-, savas és lúgos mosás
- Abszorpciós vegyszerrel való megkötés
- Biológiai aktivált anyagon keresztüli megkötés
- Adszorpciós légtisztítás (pl. aktívszénen, zeoliton, ...)

Biofilterek

Ez egy összefoglaló név, az eljárás technológiájától, működési elvétől és töltőanyagától függetlenül.

Szageltávolító torony

A szageltávolító torony általában egy 6-9 m magas, műanyag töltetű, kis terhelésű ($0,3 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) csepegtetőtestes torony.

Működési elve azon alapul, hogy a torony aljára vezetett szagos levegő a toronyban felfelé áramolva a műanyag töltőanyag felületén lévő biofilm segítségével oxidálódik. A toronyban kétféle áramlás történik

- az egyik az alulról felfelé áramló tisztítandó levegő,
- a másik a felülről lefelé áramló tisztított szennyvíz, mely biztosítja az állandó biofilm réteget a töltet felületén.

Maszkírozás

A szagvegyület valamilyen szabályozó vegszerrel kerül elkeverésre, ami által egy elviselhetőbb szag keletkezik (Pl. ilyen a WC légrfrissítő is).

Abszorpció

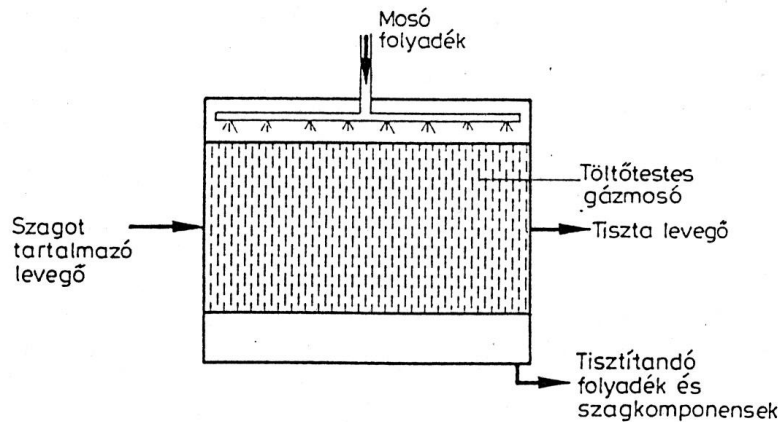
A szagvegyületek gázmosás (3.3. ábra) révén kerülnek eltávolításra. A gázvegyületek kémiai abszorpció révén oldatba abszorbeálhatóak. Az oldat lehet kálium-permanganát, nátrium-hipoklorit oldat, klór-dioxid.

Több fajtája létezik, melyek a következők:

- Porlasztókamra
- Töltőtestes torony
 - Hipokloritos



- Sóoldat-abszorpció
- Permetezőtornyos gázmosó



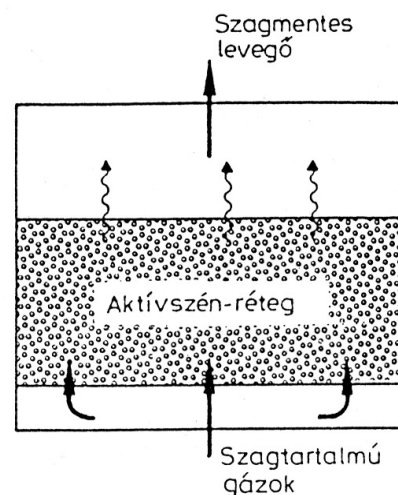
3.3 ábra: Töltőtestes vagy tálcás gázmosó berendezés abszorpciós szageltávolításhoz

Adszorpció

Ezen eljárás során a szagvegyületek egy rendkívül nagy gázadszorpciós képességgel rendelkező szilárd töltőanyag felületén kötődnek meg (3.4 ábra). Az adszorpció lehet fizikai vagy kémiai.

Adszorbens lehet:

- aktív szén (néhány szerves vegyületet is képes adszorbeálni)
- zeolit
- vulkáni tufa
- tőzeg



3.4 ábra: Adszorpciós biofilter elvi ábrája

Ózonizálás

Az ózon a szagvegyületeket oxidálja, így azok eltávolíthatóak.

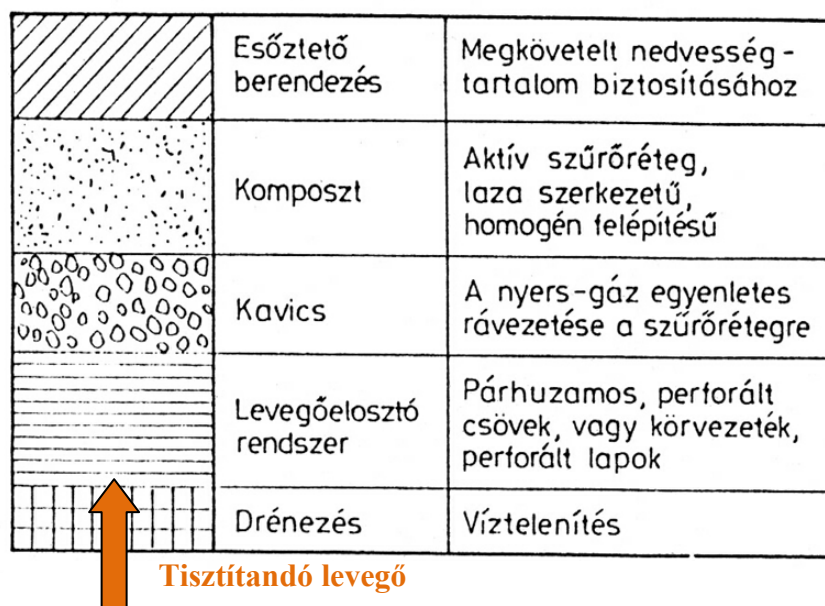
Komposztisztító

Biológiai, természetes szageltávolítási eljárás, melynek elve a hártyás rendszerekben rögzült mikroszervezetekkel történő biológiai szennyvíztisztításhoz hasonló.

Az esőztető berendezésre a komposzt megfelelő nedvességtartalmának biztosítása miatt van szükség. A kavicsréteg biztosítja a szűrőrétegre (komposzt) való egyenletes rávezetést (3.5 ábra).

A komposztisztító előnye, hogy hatékony szageltávolítást biztosít, nem keletkeznek másodlagos szennyezőanyagok, illetve gazdaságos megoldás. Azonban hátrányként említhetjük, hogy nagy helyigényű technológia.

A töltőanyag lehet érlelt, jó minőségű komposzt, homok, agyag, humusz illetve humuszkomposzt keveréke.



3.5 ábra: Komposztaszűrő elvi sémája

Építési intézkedések

Az építési intézkedések nem minden esetben hatékony szagcsökkentési megoldások, hiszen se a szagemisszió okát, se a szagvegyületeket nem távolítjuk el.

Az építési megoldások a következők lehetnek:

- Védőfalak - szaghatás felfogása szempontjából nem hatékony
- Emissziós felület csökkentése - A szagemisszió mértéke kedvezően befolyásolható, de nem megszüntethető. Ilyen megoldás például a medence mélyítése, ami csak egy bizonyos méretig tehető meg a technológiai folyamat kedvezőtlen irányba történő befolyásolása nélkül.
- Elszívott levegő hígítása – Itt figyelembe kell venni a meteorológiai viszonyokat.
- Növényzet telepítése – A szélirány figyelembe vételével, illetve a telepített növényzav szélességével és sűrűségével a szaghatások kedvezően befolyásolhatóak. Azonban egy rosszul telepített növényzav a helyzetet ronthatja is, amennyiben a turbulens keveredést és ezáltal a szagok hígulását gátolja. Jelentős a pszichológiai hatása is (3.6 ábra).



3.6 ábra: Zöld környezetben elhelyezkedő szennyvíztisztító telep



Egyéb szagproblémát okozó tevékenységek a városban

Gyorséttermek, benzinkutak területéről felszálló szagok.
Lakott területen a háztáji állattartás is zavaró szagokkal járhat.
Közlekedési járművek által kibocsátott kipufogó gázok.

Szabályozás

A 306/2010. (XII. 23.) Korm. Rendelet 30 –as §-a, ami a levegő védelmével kapcsolatos szabályokat tartalmazza a bűzzel járó tevékenységek szabályozásához a következő rendelkezést tartalmazza:

„30. § (1) Bűzzel járó tevékenység az elérhető legjobb technika alkalmazásával végezhető.

(2) Ha az elérhető legjobb technika nem biztosítja a levegő lakosságot zavaró bűzzel való terhelésének megelőzését, további műszaki követelmények írhatók elő, például szaghatás csökkentő berendezés alkalmazása, vagy meglévő berendezés leválasztási hatásfokának növelése. Ha a levegő lakosságot zavaró bűzzel való terhelésének megelőzése műszakilag nem biztosítható, a bűzzel járó tevékenység korlátozható, felfüggeszthető vagy megtiltható.

(3) Légszennyező pontforrás által okozott bűzterhelés csökkentése érdekében a bűzzel járó tevékenységre szagegység/m³-ben kifejezett egyedi kibocsátási szagkoncentráció határérték írható elő. A szagkoncentráció meghatározására az MSZ EN 13725:2003 szabványt kell alkalmazni.”

A bűzanyagok összetevőikkel egyértelműen nem jellemezhetők, kellemetlen szagú légszennyező-anyagok, így határértékeket egyik rendelet sem tartalmaz.

Lakott területen létesített kisebb bűzt, kellemetlen zavaró szagot kibocsátó források engedélyezése, ha nincs környezetvédelmi engedélyhez kötve, az önkormányzatok feladatkörébe tartozik

- **147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet** a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról
- **253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet** az országos településrendezési és építési követelményekről
- **306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet** a levegő védelméről

Irodalom

Horváth, Cs.: A szennyvízelvezetés és –tisztítás szaghatásai, Szakmérnöki szakdolgozat, 2001.



4. Burkolt felületek szennyezettsége

Városias településeken a burkolt felületek (épületek tetőfelületei, útfelületek, parkolók) aránya jelentősen megnövekszik a burkolatlan felületekhez (parkok, zöldterületek, füves és salakos sportpályák, építkezések) képest. A légköri kiülepedésből és a forgalomból származó szemcsés szennyezőanyagok fokozatosan felhalmozódnak mind a burkolt, mind pedig a burkolatlan felületeken. A száraz időszakokat követő csapadékesemények során az előbbiekről lemosódó szennyezőanyagok a galvanizált felületekről kioldódó nehézfémekkel együtt közcsatornába, vagy közvetlenül valamilyen befogadóba (talaj, felszíni víz) jutnak. A burkolatlan felületeken kiülepedett szennyezőanyagok esetében a lemosás helyett a beszivárgás a jellemző folyamat, ami értelemszerűen a talajt és a talajvizet veszélyezteti.

A települési felületek szennyezőanyagai

Halmazállapot tekintetében a települési felületeken leginkább a szilárd frakció van jelen (szabadon mozgó, vagy valamilyen felülethez tapadt por, illetve szemét), de helyenként folyadékok is megjelennek (szabadon, vagy szilárd szemcsék felületére tapadva). Kémiai minőségüket illetően két nagy csoportot különböztetünk meg: a szerves szennyezők közé tartoznak a talajszemcsék, a homok, a különféle fémek, ásványi rostok, cianidok és egyéb oldott sók; míg a szerves szennyezőkhöz soroljuk a biológiai eredetű szerves anyagokat (pl. zsírok, olajok) és a különféle fosszilis eredetű és szintetikus szénhidrogén vegyületek igen széles spektrumát (pl. korom, fagyálló adalékok, üzemanyag, kenőanyagok, növényvédő szerek). Az imént felsorolt anyagok nem önállóan, elkülönítve vannak jelen, hanem bonyolult keverék formájában. A szennyezőanyagok egy része jellemzően kis mennyiségben kerül ki a környezetbe, de mivel kis koncentrációban is jelentős hatásuk van, ezért nem hanyagolhatók el („mikroszennyezők”). Ilyenek például a nehézfémek (felhalmozódnak a szervezetben, mérgezőek), valamint a szerves PAH-ok (melyek rákkeltő hatásúak).

A szilárd részek szemcseméretéről külön szót kell ejtenünk, mert alapvető befolyással bír a szennyeződés terjedésére, veszélyességére és kezelhetőségére. Eszerint megkülönböztetünk:

- szemetet:
 - durva frakció ($2\text{ mm} < d$): törött üvegek, építési törmelék, cigarettacsikkek, papír, növényi részek, stb.
 - finom frakció ($60\text{ }\mu\text{m} < d < 2\text{ mm}$): jellemzően a durva frakció aprózódásával jön létre
- port:
 - durva frakció ($10\text{ }\mu\text{m} < d < 60\text{ }\mu\text{m}$): jellemzően kopási folyamatok által keletkeznek, könnyen ülepednek
 - finom frakció ($d < 10\text{ }\mu\text{m}$): jellemzően égésből és kopásból származnak, nehezen ülepednek



Tömeg szempontjából a szennyeződések nagy részét a durva szemét frakció jelenti, azonban ezek a legkönnyebben kezelhetők. Sokkal nagyobb veszélyt jelent a finom frakciójú por, mert adszorpció révén más anyagokat (pl. nehézfémeket, vagy szerves mikroszennyezőket) kötnek meg, amelyek könnyebben és mélyebbre jutnak be a légúti rendszerünkbe, valamint – mivel alig ülepednek – a szél által meglehetősen mobilizálhatók.

Tetőfelületekről származó szennyeződések

A szennyezőanyagok egyik forrása a légköri kiülepedés, melynek során a környező területek ipari és közlekedésből származó finom por kibocsátásaiból, valamint növények szerves részeiből (pollen, levél) száraz, illetve nedves kiülepedéssel kerülnek a tetőkre. Mérték és összetétel szempontjából a szennyeződés aránylag nagy területen homogénnek tekinthető. A felhalmozódás szempontjából meghatározó tényező a szél gyakorisága, erőssége és iránya, mivel gátolja a lerakódást.

A települések burkolt felületeinek számottevő hányadát kitevő háztetőkről lefolyó csapadékvizet a finom por mellett a tetők és ereszcatornák (illetve egyéb bádogosmunkák) anyagának esetleges veszteségei jellemzik. A tetőkről lefolyó csapadékvizek minőségét következtetésképpen nagymértékben befolyásolja a tető anyaga, annak hajlása, irányítottsága és felületi érdessége, továbbá a csapadékeseményt megelőző száraz időszak hossza (napok száma), a csapadék intenzitása, időtartama és pH-ja is. A szennyezőanyag-koncentrációt befolyásoló számos tényező miatt a szakirodalomban sok különböző értéket találhatunk.

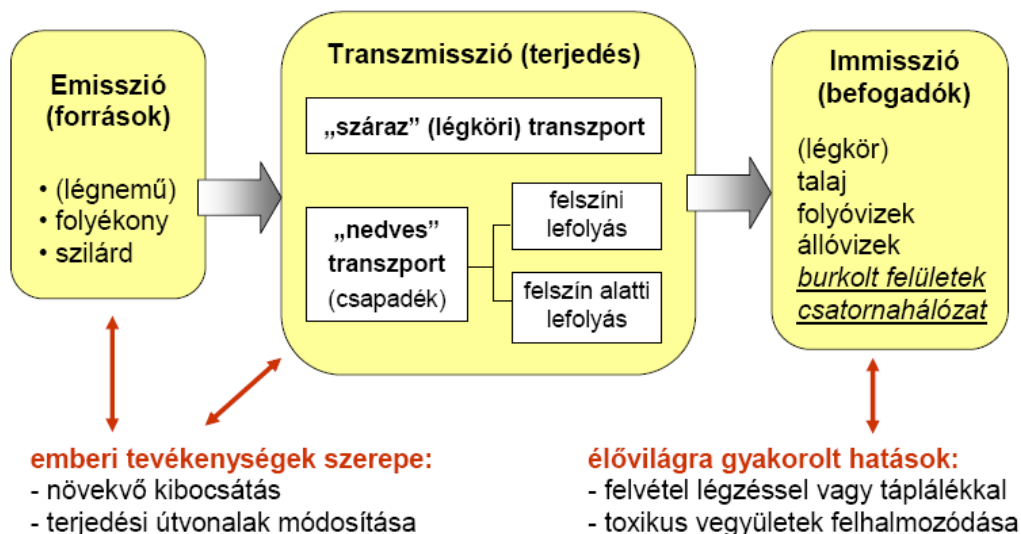
Közlekedési felületek szennyezőanyagai

Külső forrásként itt is meg lehet említeni a légköri kiülepedést, azonban a közvetlen kibocsátások sokkal jelentősebbek, ugyanakkor összetettebbek is. A nehézfémek lehetséges forrásaira például az alábbi mátrix ad áttekintést (4.1 ábra).

	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Sb	Fe	Ba	Ti	V	TPH	CN	Cl
fékbetét	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
gumiabroncs	✓		✓	✓								✓		
útburkolat	✓	✓	✓		✓	✓					✓	✓		
motorolaj	✓	✓	✓	✓	✓							✓		
égéstermék	✓	✓	✓	✓	✓	✓						✓		
karbantartás		✓											✓	✓
galvanizált felületek	✓	✓			✓	✓		✓						

4.1 ábra: Közlekedési felületek nehézfém szennyeződésének közvetlen forrásai (sárgával jelölve a kiemelt források)

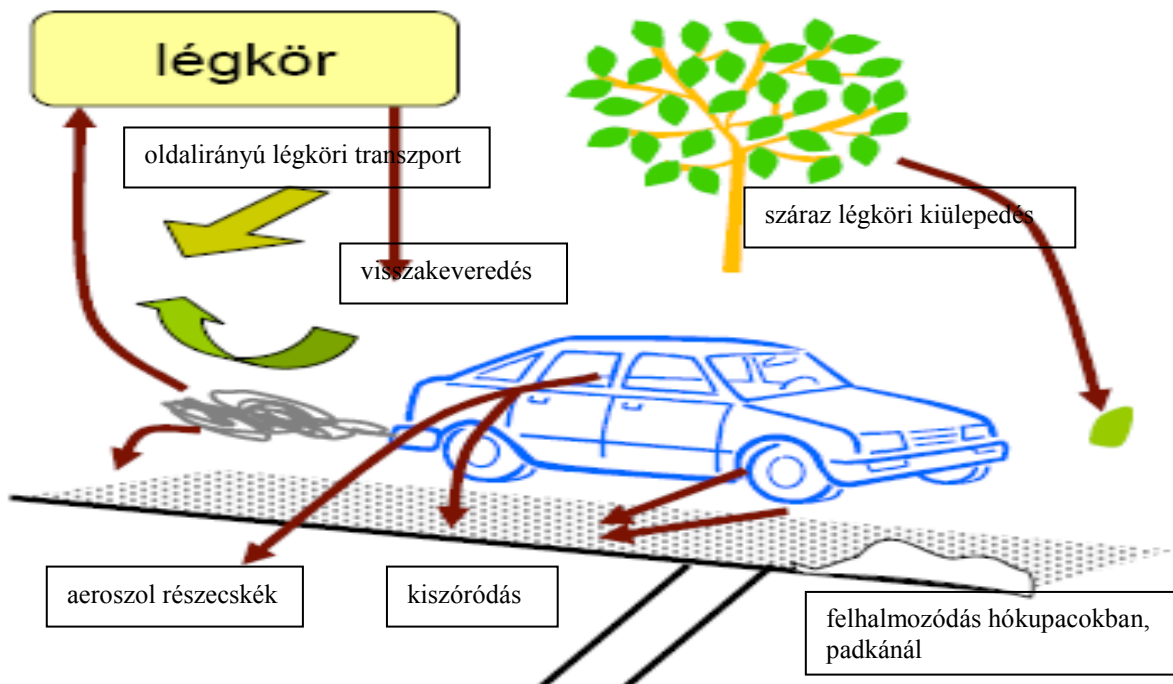
Szennyezőanyagok sorsa



4.2 ábra: A szennyezőanyagok sorsa

A 4.2 ábrán végigkövethetjük a települési felületek szennyezőanyagainak útját a kibocsátástól a befogadóiig. A jegyzet szűk keretei miatt az alábbiakban csak a kibocsátási és terjedési folyamatok leírására koncentrálnak. E folyamatokat az őket meghatározó két eltérő időjárási állapot esetében tárgyaljuk: száraz és csapadékos körülmények között.

Száraz időszakban lejátszódó folyamatok



4.3 ábra: Száraz időszakban lejátszódó transzportfolyamatok

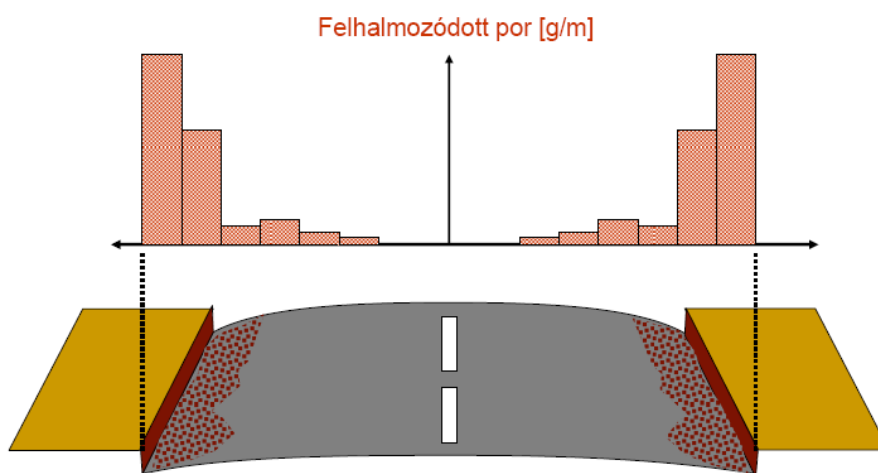
A szennyezőanyagok forrásai többek között a belső égésű motorok, futóművek működése (szilárd égéstermékek), a személtelés, a növényi hulladékok, korrózió, épített környezet mállása, közlekedés kopási folyamatai (fékbetét, gumibroncs, aszfalt) és a síkosságmentesítés (sók). Száraz időszakban a felületen felhalmozódott szennyezőanyagok transzmissziójában a szélnek, illetve a járművek menetszelének van jelentős hatása. A szilárd részecskék által megtett utat, illetve a kiüledésük sebességét a szemcseméretük, illetve a környezet beépítettsége befolyásolja. A szennyezőanyagok végül a légkörbe, a járművek karosszériájára, az útburkolatra, a talajba, felszíni vizekbe, tél idején a hóba kerülnek.

Az aeroszol részecskék egy része kibocsátását követően ütközés vagy turbulens ülepedés révén a járműhöz, illetve az útfelülethez tapad, ahonnan jellemzően csak később, csapadék általi lemosódással távozik.

Hasonlóképpen, az útburkolatra tapad a gumibroncs kopástermékek nagy része (nem csak az aeroszol részecskék).

A nehezebb, ülepedő

frakció mobilis hányada az útfelületre szóródik, és a járművek menetszele által okozott oldalirányú transzport révén fokozatosan az út széle felé vándorol. A 4.4-es ábrán látható az út keresztmetszete mentén felhalmozódott szilárd szemcsék eloszlása. A menetszél következtében a szennyezőanyagok 90%-a az útpadkától számított 1-1,5 m-en gyűlik össze. Az itt és a forgalom elől elzárt területeken felhalmozódott szennyezőanyag-koncentráció jellemzően néhány nap alatt beáll egy egyensúlyi szintre.



4.4 ábra: Szennyezőanyagok keresztmetszeti eloszlása

A szilárd anyagok felhalmozódására útpadka mentén Novotny és Olem 1994-ben egy félempirikus összefüggést írt le:

$$\frac{dP}{dt} = I - \alpha P$$

ahol:

P = az útpadka mellett felhalmozódott szemcsés anyag pillanatnyi mennyisége [g/m]

I = lineáris felhalmozódási ráta [g/m/nap]

α = eltávolítási együttható [nap⁻¹]

t = idő [nap]



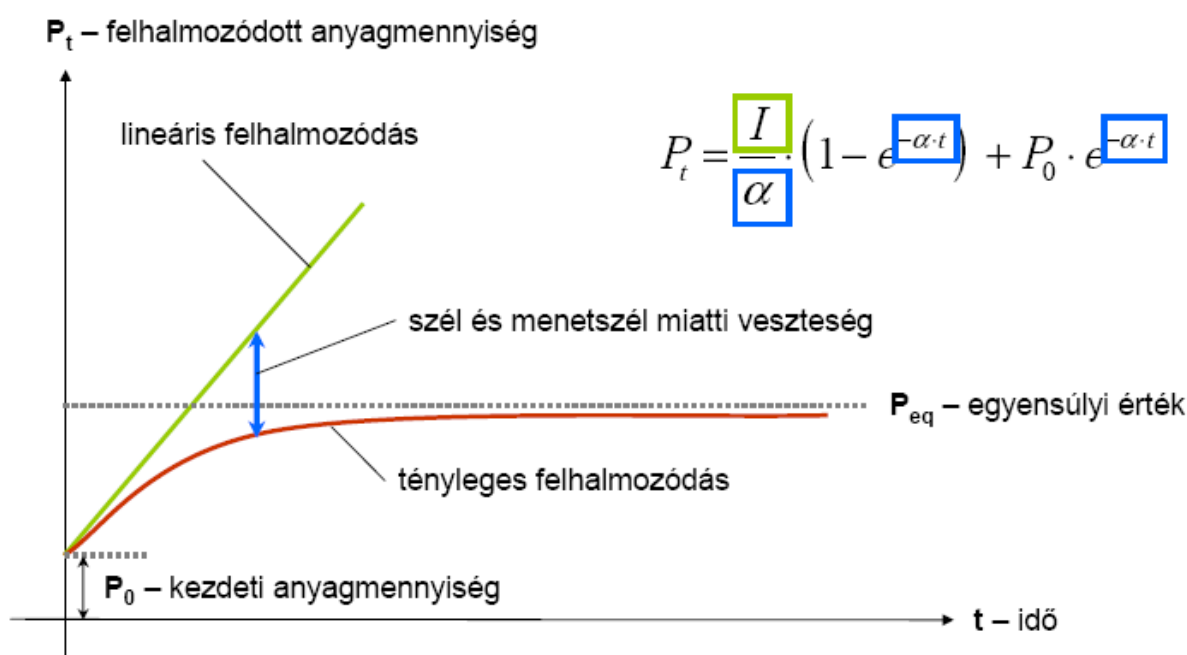
A fenti differenciálegyenlet integrálásával kapott, exponenciális tagokat tartalmazó felhalmozódási függvény az idő előre haladtával telítésbe hajlik, az egyensúlyi értéket (P_{eq}) – ami a lineáris felhalmozódási ráta és az eltávolítási együttható hányadosa – tipikusan néhány nap alatt éri el (6.5 ábra).

$$P_t = \frac{I}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + P_0 e^{-\alpha t}$$

ahol:

P_0 = kezdeti terhelés [g/m]

P_t = terhelés t idő elteltével [g/m]



4.5 ábra: A felhalmozódás leírásának koncepciója (Novotny és Olem, 1994 alapján)

A szennyezőanyag-eltávolítást reprezentáló ún. eltávolítási együtthatót a modell a járműforgalom és a szél sebességével, valamint a járdaszegély magasságával hozza összefüggésbe:

$$\alpha = a * f(v_{forgalom}, v_{szél}) * e^{-bH}$$

ahol:

$v_{forgalom}$ = a járműforgalom sebessége [km/h]

$v_{szél}$ = szélesebesség [km/h]

a, b = együtthatók [-]

H = a járdaszegély magassága [cm]

A megfelelő együtthatók és függvénykapcsolat kiválasztása mérési adatok elemzésével történhet. Novotny és Chesters (1981) a következő formát említi:



$$\alpha = 0,0116e^{-0,08H} * (v_{forgalom}, v_{szél})$$

Az eltávolítás (visszakeveredés, illetve burkolatlan felületre történő transzport) hatásfoka annál rosszabb, minél nagyobb részarányú és minél zártabb a burkolt felület: sűrűn beépített belvárosi környezetben a nullához közelít.

Az 4.1. és 4.2. táblázat (Budai, 2011) jellemző kibocsátás adatokat tartalmaz az útmenti por két jelentős forrására, ahol a lineáris felhalmozódási ráta a forgalom, a járműtípus, a dinamika és az útállapot függvénye. A 4.3. táblázat a gumiabroncsok futófelületeinek átlagos nehézfém-koncentrációiról ad tájékoztatást. Az értékek nagy szórása a rendkívül bonyolult összetételből, a statisztikai megközelítésből és a vizsgálatok nehézségéből fakad. A 4.4. táblázatban a másik jellemző forrásból, a fékbetétek kopásából származó fémkoncentrációk láthatók.

1. táblázat. Fajlagos fékkopás emissziók (mg/jármű-km).

Adatforrás	személyautók	kistehergépjárművek	tehergépjárművek
Legret és Pagotto (1999) ^a	20	29	47
Garg et al. (2000) ^b	11–17	29	-
Luhana et al. (2004) ^c	9 (2–21)	-	-
Westerlund K-G (2001)	17	-	84

^a Gyártó által megadott adatok alapján becsült értékek.

^b Fékbetétek élettartama, átlagos tömege és lekopó hányada alapján becsült érték.

^c Öt különböző személyautó használat során bekövetkezett fékbetét tömegvesztésének mért értékei.

2. táblázat. Gumiabroncs kopás emissziók könnyű járművek (személygépkocsik) esetén.

forrás	módszer	fajlagos abroncs kopás (mg/jármű-km)
Luhana et al. (2004)	mért	97
Kolioussis és Pouftis (2000)	mért	40
Sakai (1996)	mért	92 / 168 / 292 (óvatos / normál / agresszív vezetési stílus)
Councell et al. (2004)	becsült	100–200
Legret és Pagotto (1999)	becsült	68

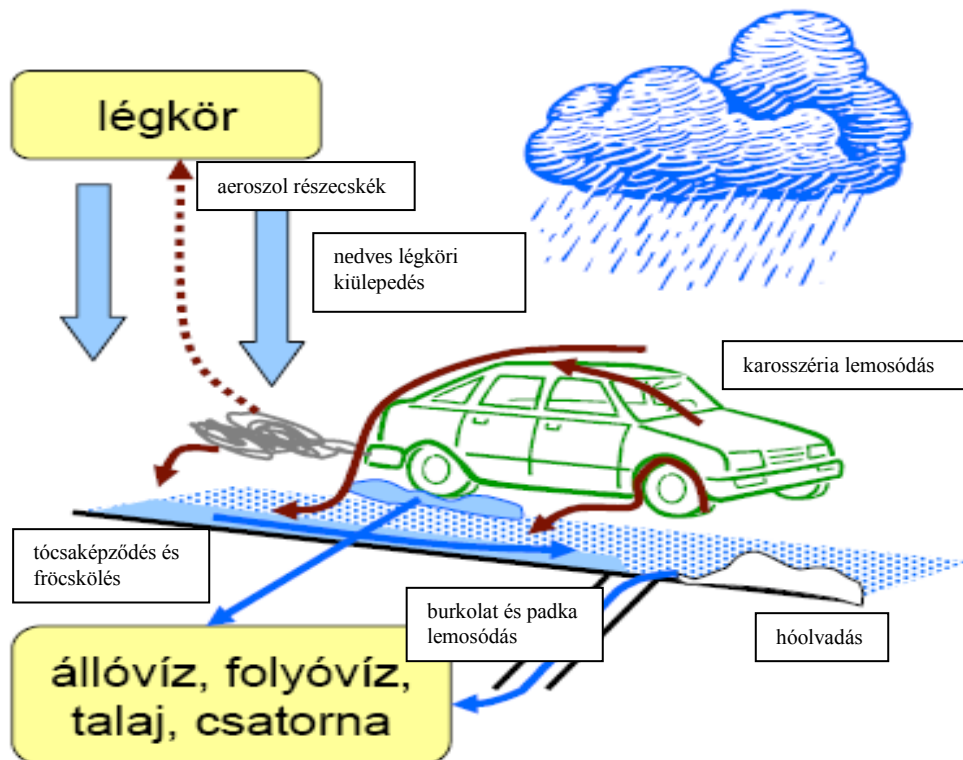
3. táblázat. Gumiabroncs futófelületek átlagos fém koncentrációi (mg/kg). Források: A - Hjortenkrans et al. (2007); B - Legret és Pagotto (1999); C - Davis et al. (2001); D - Ozaki et al. (2004); E - Councell et al. (2001); F - Kennedy és Gadd (2000).

abroncs típusa	forrás	mintaszám	Cu	Zn	Sb	Pb	Cd	Ni	Cr
újrafutóztott	A	8	7,4	12000	1,1	9,5	0,86	2,9	1,3
eredeti felület	A	44	8,6	9400	1	9,4	1,1	3,2	1,7
ismeretlen	B	?	1,8	10250	-	6,3	2,6	-	-
ismeretlen	C	4	5	3400	-	17	1	-	-
új	D	2	2	14800	-	12,3	2,3	1,5	0,9
használt, örölt	E	12	-	13417	-	-	3,2	-	-
személygk.	F	7	1	8470	0,1	2,75	0,24	2	0,5
kistehergk.	F	2	2	2415	<0,2	1,15	<0,1	<1	<1
tehergk.	F	2	1,75	16050	<1,3	6,45	0,42	<1	1,5

4. táblázat. Fékbetétek átlagos fém koncentrációi (mg/kg). Források: A - Hjortenkrans et al. (2007); B - Westerlund (2001); C - Legret és Pagotto (1999); D - Rauterberg-Wulff (1998); E - Ökotest (2002); F - von Uexküll et al. (2005).

fékbetét típusa	forrás	mintaszám	Cu	Zn	Sb	Pb	Cd	Ni	Cr
személygépkocsik									
első fék, eredeti	A	24	130000	27000	23000	120	1,2	-	-
hátsó fék, eredeti	A	24	130000	37000	11364	2900	4	-	-
első fék, utángyártott	A	10	200	5000	29	100	0,5	-	-
hátsó fék, utángyártott	A	10	110	4400	10	290	0,39	-	-
első fék, eredeti	B	24	117941	23830	-	9052	11,6	141	137
hátsó fék, eredeti	B	24	92198	16498	-	18655	8,02	69,6	73,4
első fék, utángyártott	B	10	71990	17696	-	13651	8,6	182	92
hátsó fék, utángyártott	B	10	51240	7197	-	9110	3,5	122	151
nem meghatározott	C	?	142000	21800	-	3900	2,7	-	-
tárcsafék	D	18	130000	16000	23000	-	-	-	-
tárcsafék	E	29	>100000	-	44321	8279	-	-	-
nehéz tehergépjárművek									
tárcsafék	F	3	20000	20000	43000	510	57	190	8700
dobfék	F	5	150	8100	1300	61	-	110	7400

Csapadékos időszakban lejátszódó folyamatok



4.6 ábra: Közúti közlekedés által kibocsátott részecskék csapadékos időszaki transzportfolyamatai

Csapadékos időszakban további források lépnek fel a száraz időszakban jellemzők mellett (ezek döntő része csak látszólagos forrás, hiszen a száraz időszakban bizonyos helyeken átmenetileg felhalmozódott szennyezőanyag mennyiségről van szó):

- nedves kiülepedés
- útburkolat lemosódás
- kerék és alváz lemosódás
- karosszéria lemosódás
- olvadó hó.

További terjedési utak jelennek meg:

- felszíni lefolyás
- fröcskölés, permetezés.

További befogadók:

- szennyvíztelep, talaj, folyó vagy állóvíz (gyakran művi).

A szilárd anyagok lemosódására szintén léteznek félempirikus leírások, melyek közül Sartor és Boyd (1972) egyenlete a következő:

$$\frac{dP}{dt} = -K_U * r * P$$

$$P_t = P_0 * (1 - e^{-K_U r t})$$



Az egyenlet módosított formája:

$$P_t = A * P_0 * (1 - e^{-K_U r t})$$

ahol:

P = a felszínen felhalmozódott szemcsés anyagok mennyisége [g/m]

K_U = városi lemosódási együttható [mm^{-1}]

r = eső intenzitása [mm/h]

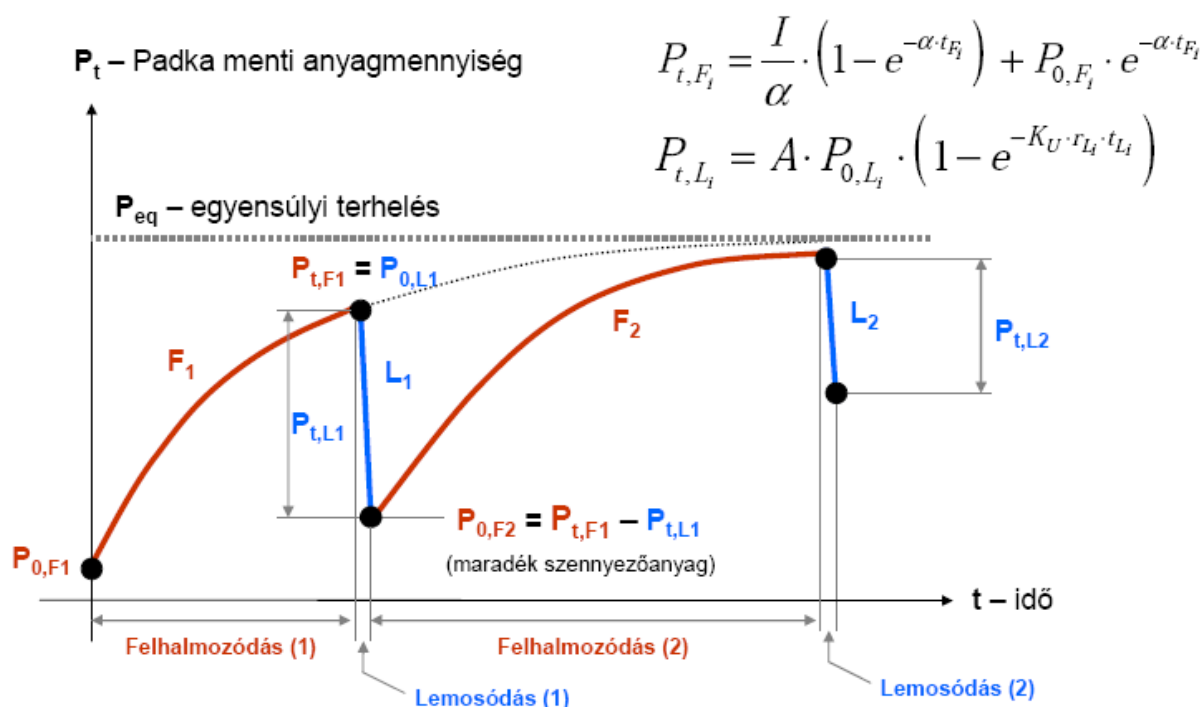
t = idő [h]

P_0 = a csapadékesemény kezdetén rendelkezésre álló szemcsés anyag mennyisége [g/m]

P_t = a csapadék által lemosott szemcsés anyag mennyisége [g/m]

A = elérhetőségi tényező (a csapadékesemény a rendelkezésre álló részecskék mekkora részét mossa le) [-].

A fenti egyenletek alapján szemléltethető egy adott helyszín szennyezőanyag-terhelésének időbeli változása, amiről leolvasható a csapadékesemény által lemosott mennyiség, valamint a csapadékesemények közötti száraz időszakban felhalmozódott mennyiség is (6.7 ábra).



4.7 ábra: A felhalmozódás és lemosódás hatása a szemcsés anyagok mennyiségére (Buzás és Somlyódy, 1997 alapján)

Szennyezőanyagok további sorsa a csapadékvíz lefolyásban

- fizikai transzport vízáramlás hatására (csapadék intenzitása, áramlás sebessége, részecskék fajsúlya, mérete)
 - szemcsék elsodrása és elgörgetése
 - ülepedés/felúszás



- kémiai folyamatok a lefolyásban (pH, redox potenciál, kontaktidő, telítési koncentráció, hőmérséklet)
 - adszorpció/deszorpció
 - oldódás/kicsapódás
- fizikai transzport gördülő kerekek hatására (forgalom nagysága és sebessége)
 - erőteljes nyomó- és szívóerők
- fizikai-kémiai folyamatok vízáteresztő felületeken (anyagok fiziko-kémiai minősége)
 - szűrés, adszorpció/deszorpció

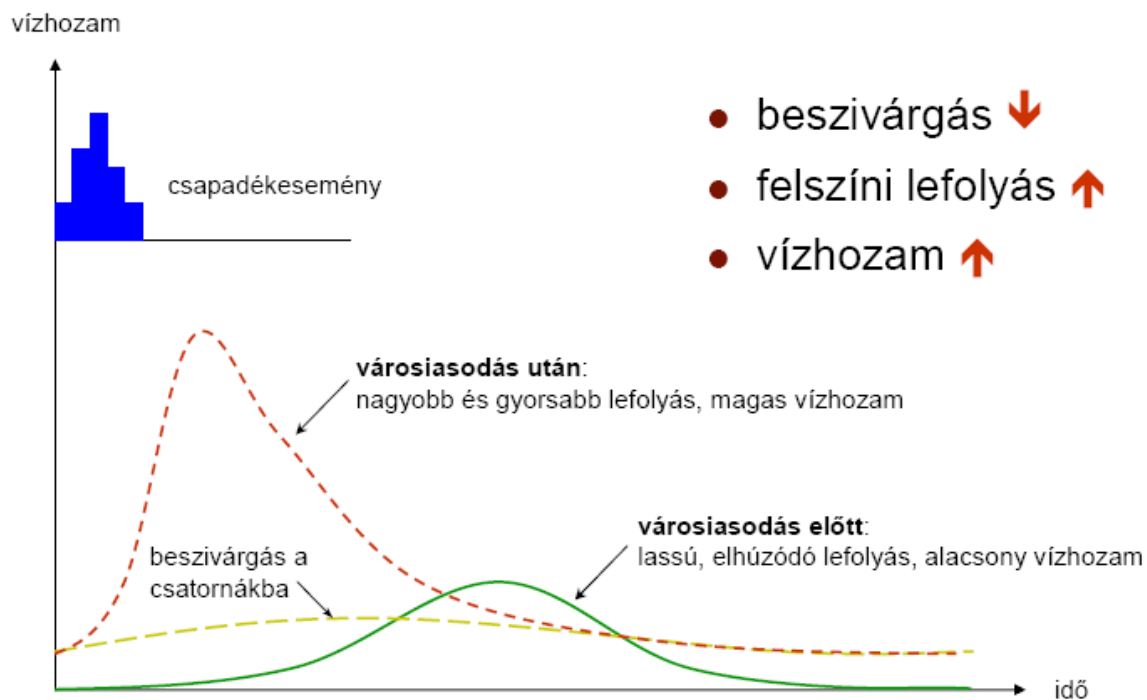
A csapadékesemény idején közlekedő járművek jelentős hatást gyakorolnak a szennyezőanyagok transzportjára, és ez által a csapadékvíz szennyezettségére. Az útfelület minősége is fontos tényező: nyári hőségben a bitumenes kötőanyagú burkolatok viszkózussá válása miatt nagy forgalommal terhelt utakon, illetve fékezési zónákban felületi egyenetlenségek alakulnak ki (nyomvályúk), melyek fokozottabb kopást eredményeznek (a velük érintkező gumibroncsok is), valamint további úthibák kialakulásának melegágyai lesznek. Fontos megegyezni, hogy a kátyúkban a szennyezőanyagok csapdázódnak, melyek onnan csak nehezen távoznak el később. A felület egyenetlenségeiben képződő lefolyástalan tócsák szintén jelentős mennyiségű szennyezőanyagot tartalmaznak, melyek a kiszáradás után visszamaradnak.

Burkolt felületek megnövekedett arányának hatása a lefolyásra

A 4.8 ábrán látható, hogy a városiasodás, azaz a burkolt felületek egyre növekvő aránya (4.5. táblázat) a felszíni lefolyás sebességét és vízhozamát is növeli. Ennek oka, hogy a burkolt felületek arányának növekedésével párhuzamosan csökkent a vízáteresztő felületek (pl. talaj, zöldterület) nagysága, így a lefolyási tényező is növekedett. Gayer 1990-ben egyenes arányossági összefüggést mutatott ki a budapesti volumetrikus lefolyási tényezők és a vízzáró felületi arány között. Ezzel a csatornahálózatra jutó terhelés is nő, és a klímaváltozással együtt járó extrém csapadékmennyiségek előfordulásának gyakoriságának változása összességében tovább rontja a helyzetet.

A terület jellege	Vízzáró felületi arány (R_f)
Falusi település	0,15 – 0,30
Családi házas városrész	0,20 – 0,40
Társasházias városrész	0,30 – 0,50
Tömbös lakótelep	0,40 – 0,70
Városmagterület, kereskedelmi övezet	0,60 – 0,90
Régi belváros, ipartelep	0,80 – 0,95

4.5. táblázat: Átlagos vízzáró felületi arányok településeken (Wisnovszky, 1975)



4.8 ábra: Burkolt felületek növekedésének hatásai

A lefolyáskor keletkező csúcsvízhozam meghatározásának legegyszerűbb (de nem pontos eredményt adó) módja a „racionális módszer” használata:

$$q_{cs} = C * I_r * A$$

ahol:

q_{cs} = felszíni lefolyás csúcsvízhozama [L/min]

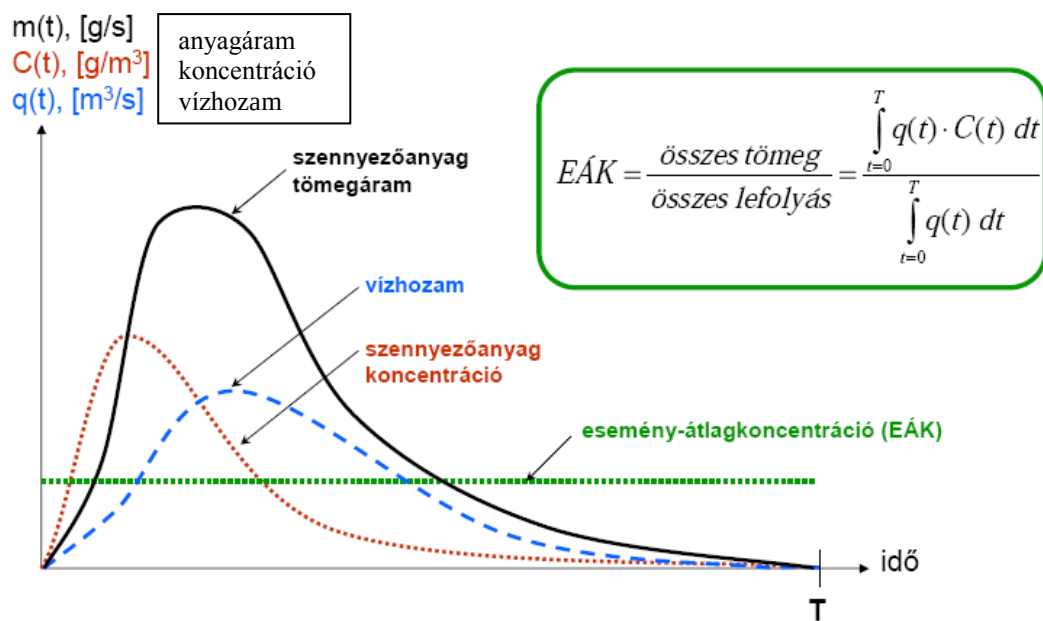
C = összegyülekezési idő alatti átlagos csapadékkintenzitás [mm/min]

I_r = lefolyási együttható [-]

A = vízgyűjtő területe [m²]

A „first flush” és az esemény-átlagkoncentráció fogalma

Ismert tény, hogy a burkolt felületekről lefolyó víz minősége a szilárd szemcsés formában lévő szennyezők esetén időben jellemzően nem egyenletes, hanem a csapadékesemény elején bekövetkező kezdeti lökészerű terhelés (ún. „first flush”) után csökkenő trendet mutat. Az így kialakuló szennyezőanyag-hullám csúcscsértéke jellemzően a lefolyás vízhozamának csúcscsértéke előtt jelentkezik (4.9 ábra). A „first flush” hullám megjelenése vízgyűjtőtulajdonságoktól (méret, burkoltság, hidraulikai viszonyok) függ, nagyobb területek esetén kevésbé markáns (Wanielista és Yousef, 1993). Számszerűsítésének a lefolyás tisztításánál van jelentősége, amennyiben a kezdeti, nagy szennyezőanyag-koncentrációjú árhullámrész leválasztása és a többitől való külön kezelése gazdasági előnyökkel jár a tisztító műtárgyak, berendezések méretezésénél. A lemosódó szennyezőanyag mennyiségének hosszabb távú becsléséhez célszerűbb a csapadékeseményre vonatkoztatott átlagos koncentráció, az ún. esemény-átlagkoncentráció használata. Ez egy számított érték, ami a csapadékesemény alatt lefolyt összes szennyezőanyag és a lefolyt víz mennyiségének hányadosa.



4.9 ábra: A „first flush” koncepciója

Összegzés: a városi csapadékvíz lefolyás szennyezettségét befolyásoló tényezők

- légszennyezettség mértéke
- beépítettség és átszellőzés
- csapadék intenzitása, mennyisége és pH értéke
- épített környezet (különösen a tetők) anyagösszetétele
- útburkolat anyaga (aszfalt/beton) és állapota
- járművek típusa (könnyű/nehéz) és állapota
- kopó járműalkatrészek, üzemanyag, kenőanyagok összetétele
- forgalom nagysága és dinamikája a csapadékesemény során, és az azt megelőző száraz időszakban
- az egyes tényezők fontossága szennyezőanyagonként eltér

Szennyezés megelőzési és eltávolítási lehetőségei

A lehetőségeket több szempont szerint is csoportosíthatjuk:

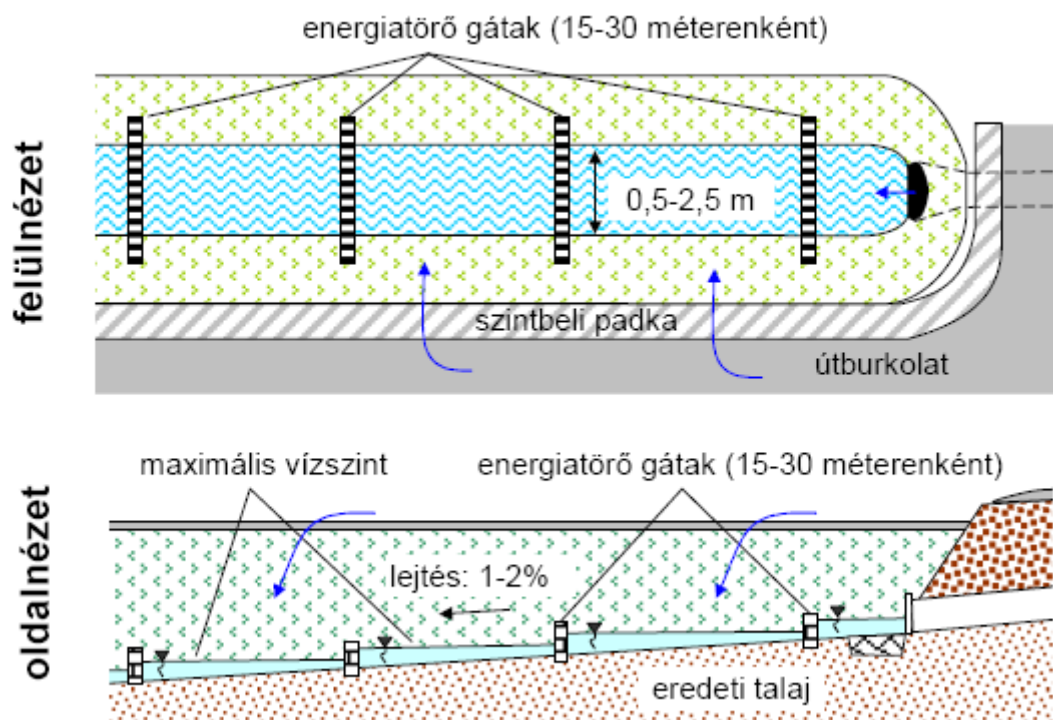
- beavatkozás helye szerint:
 - kibocsátás csökkentése (nem súrlódáson alapuló fékek)
 - terjedés akadályozása, késleltetése
 - környezetből való eltávolítás
- beavatkozás módja szerint:
 - műszaki megoldások (forgalomszervezés)
 - „nem-strukturális” intézkedések (megfontolt vezetési stílus)

A kibocsátás csökkentésének egyik lehetséges módja az alternatív fékrendszerek alkalmazása, melyeket részben már ma is használnak. Az ilyen rendszereknek a következő típusai léteznek:

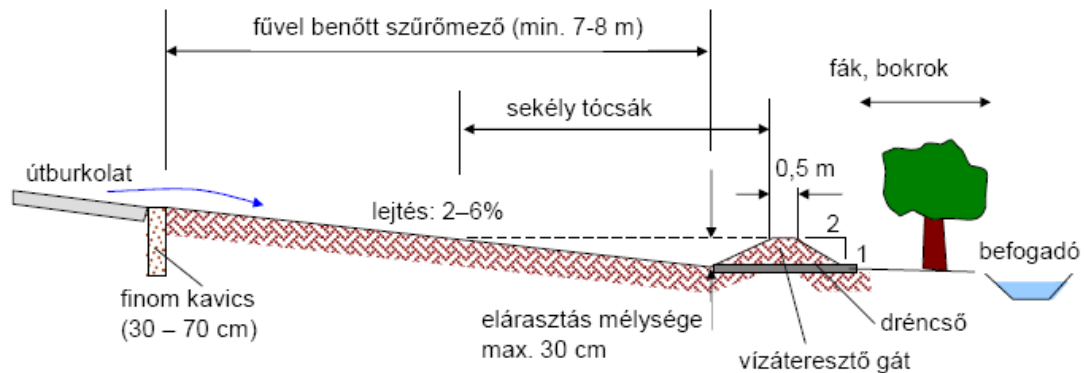
- motorfékek (motorfék, kipufogófék) → visszafojtás
- hidraulikus (hidrodinamikus) fékek → folyadék súrlódás
- örvényáramú fékek → elektromágneses ellenhatás

Ezen fékek legtöbbjének nagy hátránya, hogy egyrészt nem egyenletesen fejtik ki a fékező hatást, másrészt nagy méretűek és súlyúak, hűtést igényelnek, ami alkalmazásukat a hétköznapi egyszerűbb járművekben egyenlőre lehetetlenné teszi.

Az útfelületről lemosódó szennyezőanyagok befogadóba való jutásának megakadályozására többek között a füvesített vízelvezető árok alkalmazása nyújt lehetőséget. Az ilyen árok a szilárd halmazállapotú szennyeződések nagy részét képesek visszatartani, továbbá esztétikai szempontból is kedvezőek (4.10 ábra).



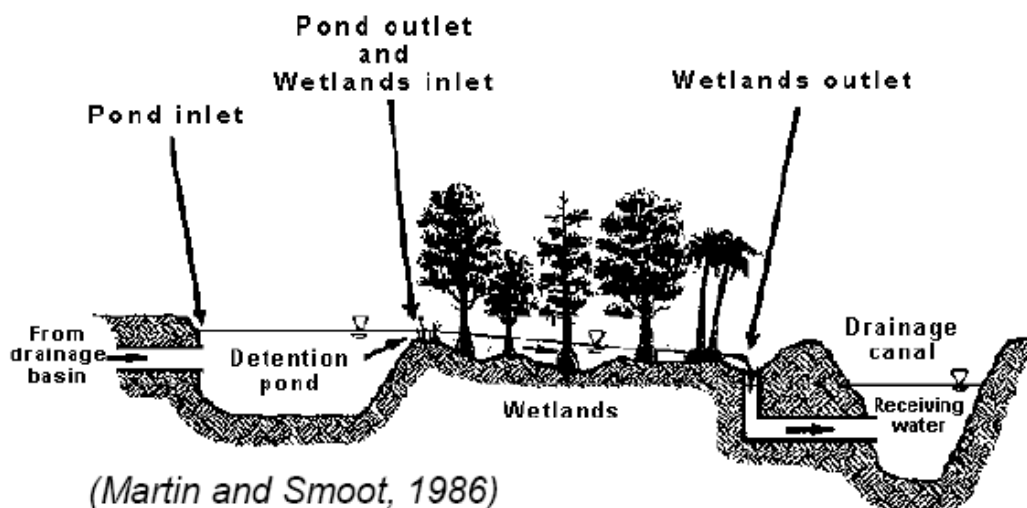
4. 10 ábra: Füvesített vízelvezető árok (Claytor és Schueler, 1996)



4.11 ábra: Pufferzóna kialakítása

Hasonló működési elvű, de eltérő kialakítású megoldást kínálnak a szennyezés terjedésének akadályozására a tározó-szikkasztó tavak (*constructed wetlands*). A tározókapacitás és a lassú átfolyási sebesség miatt elvileg hatékonyabbak az oldott szennyezők eltávolításában is, továbbá esztétikai szempontból kedvezőek szintén, azonban számos kérdést vetnek fel:

- hatékonyság a szakszerű üzemeltetéstől függ
- szezonális hatások
- közegészségügyi kérdések



4.12 ábra: Egy tározó-szikkasztó rendszer lehetséges felépítése (Martin és Smoot, 1986)

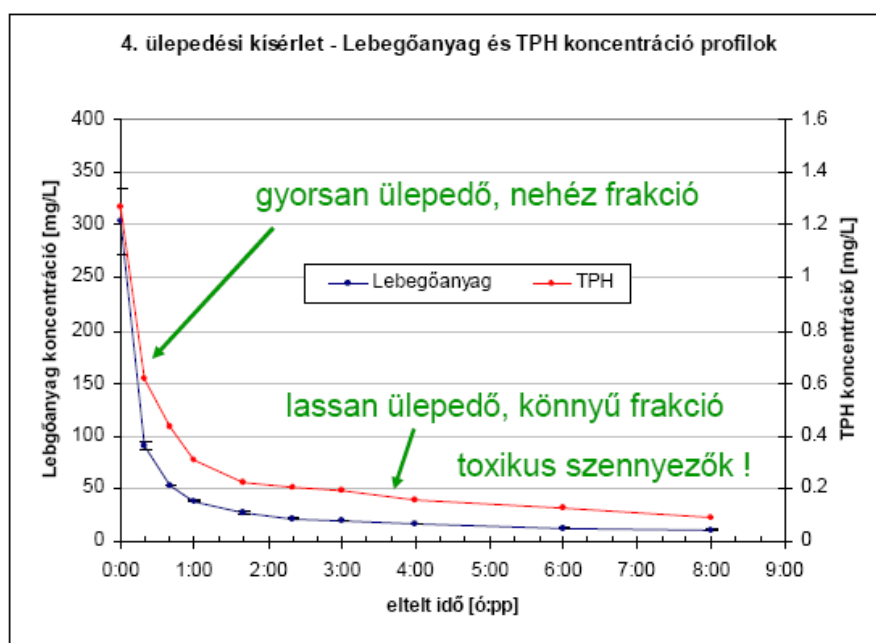


Útpályákról származó csapadékvíz lefolyás kezelése

Az útpályákról lefolyó csapadékvíz első hányada nagymértékben szennyezett, melyet, ha a lehetőségek adottak, tisztítani kell a befogadóba való beengedés előtt. A szilárd részecskék csapadékvíz lefolyásból történő eltávolítására két fizikai eljárás közül választhatunk:

- ülepítés (lefolyást csökkentő és késleltető vízelvezető rendszerek)
- szűrés

A szabad ülepítés azon alapul, hogy a könnyen ülepedő, nehéz frakciók viszonylag rövid idő alatt eltávolíthatók a rendszerből, szemben a lassan ülepedő, könnyű frakcióval. A módszer hatékony ugyan a szennyezőanyag tömegének csökkentésére, viszont a legproblémásabb szennyezők tekintetében lényegében hatástalan (4.13 ábra). Az ábrán látható eredmények támpontot adnak az ülepítőbeli szükséges tartózkodási idő meghatározására, mely a méretezés egyik fontos paramétere. Megjegyzendő, hogy az ülepítő tározók kedvező árhullám csillapító hatással is rendelkeznek amellet, hogy mechanikai tisztítási funkciót látnak el.

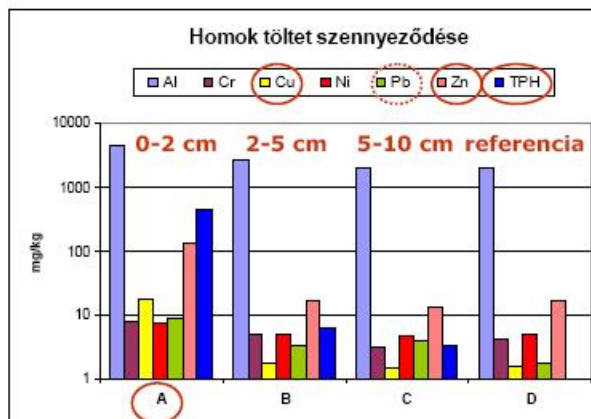


4.13 ábra: Ülepítés vizsgálata (Budai, 2008)

Szűrés esetében többféle töltet is szóba kerülhet (homok, perlit, tőzeg, valamint ezek keveréke). Beruházás és üzemeltetés szempontjából legegyszerűbb a homoktöltet alkalmazása, ami a szennyeződések nagy hányadát képes jelentősen csökkenteni. Hátránya a folyamat időigényessége, valamint a szűrőtöltet eltömődésének veszélye. Utóbbi miatt előülepítés javasolt a gyakorlati alkalmazás során.



	TPH mg/kg	T. PAH mg/kg	Al mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
A	447	0.474	4370	7.95	17.4	7.36	8.95	134
B	6.3	nd	2740	5.12	1.74	5.14	3.2	18.3
C	3.2	nd	2000	3.06	1.49	4.64	3.94	13.1
D	-	-	2040	4.24	1.57	5.04	1.83	18.9



4.14 ábra: Lefolyás szűrése homoktölteten (Budai, 2008)

Oldott anyagok esetében kémiai, ill. biológiai módszerek állnak rendelkezésre:

- adszorpció (felületi megkötés)
- kicsapás (vegyszeres)
- növényi felvétel

Konklúziók

- a kibocsátások csökkentése lenne a legjobb megoldás (nehézségek és realitások)
- fizikai, kémiai és biológiai megoldások kombinációja biztosítja a leghatékonyabb megoldást (helyigény, üzemeltetés kérdése)
- szinte minden esetben konkrét helyszínre szabott megoldásra van szükség (tervezés fontossága, külföldi tapasztalatok begyűjtése és értékelése)

Irodalom:

Buzás Kálmán, Budai Péter, Clement Adrienne, Horváth Adrienn: Települési csapadékvíz-gazdálkodás monográfia (Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék)



5. Talajszennyezés, talajtisztítás

A talaj fogalma

A talaj fogalmának meghatározásakor a különböző szemszögekből többféle definíció adható. Egyszerű megfogalmazásban a talaj a szilárd földkéreg laza, legfelső (átlagosan kb. 5 m vastag) termékeny – pedoszférának is nevezett – takarója, amelyben intenzív anyag- és energiacsere folyamatok mennek végbe növények, állatok és mikroorganizmusok által. A legáltalánosabb természettudományi meghatározás a talajképző folyamatokból indul ki, és a következő módon foglalható össze: a talaj olyan háromdimenziós test vagy képződmény a földkéreg legfelső szintjén, mely az anyakőzet, klíma, relief, élő szervezetek, emberi tevékenység és az időtényező kölcsönhatásának eredményeként keletkezett, tulajdonságaiban és minőségében eltér a kőzettől, saját levegője, vize és élővilága van, az élő és az élettelen természet határterületét jeleníti meg. Ezekből következően élő szervezetek nélkül nincs talaj, illetve élőlények élettelen környezetük nélkül talajt nem képezhetnek.

Környezeti szempontból a talaj fogalma tágabb, benne foglaltatik maga a táj is és beleértendő az egész mállott földkéreg porózus szerkezetű üledékes kőzetekkel és más permeábilis anyagokkal, az összes ásványi és szerves összetevővel, talajvízzel együtt. Az értelmezés kiterjed a nem természetes felszíni takaróra, az antropogén ráhordásokra, személtlerakók és gyártelepek töltéseire, rekultivációs meddőkre, termőföldre és nem termőföldre egyaránt. Az Európa Tanács 1990. évi jelentésében a következő hat ökológiai és emberi tevékenységhez kötődő talajfunkciót azonosították: biomassza termelési, szabályozó, biotóp-, fizikai közeg, nyersanyag-forrás és archív funkció. Ezen funkciók végesek, a talaj regeneratív képessége limitált, és elsősorban az ökológiai funkciók igen sérülékenyek és védelemre szorulnak. (Kádár, 1998)

Talajok képződése

A talajképzési folyamat hosszú, ezer években mérhető időskálán zajlik. A talajképződésben többféle mechanizmus vesz részt. Az egyik legfontosabb az üledékes, magmás és átalakult kőzetek fizikai mállása, amely erózió (hőmérsékletváltozás, fagy- és sórepszés, növényi gyökerek) általi szemcseméret-csökkenést (aprózódást) jelent. A kémiai mállás során a víznek van nagy szerepe: hatására az ásványok feloldódnak, anyagszerkezetük megváltozik (hidratáció, ásványok fellazulása, ionok kioldódása, kémiai szerkezet szétesése, talajkolloidok képződése, kristályosodás, másodlagos agyagásványok kialakulása). A biológiai folyamatok ásványosodást és humuszképződést eredményeznek. A talajszemcsék nagy fajlagos felületet alkotnak, ami megkönnyíti a kémiai folyamatok végbemenését.

A talajok összetétele

A talaj nem egységes és homogén képződmény, hanem háromfázisú polidiszperz rendszer, amely különböző átmérőjű elemi részekből: ásványi (homok, kavics, márga, agyag) és szerves (humusz) részekből áll, és ezek az elemi részek mikroaggregátumokká alakulhatnak. A talaj térfogatának kb. 50 %-a szilárd fázis (35 % ásványi rész, 15 % szerves anyag), a maradék víz és levegő (optimális esetben 40 % víz, 10 % levegő). A talaj teljes kémiai elemzése alapján megállapították, hogy a periódusos rendszer szinte valamennyi eleme megtalálható benne, de

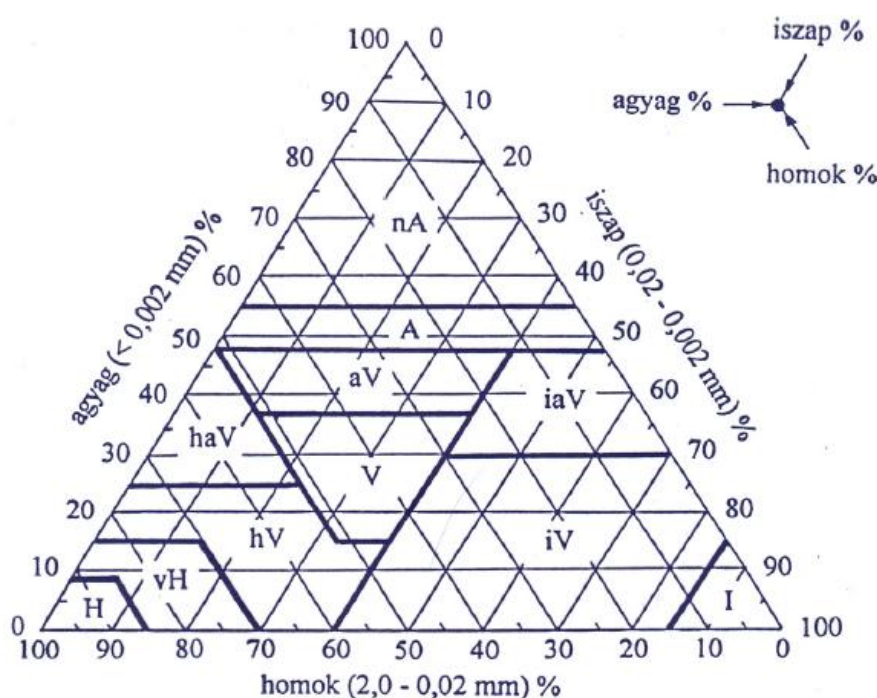


az egyes kémiai elemek relatív mennyisége az egyes talajtípusokban széles intervallumokban ingadozik. (Győri, 1997)

Főbb talajképző ásványok a kvarc, a csillámok (biotit, muszkovit), a földpátok (ortoklász, plagioklász), a piroxén, az amfiból és az olivin, valamint a mállás vagy újraképződés során keletkező (másodlagos) agyagásványok. Az agyagásványoknak – rétegszerkezetükből adódó nagy fajlagos felületük és kémiai konfigurációjuk révén – a szorpciós folyamatokban van jelentősége. A szerves komponensből adó humusz a talajban és a talajfelszínen felhalmozódó állati és növényi eredetű maradványokból biológiai lebontás során képződő humuszanyagok összessége. Ezek a nagy molekulájú, rosszul oldódó, meglehetősen stabil, nehezen bomló vegyületek a talaj termőképességéhez járulnak hozzá. Az agyagásványokkal adszorpció révén agyag-humusz komplexeket alkotnak (ez adja a talajok sötét színét).

Talajok fizikai félesége

A talajokat szemcseméret-eloszlásuk alapján az agyag, iszap és homok frakciók közül a két legnagyobb arányú alapján soroljuk osztályokba (5.1 ábra).



5.1 ábra: Talajtextúra meghatározása háromszög diagramban

Talajvíz, talajatmosfera

A talaj szilárd alkotórészei közötti üregeket és pórusokat levegő, illetve víz tölti ki. Ezek alapjaiban határozzák meg a transzportfolyamatokat. Telített talajnak nevezzük a kétfázisú (kvázi-légmentes), telítetlennek pedig a háromfázisú talajt. A talajoknak tehát fontos jellemzője a porozitás (hézagterfogat), amely a homok:márga:agyag arányok függvénye. A nagy agyagásvány tartalmú talajok nagy porozitásúak. Vízkapacitásnak a talaj vízmegkötő képességét nevezzük, amely a fizikai és kémiai minőségtől egyaránt függ. Homoktalajoknak



csekély, agyagtalajoknak azonban nagyon nagy is lehet a vízmegkötő képessége, amely számos építőmérnöki probléma forrása is egyben (süllyedések, roszakadások).

A talajszennyeződés problémája

Talajszennyezésnek minősül minden olyan káros terhelés, szerves vagy ásványi anyag illetve technológia, mely a talaj funkcióit veszélyezteti. Maga a talajszennyeződés az a folyamat, mely során a talaj természetes viszonyok között kialakult fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai jelentős mértékben kedvezőtlen irányban változnak meg.

5.1 táblázat: A talaj mint a szennyezés befogadója és közvetítője (Gruiz, Horváth, Kriston)

Szennyezőforrások, a szennyeződés felhalmozódása a talajban	A szennyezők további sorsa, a szennyezőanyag tartalom csökkenése a talajban
Háttérszennyezettség, pl. közet Légköri és víztérbeli kiülepedés Mezőgazdálkodás Ipari és bányászati tevékenység Közlekedés, üzemanyagok bomlása Legális és illegális hulladéklerakás	Gáz és por emisszió Talajvízbe, vízbázisokba és felszíni vizekbe jutás Táplálékláncba kerülés Immobilizáció, irreverzibilis kötődés a talajhoz Biológiai lebomlás

A különböző talajszennyezések hatása többoldalú: csökkentik, esetenként megszüntetik a talaj termékenységét; károsítják a növényzetet; a mezőgazdasági termékek közvetítésével egészségkárosító hatásúak; károsítják a rétegvizeket, felszíni vizeket. (Krisztián, 1998) A talajszennyeződés bekövetkezhet természetes és antropogén hatásokra, lehet pontszerű (kis területre kiterjedő) és nem pontszerű (nagyobb területre kiterjedő diffúz szennyeződés). (Simon, 1998)

A szennyező vegyületek legtöbbje fizikai, kémiai vagy biológiai hatásra elbomolhat, ártalmatlan végtermékeket, pl. széndioxidot és vizet képezve. Ha ez a bomlás azonos sebességű a talajba kerüléssel, egyensúly alakulhat ki, viszont ha a talaj saját bontó aktivitása nem tud megbirkózni a bekerülő szennyező mennyiséggel, akkor a szennyezők felhalmozódnak a talajban, így az szennyezetté válik és gondoskodnunk kell az ártalmatlanításáról. (Gruiz, Horváth, Kriston)

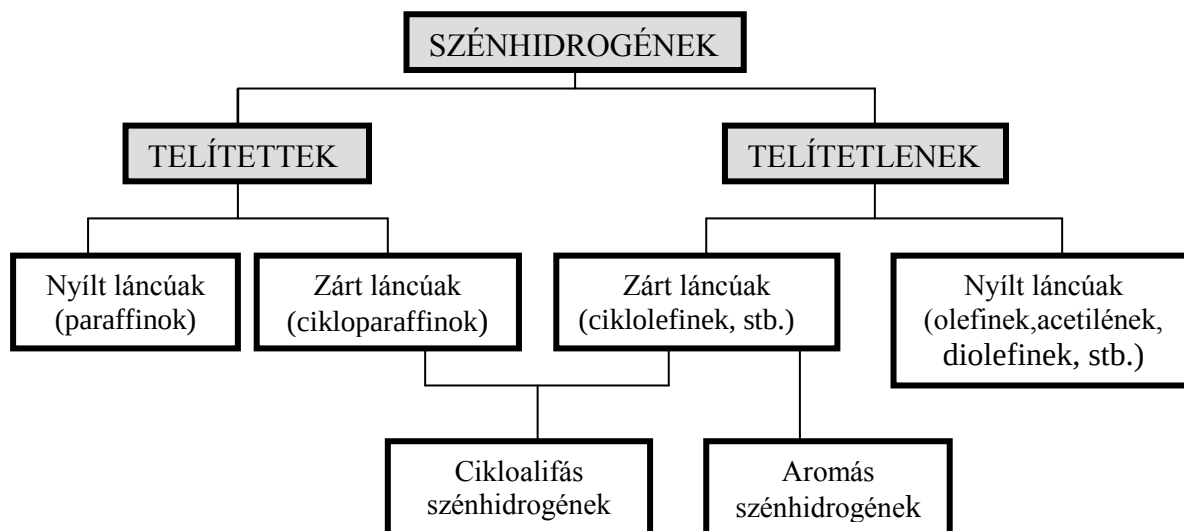
Szerves talajszennyező anyagok

A kőolaj és származékai

A kőolaj összetevői több ezerféle szénvegyületet alkotnak, amelyek nagy többsége cseppfolyós és abban oldott szilárd halmazállapotú, telített szénhidrogén, különböző forrásponttal. A kőolajat alkotó szénhidrogének szénatomjainak száma 1-4-től 60-ig változik, főként a következő vegyületeket képezve: paraffinok, naftének, aromás vegyületek, illetve kisebb arányban (0-50 g/kg) cikloparaffinok, olefinek, poliolefinek, cikloolefinek,



oxigéntartalmú vegyületek (fenolok, karbonsavak, karbonsavészterek stb.), kéntartalmú vegyületek (kén-hidrogén, tiofén és homológjai, merkaptánok, tioéterek, szulfonok) és nitrogéntartalmú vegyületek (piridin, kinolin és származékaik, porfirinvas vegyületek). (Simon, 1998; Makó, 1998)



5.2 ábra: Szénhidrogének rendszerezése (Hancsók, Lakatos, Valasek, 1998)

A kőolaj feldolgozásából származó szénhidrogén frakciókat összefoglalóan kőolajszármazékoknak nevezzük. A legfontosabbak a következők: üzemanyag a járművek és ipar számára, fűtőolajok, kenőolajok, petrokémiai és gyógyszerészeti alapanyagok, oldószerek. A legtöbb terméket üzemanyagként használjuk járművek működtetésére, elektromos áram termelésére és fűtésre.

A kőolajszármazékokban a szénhidrogének mellett kén, nitrogén és oxigén vegyületek, illetve számos adalékanyag található. Az üzemanyagok és egyéb kőolajtermékek komplex oldatok akár több száz vegyülettel, így például egy tipikus benzin keverékben több mint 100 különböző vegyület található.

Egyéb szerves szennyezők

A kőolajon és kőolajszármazékokon kívül a talajba egyre nagyobb mennyiségben kerülnek be egyéb szerves szennyeződések is, melyek a talajba jutva különböző hatásoknak vannak kitéve. Az adott anyag megkötődik a szerves és ásványi eredetű kolloidok felületén, kémiai reakcióba lép a különböző talajalkotó vegyületekkel, a mikroorganizmusok, illetve a tőlük függetlenül ható talajenzimek részben vagy teljesen lebontják, kimosódhat a mélyebb rétegekbe, elpárologhat vagy beépülhet a növényi szövetekbe. (Szegei, 1992) A legnagyobb veszélyt jelentő csoportot a klórozott szénhidrogének alkotják. A talajba kerülve hosszú időn át kimutathatók, mivel rendkívül perzisztensek. (Perzisztens szereknek azokat a vegyületeket nevezzük, amelyek a talajba vagy tápközegbe kerülve hosszú ideig fennmaradnak az eredeti állapotukban, vagyis nagyon lassan bomlanak le.) Az ide tartozó vegyületek többsége



bizonyos dózis felett veszélyes az élővilágra, mérgező, rákkeltő hatású, illetve egyes képviselői kísérletileg igazoltan mutagén tulajdonságúak, vagyis a bioszféra különböző komponenseiben genetikai változásokat okozhatnak. A lebomlásuk során keletkező köztes termékek gyakran toxikusabbak a kiindulási vegyületnél.

Poliklórozott bifenilek (PCB-k)

Természetes körülmények között a geo- és bioszférában nem fordulnak elő az e csoportba tartozó, változatos összetételű klórozott aromás vegyületek. A talajba a légkörből jutnak ipari centrumok körzetében, illetve kimutathatók a szennyvizekben és iszapjaikban is. A múltban nagyon széles körben alkalmazták kereskedelmi és fogyasztási termékek (pl. kondenzátorok, transzformátorok, hidraulikus folyadékok, textíliák, papír, lakkok, tinták, indigók, kenőolajok stb.) előállítására. Előfordulásuk lokális, a talajokban 0,05-0,1 mg/kg mennyiségben mutathatók ki. Lebomlásuk a talajban lassú, a mobilitásuk adszorbeált állapotban csekély, a gázfázisban levő gőz alakú vegyületei viszont mobilak. A vízdoldhatóságuk és toxicitásuk a klórozottság fokától függ. A PCB-k nagyon stabilak, nehezen bomlanak és a növényekbe jutva bekerülhetnek a táplálkozási láncba. Károsítják a májat és rákkeltő hatásuk sem kizárt. (Szegei, 1992)

Policiklikus aromás szénhidrogének (PAH-ok)

Természetes körülmények között a geo- és bioszférában csekély, néhány µg/kg-nyi mennyiségben fordulnak elő. Elsősorban a tökéletlen égés, kokszosítás, pirolízis során keletkeznek és gépkocsik kipufogógázai, ipari üzemek, kőolajleparlók, olajkályhák füstgázai tartalmazzák ezeket a vegyületeket. A talajba ülepedés útján vagy csapadékkal kerülnek be és elsősorban lokális jellegű szennyeződést okoznak, bár a füstgázok terjedése nagyobb területeket is szennyezhet. Ezek az anyagok a talajban megkötődnek a humusz kolloidok felületén, ami a felhalmozódásukhoz vezethet. A PAH vegyületek talajbeli perzisztenciája 2-16 év is lehet, kémiai felépítésüktől, vízdoldhatóságuktól és a talajtulajdonságoktól függően. Az ilyen szennyeződések eltávolítása igen nehéz lehet, mivel nem bontódnak le jól a mikrobiális tevékenység során és erősen adszorbeálódnak a talajrészecskékhez, különösen agyagok esetén. Az élő szervezetekbe kerülve mutagén, daganatkeltő és fejlődési rendellenességet okozó hatást fejthetnek ki. Legjelentősebb bizonyítottan karcinogén hatású képviselőjük a 3,4-benzo(a)pirén. (Szegei, 1992)

Klórozott dioxinok

Természetes körülmények között a talajban igen alacsony a koncentrációjuk. Bekerülésüknek forrásai egyes gyomirtó- és gombaölő hatású növényvédőszeres, szennyvíziszapok és légköri szennyeződés során a klórtartalmú szerves vegyületek elégetése. Nagyfokú perzisztenciával rendelkeznek, felezési idejük fél-egy évre tehető. Ezek a rendkívül veszélyes környezetszennyező vegyületek a talajból bekerülhetnek a növényekbe, ezáltal a táplálékláncba is. Daganatkeltő hatásuk állatokban bizonyított, emberben valószínűsíthető. (Szegei, 1992)

Pentaklór-fenolok (PCP-k)

A természetben eredetileg nem fordulnak elő, forásaik elsősorban növényvédő szerek, szennyvizek és bizonyos festékek. A talajbeli mobilitásuk jelentős, a felezési idejük 20-50 nap. Előfordulásuk lokális, a növények által felvett mennyiség nem jelentős és a



talajmikroorganizmusok nagy része rezisztens velük szemben. Daganatkeltő hatásukat nem állapították meg, de bőrkiütéseket okozhatnak és gyengítik az immunrendszert. (Szegei, 1992)

Hexaklór-benzol (HCB)

Elsősorban a kipufogógázból, ipari légszennyeződések következtében, műanyagtartalmú hulladékok égetése során kerül a légterbe, majd onnan a talajokba, valamint egyes származékai a múltban a vegyszeres növényvédelemben széles körben hasznosítva okozhattak szennyezéseket. A talajból lokálisan mutatható ki, különösen az üledékekben és iszapokban jellemző a feldúsulása. Perzisztenciája elérheti a két évet is. A növények felvételével bekerülhet a táplálékláncba, ahol állatsejteknél bizonyított karcinogén hatása által fejt ki veszélyeztetést. (Szegei, 1992)

Felületaktív anyagok

Felületaktív anyagoknak (detergenseknek) nevezzük a különböző mosó-, tisztító-, nedvesítő-, emulgeáló-, diszpergálószerket és habképző anyagokat. Ezek az anyagok a talajba kerülve önmagukban nem veszélyesek és nagy részük könnyen lebomlik, de elősegíthetik a többgyűrűs aromás szénhidrogének, és más mikroszennyezőanyagok, illetve az oldatlan nehézfémek táplálékláncba kerülését. A vízben viszont sokáig szennyező, makacs szennyeződést okozhatnak, és az emberi szervezetre is egészségkárosító hatással lehetnek. (Simon, 1998)

Növényvédő szerek (pesticidek)

A mezőgazdasági termelés során, a növényről vagy növényi részekből kerülnek a talajba. Nagy részük nehezen lebomló, perzisztens vegyület. A talajban végbemenő bonyolult kémiai, fiziko-kémiai, mikrobiológiai átalakulási folyamatok során a kiindulási vegyületnél toxikusabb anyagok is keletkezhetnek. Az átalakulás lelassulhat vagy leállhat szélsőségesen savanyú vagy lúgos talajokban, viszont a talajok öntözésével gyorsabbá válhat a lebomlásuk.

A szerves talajszennyező anyagok fizikai tulajdonságai

Vízoldhatóság

A kőolaj és származékai gyakran jelentős talaj- vagy felszíni vízszennyezés forrásai, annak ellenére, hogy vízoldhatóságuk egyéb folyadékokhoz viszonyítva igen alacsony. A kőolajszármazékokat alkotó szénhidrogének vízoldhatósága széles határok között változhat (5.2. táblázat), függ a molekulatölemtől (a szénatomszám csökkenésével nő), hőmérséklettől és a telítettségtől. Az olajszármazékok közül a benzin oldódik a legjobban vízben.

5.2 táblázat: A különféle szénhidrogéncsoportok vízoldhatósága (Makó, 1998)

Szénhidrogén vegyületcsoport	Oldhatóság 20 °C-on (mg/l)
Aromások	50-1800
Diolfinek	50-800
Olfinek	2-200
Naftének	8-160
Paraffinok	1-60



Viszkozitás

A szerves folyadékok abszolút vagy dinamikai viszkozitása általában nő a növekvő molekulamérettel, a molekulák összetettségével és a polaritással, de csökken a hőmérséklet emelkedésével vagy a halogénezettség fokának növekedésével. Általában az alacsonyabb kinematikai viszkozitású folyadékok talajokba szivárgása gyorsabb, így a benzinfélék és az aromás hígítószerke a víznél gyorsabban, viszont a gázolaj, kerozin és más viszkózusabb olajok a víznél lassabban szivárognak a felszín alatti talajrétegekben.

Illékonyság

A szennyezett területek felderítésében jelentős segítség a kőolajszármazékok illékonysága, hiszen a talaj- és talajvíz-mintákban érzékszervi úton már igen kis koncentrációjú szénhidrogén jelenléte is kimutatható. (Az illékonyság érzékszervi jellemzője a szennyeződés szaga: a benzin szagát az 5-9 szénatomszámú szénhidrogének adják, a 10-12 szénatomszámú szénhidrogének petróleumszagúak, míg a kis szénatomszámú aromás oldószereknek édeskés "aromás" illatuk van.) Az illékonyság nő a szénhidrogénszám csökkenésével: gázolaj <kerozin <benzin; xilol <toluol <benzol.

Lebonthatóság

A kőolajszármazékokra fizikai, kémiai és mikrobiológiai degradációs folyamatok hatnak. A kémiai és mikrobiológiai lebontás lényege a paraffinláncok szétdarabolása, a könnyebb végződés eltávolítása és a maradék frakciók oxidálása. A mikrobiális lebontásra érzékenyek a paraffinok, a naftének és az aromás alkotók. A biológiai lebontási folyamatok során a szénhidrogének alkoholokká, ketonokká és savakká oxidálódnak különböző gombák és baktériumok tevékenysége nyomán. A kis szénatomszámú molekulák ($C < 20$) oxidációs hajlama nagyobb, mint a nagyobb szénatomszámúaké. Az azonos molekulatömegű vegyületek közül a normál paraffinok oxidálódnak a legkönnyebben, majd az izoparaffinok, a naftének, az aromások és végül a policiklusos aromás vegyületek következnek. (Makó, 1998)

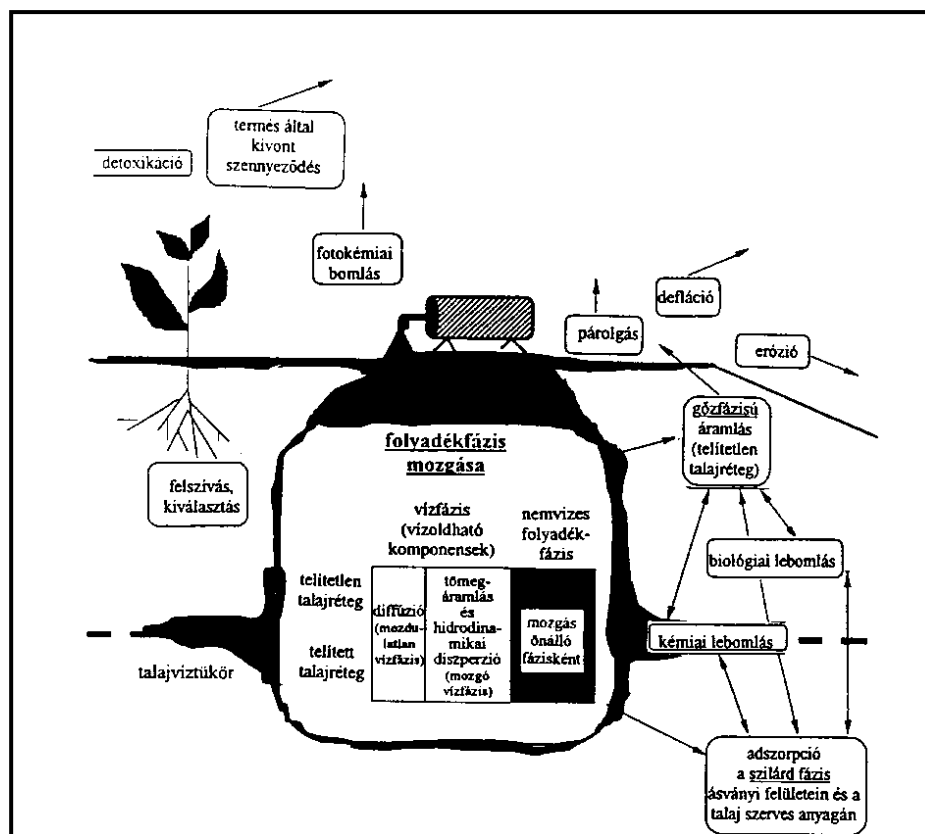
5.3 táblázat: Telítetlen talajrétegek kerozinviszartartó képessége (Berecz, 1996)

Talajfajta	Kerozinviszartartó képesség (l/m^3)
Durva kavics-kavics	5
Kavics-durva homok	8
Durva homok-közepes szemcseméretű homok	15
Közepes szemcseméretű homok-finom homok	25
Finom homok-hordalék	40

A különböző szénhidrogén-származékokra és alkotó vegyületekre a következő szállítódási és átalakulási folyamatok hatnak, egymást elősegítve vagy éppen gátolva:

- Felszíni elfolyás önálló folyadékfázisban oldott vagy a szilárd részecskék felületén adszorbeált formában (eróziós talajszennyezések);
- Deflációs vándorlás adszorbeált állapotban;

- A talajfelszínre jutó, még be nem szivárgott, illetve a felszín alatti talajrétegekbe beszivárgott, de a talajfelszínnel a pórusokon keresztül kapcsolatot tartó szennyeződések párolgása a környező légtérbe;
- Szorpciós és deszorpciós folyamatok az agyagásványok, egyéb ásványi felületek (oxihidroxidok), illetve a talaj élő és holt szerves anyagai közreműködésével;
- A gázfázis, a vizes fázis és a szénhidrogénfázis között az egyes vegyületekre külön-külön kialakuló egyensúlyi megoszlások;
- Gőzfázisú diffúziós áramlások a vízzel telítetlen talajrétegek pórusrendszerében;
- A vízfázisba beoldódó komponensek szállítódása a hidrodinamikai transzportfolyamatok révén;
- Nemvizes fázisú folyadékáramlások;
- Felszívás, kiválasztás, illetve visszatartás a termésekben és növénymaradványokban;
- Degradációs folyamatok, mint az alkotó vegyületek mikrobiológiai lebontása, kémiai bomlása és a felszín közeli talajrétegekben esetlegesen lejátszódó fotokémiai reakciók



5.3 ábra: A kőolajszármazékok sorsa a talajokban (Makó, 1998)

Talajszennyezés vizsgálata, talajtisztítás

A szennyezett talajterek feltárása és remediálása igen komplex, többlépcsős feladat. Ahogy az alábbiakból ki fog derülni, maga a tisztítási technológia megvalósítása, kivitelezése csak egy



pontja a teljes folyamatnak; a talajtisztítás sikerességét számos lényeges tényező befolyásolja. A szennyezett terület ártalmatlanításának megoldásához ismernünk kell a terület kiterjedését és azt, hogy a szennyeződés mekkora veszélyt jelent. Ehhez a szennyezők és az adott terület részletes vizsgálata szükséges. A tényleges talajremediációs eljárások bemutatása előtt tehát célszerű áttekinteni ezen megelőző folyamatok és vizsgálatok néhány fontos elemét.

A környezeti veszély felmérése és a teendők sorrendje

A munka során a következő egymásra épülő feladatok különíthetők el:

- I. Feltárás (a szennyezés, ill. károsodás tényének megállapítása).
 1. Felderítés az előzetes információk, bejelentések és adatok alapján.
 2. Tényfeltárás további vizsgálatokra épülve, a szennyezés mértékének és kiterjedésének pontos meghatározása kárbecsléssel, kárfelméréssel, kockázatbecsléssel.
- II. Veszélyelhárítás (azonnali elhárítás, kárenyhítés vagy ütemezett megelőzés).
 1. Kármegelőzés a további károkozás megakadályozásával.
 2. Kárenyhítés a károsodás részleges elhárításával.
 3. Kárfelszámolás a károsodott elem megtisztításával, teljes kármentesítéssel.
- III. Utóellenőrzés a beavatkozás eredményességének megállapítására.
 1. Kontrollvizsgálatok, megfigyelőhálózat (monitoring rendszer) működtetése.
 2. Területhasználati korlátok, gazdálkodás ellenőrzése. (Kádár, 1998)

Az elvégzendő feladatok az alábbiakban bemutatott sorrend szerint követik egymást:

1. Tájékozódó vizsgálatok; a szennyezett terület azonosítása, behatárolása.
 2. A terület technikai dokumentálása régi dokumentumok, térképek, illetve időben egymást követő légifelvételek és térképek alapján, a korábbi, szennyezés előtti és az aktuális helyzet megítélésének megkönnyítésére.
 3. Mintavételi terv és vizsgálati stratégia elkészítése
 - 3.1 Részleges felmérés: geológiai, hidrogeológiai vizsgálatok; talajvíz, talajtípus stb.
 - 3.2 Részletes vizsgálat: több szakaszban (pl. 3 lépcsős felmérés esetén screenelés, vagyis a lényeges szempontok rögzítése, a problémát okozó vegyületek analízise és részletes vizsgálatok)
- A részletes vizsgálatoknak ki kell terjedniük a következőkre:
- geológiai és hidrogeológiai jellegzetességek,
 - geokémiai jellemzők,
 - szerkezeti talajanalízis,
 - kémiai analízis: szénhidrogének, klórozott vegyületek, poliaromás szénhidrogének, nehézfémek stb. mérése,
 - biológiai, ökotoxikológiai vizsgálatok, kockázatbecslés.
4. Eredmények összefoglalása és értékelése.
 5. A veszély felbecslése, a lehetséges megoldások és a fontossági sorrend megállapítása a következők figyelembevételével:
 - a szennyezett terület szennyezőkibocsátása,
 - a szennyezett terület kiterjedése,
 - a terület tervezett újrahasznosítása.



6. A terület remediálása:

6.1 A lehetőségek meghatározása és mérlegelése

6.2 Laboratóriumi és félüzemi kísérletek az eljárás hatékonyságának tesztelésére

6.3 A technológia megtervezése

6.4 A technológia kivitelezése

7. A tisztított terület ellenőrzése, monitoringja. (Gruiz, Horváth, Kriston)

Fontos megemlíteni, hogy a talajtisztítási, kármentesítési beavatkozások hatékonyságát limitáló láncszem általában elfogadottan a talajmintavétel, illetve az adatok értelmezése terén a hiányos kalibráltság, a bizonytalan határértékek. A hibás döntésnek több negatív hatása lehet:

- Bizonyos helyeken indokolatlan túltisztítás történhet, rendkívüli költségekkel;
- Más területeken elmarad a szükséges beavatkozás és állandósul a vészhelyzet;
- A kárenyhítésre szánt területek prioritási sora nem érvényesül hosszú távon;
- Hibás kockázatfelmérés nyomán a célszerű kárenyhítés nem tervezhető. (Kádár, 1998)

Határértékek

Egy adott helyen vett talajminták analitikai eredményeinek kiértékelése során összehasonlítási adatokként a megállapított határértékek szolgálnak. A határértékek segítséget nyújtanak a talajszennyeződés mértékének megítéléséhez és a szennyezett területek kármentesítéséhez de hangsúlyozni kell, hogy a határértékek nem alkalmazhatók sablonosan a helyi viszonyok ismerete nélkül. A szennyezett talajok minősítésére elterjedt a hármass, A, B, C minősítési rendszer, mely kiegészül a mindenkori hasznosítási, érzékenységi kritériumokkal. A gyakran hivatkozott holland lista szintén három értéket tartalmaz:

- "A" minőség: a szennyezetlen talajt jellemzi; ezen érték alatt a talaj tisztának tekinthető a vizsgált anyagra vonatkozóan
- "B" minőség: a még tűrhető mértékben terhelt, kissé szennyezett talajt jellemzi; ez az érték még nem okoz kárt az élőlényekben, de a talajhasználat már korlátozott, és a talaj nem képes valamennyi funkcióját ellátni
- "C" minőség: beavatkozási határérték; ezen érték elérésénél azonnal részletes vizsgálatokat kell végezni és a talajszennyeződés megszüntetésére alkalmas kármentesítési eljárást kell kiválasztani. (Simon, 1998)

A magyar szabályozásban az Európa Tanács szakbizottságának ajánlása iránymutatást adott a holland lista adaptálására, de a hazai adottságok kissé bonyolultabb és az értékeket kevésbé rugalmasan kezelő szabályozást kívántak. Ezért a magyar szabályozásra a holland és a berlini lista összedolgozásával született javaslat, amelynek lényege a következő:

- A érték: háttér-koncentráció; a tiszta talaj vagy felszín alatti víz anyagtartalma átlagos magyarországi viszonyok között (nem tartalmazva a természetes és mesterséges anyagdúsulásokat, szennyeződések), szerepe a tájékoztatás annak érdekében, hogy a mért koncentrációt legalább egy szempontból azonnal minősíteni lehessen.



- B érték: szennyezettségi határérték; valódi határérték, amely koncentrációig a környezeti elem terhelése nem jár nagy kockázattal; meghatározásánál a talaj esetében a multifunkcionalitás, a felszín alatti víznél pedig az ivóvíz előállítására való alkalmasság fenntartása volt az irányadó szempont.
- C_i érték: intézkedési érték; ennél nagyobb koncentráció esetén a kockázat elviselhetetlenül nagy, és alapos gyanú van arra, hogy a környezeti elem károsodottnak, vagyis beavatkozás nélkül helyreállíthatatlannak tekinthető; az érték meghaladása kivizsgálási kötelezettséget, nem feltétlenül a műszaki kármentesítés szükségességét jelzi, illetve ha a körülmények indokolják, az intézkedéseket kisebb koncentráció esetében is lehet kezdeményezni. A határérték változhat a terület érzékenységtől függően, így C_1 a fokozottan érzékeny, C_2 az érzékeny és C_3 a kevésbé érzékeny területek intézkedési értéke.
- D érték: kármentesítési határérték; konkrét értéke a terület érzékenységet, a területhasználatot stb. figyelembe vevő helyspecifikus kockázatfelméréssel határozható meg és csak egy konkrét esetre értelmezhető (Ötvös, 1998)

A határértékeken kívül a rendszer nyújt még egy, nem számszerű értékű megjelenő információt, a K minősítést, ami a célállapot elérése, a szennyező anyag veszélyességének megítélése szempontjából fontos. A minősítés a szennyező anyagokat két csoportba osztja, K_1 a fokozottan kockázatos anyagokat, K_2 a kockázatos anyagokat jelöli. (Ötvös, 1998)

5.4 táblázat: Hazai szabályozás határértékei

Anyag	A	B	C_1	C_2	C_3	K
Összes alifás szénhidrogén (TPH) – földtani közegre	50	100	300	3000	5000	K_1
Összes alifás szénhidrogén (TPH) – felszín alatti vizekre	50	100	500	1000	2000	K_1

A talajszennyezés továbbterjedését megakadályozó eljárások

A lokalizációs, vagyis a szennyeződések terjedését megakadályozó eljárások esetén alapvetően két elvet különböztetünk meg: a horizontális és vertikális árnyékolás módszerét.

Felszíni takarást abban az esetben alkalmazunk, ha szeretnénk megakadályozni a gravitáció hatására lassan lefelé húzódó olajtestnek a leszivárgó vízzel való érintkezését, vagy ha az olajtest lehúzódnása illetve mesterséges eltávolítása után ki akarjuk zárni a leszivárgó csapadékvíz oldható komponenseket mobilizáló hatását. A felületi takarást legegyszerűbben műanyag fólia vagy műanyag lap használatával valósíthatjuk meg, de ez csak rövidtávú alkalmazási lehetőséget ad. Biztonságosabb megoldás az összefüggő bitumen membrán kialakítása. Végleges megoldásként alkalmazható az agyag vagy bentonit réteg, ami igen gazdaságos, ha a közelben agyagnyerő lehetőség van, illetve a betonréteg, ami különösen akkor előnyös, ha a terület későbbi felhasználásához ilyen felületre van szükség. Alkalmazhatjuk a felsorolt anyagok kombinációját, többretegű szigetelést kialakítva.

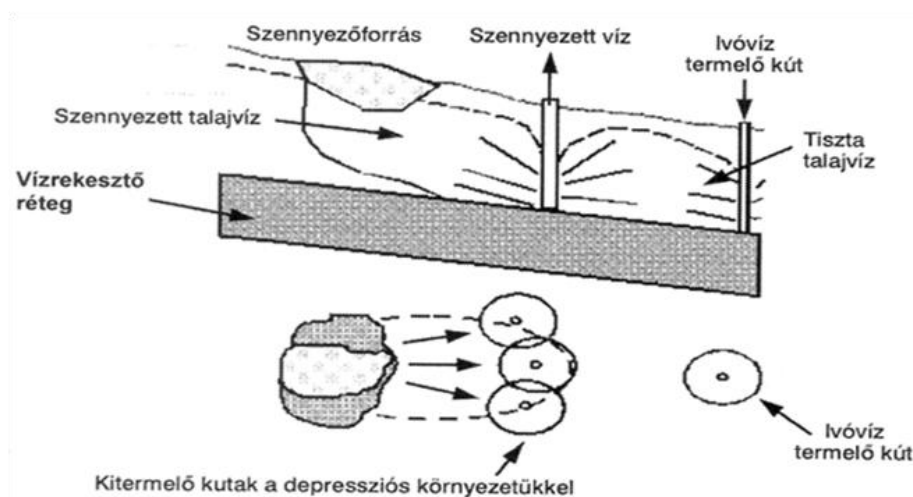


Szennyeződés alatti árnyékolás lehet célszerű abban az esetben, ha az olajlencse át nem eresztő réteg felett megáll. Ilyenkor talptömörítés szükséges gél injektálással.

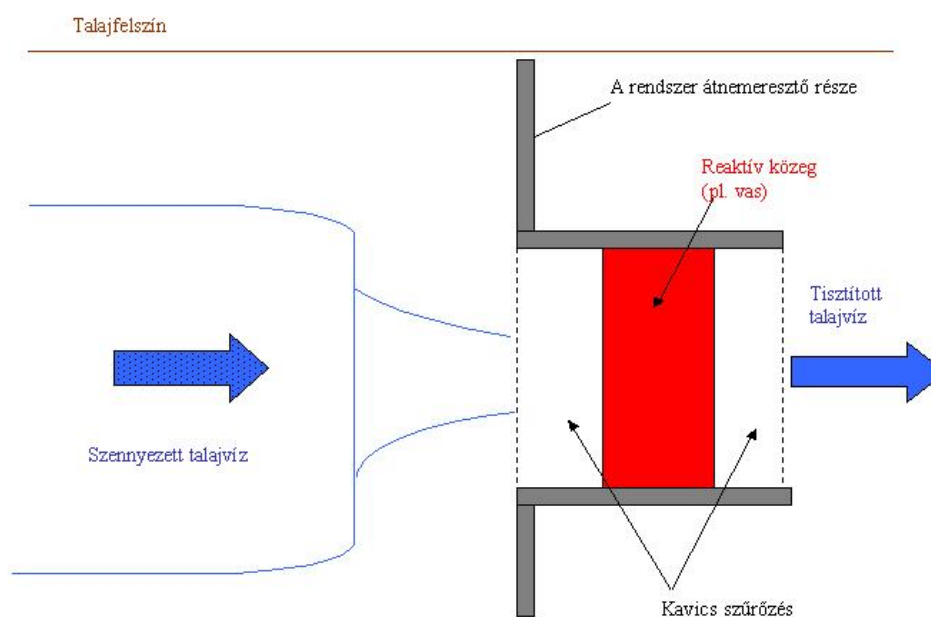
A vertikális árnyékolást a szennyeződés oldalirányú mozgásának a megakadályozására, vagy a szennyeződés körülhatárolásának céljából alkalmazzuk. Általában mesterséges falakkal végezzük, melyeket vagy a legalacsonyabb talajvízszint alá helyezünk el merülőfalként az olajlencse vándorlásának megakadályozására (kötényfal), vagy a feküig verjük le, hogy az oldott anyagok se mobilizálódhassanak. (Endrédi, Pásztó, 1993)

Ilyen izolációs megoldások (Puzder et al., 2001):

- *Szigetelő fal*
 - Részfal
Készülhet agyagból, betonból vagy vasbetonból. Kb. 30 m mélységig lehet alkalmazni, a fal vastagsága pedig 0,6-1,2 m lehet.
Az eddigi tapasztalatok alapján a nem szennyezett víztér kb. 95%-a megvédhető ezzel a módszerrel. Kialakításánál azonban figyelembe kell venni, hogy egyes szennyezőanyagok a fal átalakulását okozhatják, így hosszútávú hatásosságát kérdőjelezzük meg.
 - Szádfal
Alkalmazása akkor előnyös, ha a talajban nagyobb méretű kavicsok is találhatóak, illetve ha a későbbiek során el kívánják távolítani a szigetelő falat.
- *Hidraulikus gát (5.4 ábra)*
Kútsort vagy dréncsöveket fektetnek le, és a talajvíz kiszivattyúzásával, elvezetésével védik a veszélyeztetett objektumot (pl. ivóvízbázis). A kitermelt vizet szükség esetén tisztítják.
- *Migrációs gát / Aktív részfal (5.5 ábra)*
A szennyezett felszín alatti víz áramlási irányára merőlegesen elhelyezett falon kis „kaput” nyitnak. Ebben a kapuban elhelyezett reaktív anyagokkal eléri a talajvízben lévő szennyezőanyagok megkötését vagy lebontását.



5.4 ábra Hidraulikus gát kialakításának vázlata (Puzder et al., 2001)



5.5 ábra Aktív résfal (alsó) kialakításának vázlata



Talajtisztítási technológiák

A szennyezett talajok megtisztítására a szennyezés mértékétől, minőségétől, valamint az elérendő céltól függően számos megoldás létezik. Ezek rendszerező összefoglalását mutatja be az 5.5 táblázat. A technológiákat két fő csoportra osztható:

- IN-SITU: a szennyezett talajtér helyben hagyásával történő tisztítás. Nagyobb kiterjedésű szennyezés esetén alkalmazzák. Előnye lehet, hogy a talaj mélyebb rétegének szennyezése esetén a remediáció alatt a terület felszíne zavartalanul használható. Hátránya, hogy általában hosszabb időt igényel a terület remediálása, illetve a visszamaradó szennyezőanyagok nagyobb veszélyt jelentenek.
- EX-SITU: talajkitermeléssel járó technika. Ezen belül megkülönböztetünk helyszínen (on site) vagy onnan elszállítva (off site) történő kezelést. On-site kezelés esetén a kitermelt talajt nem szállítják el, hanem az érintett területen kezelik vagy helyezik el. Az off-site kezeléskor a kitermelt talajt talajtisztító telepre szállítják, majd a kezelt talajt visszaszállítják eredeti helyére, vagy lerakóban helyezik el. Fontos megjegyezni, hogy a kitermelt szennyezett talaj már veszélyes hulladéknak minősül, így annak megfelelően kell szállítani és kezelni. Ezt a technológiát a magas szállítási költségek miatt akkor alkalmazzák, ha a szennyezés kis területet érint, vagy jelentős objektumot, például vízbázist veszélyeztet.

Az in-situ és ex-situ talajkezelés során alkalmazott eljárások alapjai azonosak, a megvalósításuk különbözik a körülmények miatt. Az 5.5 táblázat tartalmazza a főbb fizikai-kémiai, termikus és biológiai remediációs eljárásokat és azok alkalmazási lehetőségét in-situ és/vagy ex-situ technológia választása esetén.



5.5 táblázat: Talajszennyezés kezelésére szolgáló megoldások osztályozása (Anton et al., 1999; Puzder et al., 2001)

IN-SITU		EX-SITU
Fizikai-kémiai kezelés		
(Árasztással)	Vizes mosás	Extrakció
	Talajlevegő elszívása és kezelése	Vizes mosás frakcionálással
	Szilárdítás, stabilizáció	
Termikus kezelés		
	Vitrifikáció	Deszorpció
		Égetés
		Pirolízis
Biológiai kezelés		
(stimulált)	Biodegradáció	(bioreaktorban)
Fitoremediáció	Bioventilláció	Iszapfázisú kezelés
		Bioágyas, prizmás kezelés
		Komposztálás
		Agrotechnikai módszerekkel

EX-SITU kezelési eljárások (Anton et al., 1999, Puzder et al., 2001)

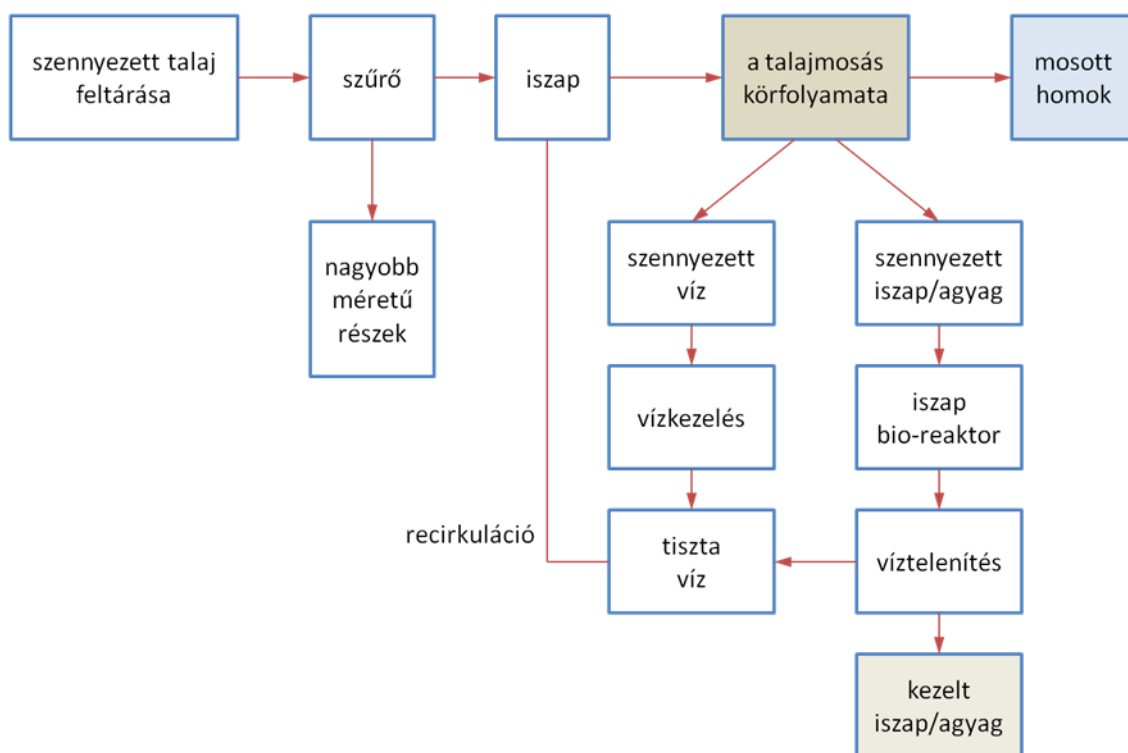
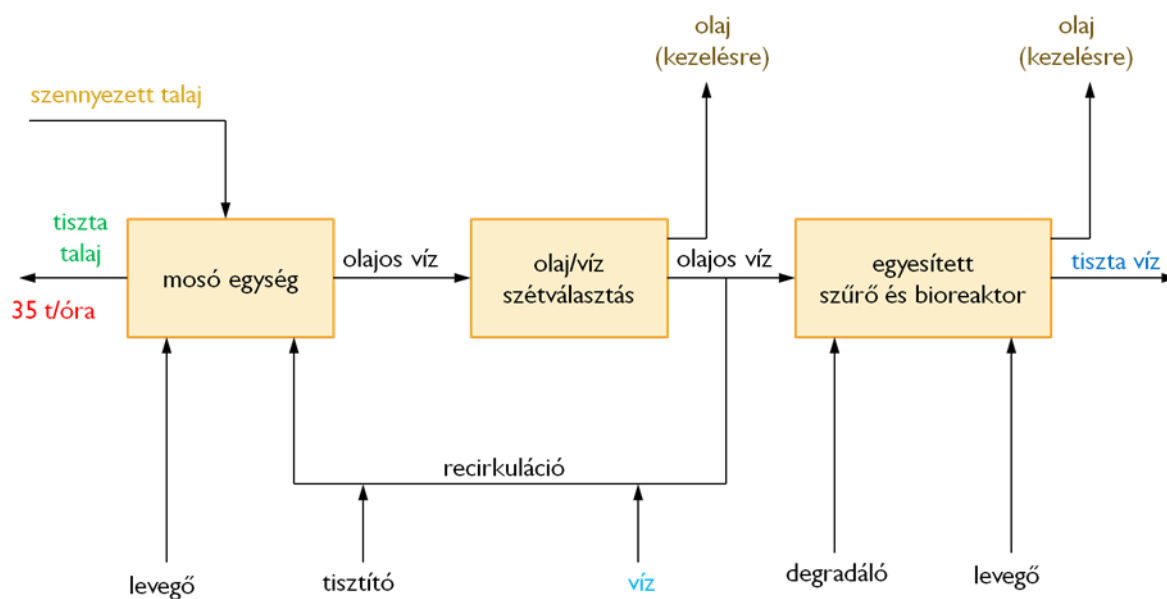
Talajmosás

A talaj finom frakcióihoz kötött szennyezőanyagok leválasztása vizes tisztítási módszerrel. A mosás hatékonyságának növeléséhez adalékanyagokat (felületaktív anyagok, savak, nátrium-hidroxid) alkalmaznak. Tovább növelhető a hatékonyság, ha a mosó egység előtt a finomabb szemcséket leválasztják a durvább talajszemcséktől. Ezzel az előkezeléssel koncentrálnak a szennyezés, ugyanis a szennyezőanyagok döntő többsége a nagy fajlagos felületű finom szemcsék felületéhez kötötten található.

A kezelés végén a szennyezőanyagok a mosófolyadékban (híg vizes oldat) és az iszapszerű talajfrakcióban koncentrálnak.

Ez a módszer elsősorban homoktalajoknál alkalmazható, azonban szinte minden típusú szennyezőanyag (BTEX, TPH, PAH, fenolok, szerves szennyezők) esetében hatékony.

Hátránya, hogy nagy mennyiségű szennyezett víz keletkezik, melynek tisztításáról gondoskodni kell. Továbbá általában többféle szennyezőanyag fordul elő egyszerre a talajban, így nehéz olyan oldószert találni, ami az összes szennyezőanyag esetében megfelelő. Emiatt általában több mosási fázist hajtanak végre egymás után különböző adalékanyagokkal.



5. 6 ábra: Ex-situ talajmosás vázlatos folyamatábrái



Kémiai extrakció

A talajmosástól annyiban tér el, hogy az alkalmazott oldószerek töményebbek, így egy erősebb kémiai leválasztás történik. Az alkalmazott adalékanyagok a következők lehetnek: szerves oldószerek (pl. aceton), szerves (ecetsav, tejsav) és szervetlen (sósav, kénsav) savak, illetve komplexképző szerek.

Az eljárás a talajmosáshoz hasonlóan történik. Az oldószert egy extraktorban (keverős reaktor) összekeverik a szennyezett talajjal, vagy pedig az oldószert az oszlopreaktorba töltött szennyezett talajon átszivárogtatják. A szennyezőanyag a talajból az oldószerbe megy át, melyet a technológia végén tisztítani kell.

Stabilizáció, szilárdítás

A módszer azon alapszik, hogy a talajban lévő szennyezőanyag a talajszemcsékkel együtt fizikai, kémiai vagy termikus úton egy kötőanyaghoz kötődik.

A stabilizálás során a szennyezőanyag kémiaiilag stabilabb lesz, hozzáférhetősége és mozgékonyasága csökken. A szilárdítás során azonban egy szilárd tömbbe ágyazódik be a szennyezőanyag, így hozzáférhetősége és mozgékonyasága megszűnik.

A stabilizációt, szilárdítást a elsősorban veszélyes és radioaktív anyagok ártalmatlanítására fejlesztették ki.

A szilárdításra több módszer is ismert.

- Bitumenes szilárdítás, mely során a szennyezett talajt egy olvasztott bitumenes zaggyal keverik össze. A bitumen kihűlés után a szennyezőanyagok a keverékben maradnak.
- Aszfalt emulzió. Az aszfaltot emulgeáló szer segítségével vízben eloszlatják, majd a szennyezett talajjal összekeverik. Keverés, megfelelő ülepedési és érési idő után a szilárd aszfalt a hulladékban egyenletesen eloszolva vízzáró masszát képez.
- Extrudált polietilén. Egy fűtött, zárt reaktorban a szennyezett talajt összekeverik a polietilén kötőanyaggal, majd öntőformában hagyják megszilárdulni.
- Portland cement: a cement, a víz és a szennyezett talaj egy betonszerű, szilárd anyagot képez. Elsősorban szervetlen szennyezők esetén alkalmazzák
- Vitrifikáció. Talaj magas hőmérsékleten történő üvegesítése (lásd később)

Termikus kezelés

Magas hőmérsékleten történő talajkezelések.

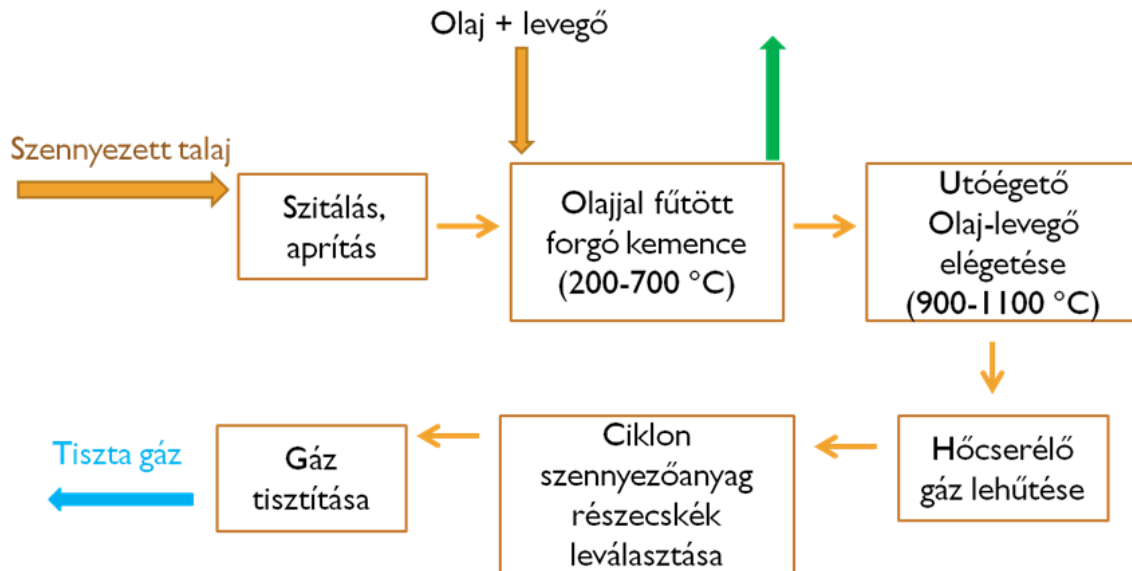
Talajégetés

870-1200 °C-on történő égetési eljárás, mely során a nehezen kezelhető, veszélyes szerves szennyezők talajból történő eltávolítására alkalmazzák. A megfelelően működtetett égetőben az eljárás hatásfoka 99,99% is meghaladhatja.

Az eljárás során először egy 200-700 °C-ra fűtött forgó kemencében (dobszáritó, fluidágyas, infravörös berendezés) elpárologtatják a szennyezőanyagokat. Megfelelően beállított hőmérséklet és időtartam esetén a szerves szennyezőanyagok teljes mértékben gázzá alakulnak. A következőkben a keletkezett, szennyezett gázt olaj+levegő keverékével égetik 900-1100 °C-on, amikor is megtörténik a gáz szén-dioxiddá és vízzé történő oxidációja. A szennyezett gázokat lehűtik, majd a szilárd részecskéket leválasztják, a gázt pedig tisztítják. Az eljárás folyamatát az 5.7 ábra szemlélteti.



A módszer hátránya, hogy az égetés során a talaj teljes humusz tartalma is elég, így a továbbiakban a mezőgazdaságban nem alkalmazható.



5.7 ábra: Talajégetéssel történő remediáció folyamatábrája

Pirolízis

Ezen eljárás során a szerves szennyezők lebontása történik magas hőmérsékleten oxigén jelenléte nélkül. Mivel a teljesen oxigénmentes környezet kialakítása nem lehetséges, így egy bizonyos mértékű oxidáció is lejátszódik a pirolízis során.

Vitrifikáció (üvegesítés)

Az eljárás során magas hőmérsékleten, $> 1200\text{ °C}$, a talajalkotók megolvadnak, majd a lehűlés során üvegszerű anyagot hoznak létre amelybe beépül a szennyezőanyag is. A toxikus fémek teljes mértékben megkötődnek.

A magas hőmérséklet hatására a szerves szennyezőanyagok gázokká (CO_2 , H_2O) és egyéb melléktermékké alakulnak.

Ez az eljárási módszer talajszilárdítás is egyben.

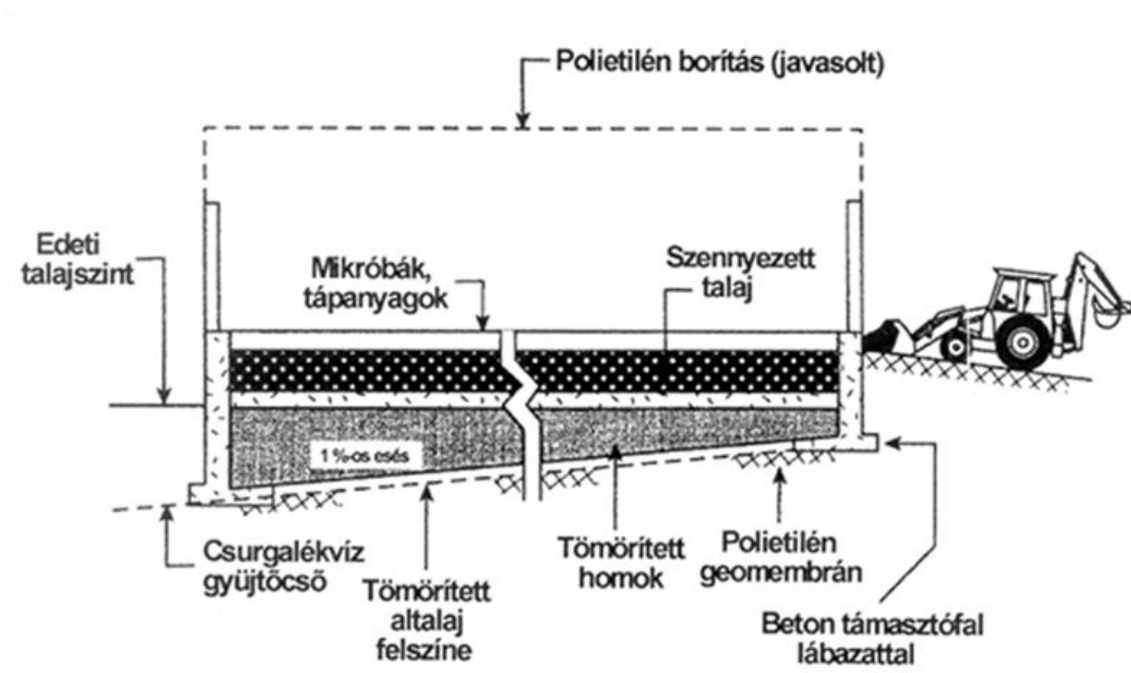
Biológiai kezelés

A biológiai kezelés során a szennyezőanyagok lebontását mikroorganizmusok végzik. A folyamatok lejátszódásához biztosítani kell a megfelelő mennyiségű tápanyagot. A mikroorganizmusoknak C, H, N, P, és egyéb mikroelemekre van szüksége. Egy szerves anyaggal szennyezett talaj esetén a C és H megfelelő mennyiségben van jelen, így általában a N, P, és egyéb mikroelemek hozzáadására van szükség. A lebontási folyamatok általában aerob folyamatok, így a talaj oxigén utánpótlását is meg kell oldani. Továbbá a megfelelő

nedvességtartalom, hőmérséklet és pH biztosításával is növelhető a lebontó folyamatok sebessége.

Agrotechnikai módszerrel történő biológiai kezelés

Egy vízzáró rétegen 0,5-1,5 m vastagságban szétterítik a kitermelt talajt, majd időnként az illékony szennyezők gyorsabb távozása és az oxigén utánpótlás biztosításának érdekében forgatják a talajt. Öntözéssel vizet és tápanyagot juttatnak a tisztítandó talajba. A lebontási folyamatok 1-3 év alatt játszódnak le.

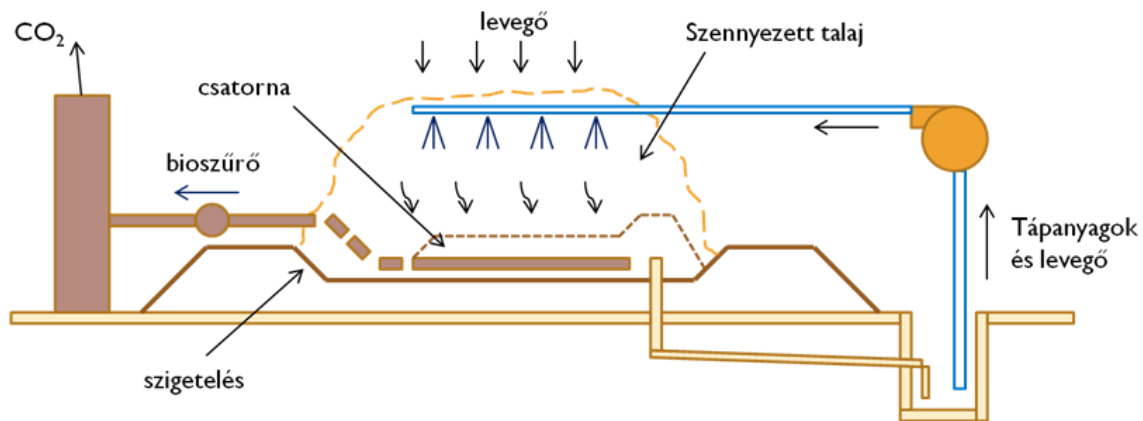


5.8 ábra: Agrotechnikai módszerekkel történő biológiai kezelés (Puzder et al., 2001)

Bioágyas, prizmás kezelés

A többi biológiai tisztítási folyamathoz hasonlóan ezt a módszert is szerves szennyezőanyagok lebontására alkalmazzák.

A szennyezett talajt halmokba rakják, majd egy kiépített rendszer segítségével tápanyagot, levegőt, szükség esetén mikroba kultúrát juttatnak a talajban. Szabályozzák a szennyezett talaj nedvességét, hőmérsékletét és pH-ját, a keletkezett csurgalékvizet pedig elvezetik, tisztítják, majd visszaforgatják a talajra.



5.9 ábra: Prizmás kezelés

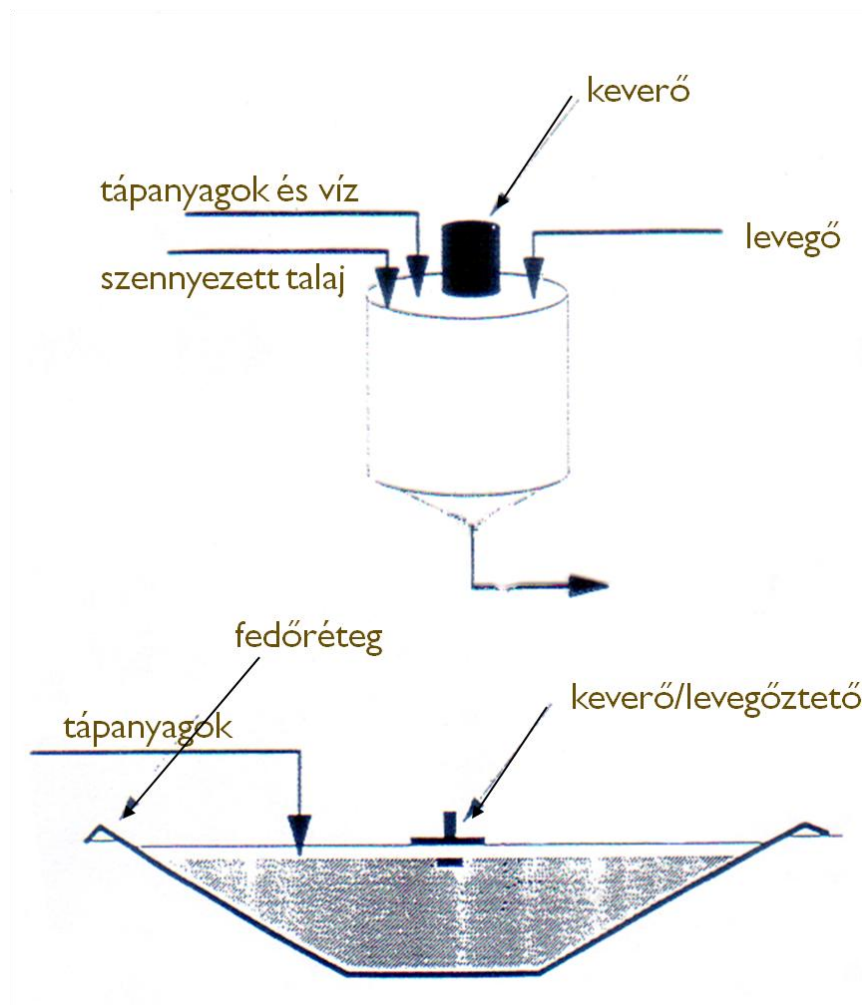
Iszapfázisú kezelés

A kezelés során a talaj vízzel és adalékanyagokkal történő folyamatos keverése történik egy erre a célra kialakított reaktorban. Itt is, mint a többi biológiai remediációs eljárásnál biztosítani kell a megfelelő mennyiségű és típusú mikroorganizmust, a tápanyagot, pH-t és hőmérsékletet. A keverés hatására az oxigén bevitel biztosított.

A szerves szennyezőanyagok lebontásának ideje nagymértékben lecsökken ennek az eljárásnak az alkalmazásával. Az agrotechnikai eljárás 1-3 éves lebontási idejével szemben a reaktorban történő biológiai kezelés időtartama néhány nap és néhány hónap között változik.

A reaktor lehet egy acélreaktor, vagy egy kialakított földmedence.

A biológiai lebontás után szükség van a talaj-víz szétválasztására és a leválasztott víz kezelésére.



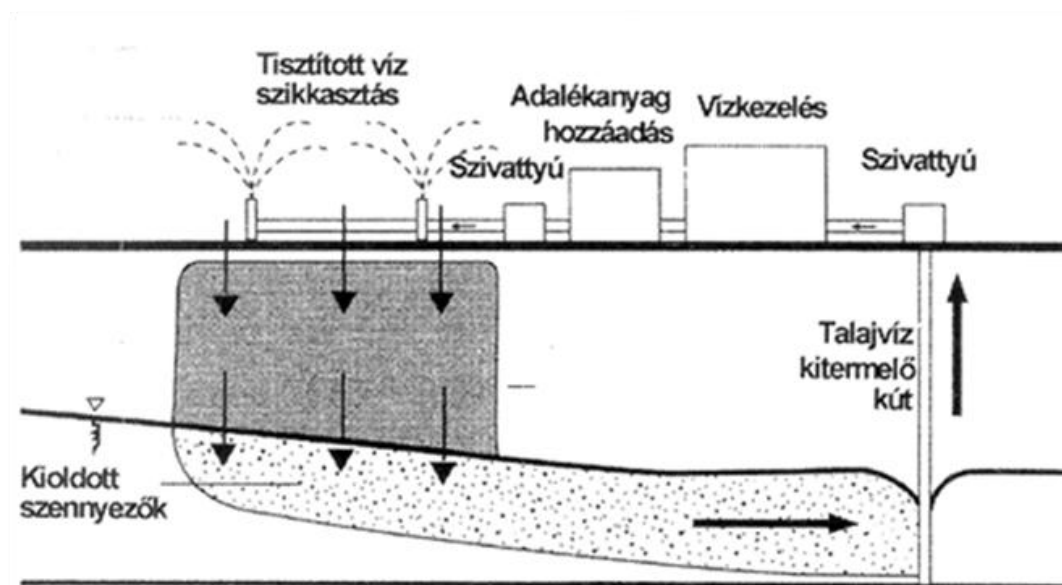
5.10 ábra: Iszapfázisú biológiai lebontásnál alkalmazott reaktor típusok
ábrái: acélreaktor (felső) és földmedence (alsó)

IN-SITU kezelési eljárások (Anton et al., 1999, Puzder et al., 2001)

Talajmosás

A szennyezett talajból vízzel, vagy oldószeres vízzel bemossák a szennyezőanyagot a talajvízbe. Ezzel párhuzamosan kiszivattyúzzák a talajvizet, melyet a felszínen kezelnek, majd a talajmosáshoz újra felhasználják, ha ez lehetséges. Az eljárás alacsony áteresztő képességű vagy heterogén közeg tisztítására történő alkalmazása nehézkes. Homoktalajoknál, oldható szennyezőanyagok eltávolítására alkalmas.

A technológia akkor alkalmazható, ha a talajvíz eleve szennyezett volt, ha izolálni tudják a résfalazással a terület talajvizét.



5.11 ábra: In-situ talajmosatás vázlatos bemutatása (Puzder et al., 2001)

Talajlevegő elszívása és kezelés

Talaj telítetlen zónájába elhelyezett vákuumkutakkal lefelé irányuló légmozgást hoznak létre, ami elősegíti az illékony szennyezőanyagok felszínre jutását. Esetenként a kiáramló levegő felfogására és tisztítására is szükség lehet.

Általában kis mélységű kutakat (1,5 m) hoznak létre, de előfordult már 91 m mély kút megépítése is. Helyi adottságok megvizsgálása után vízszintes vagy ferde szellőző árkok kialakítása is lehetséges.

Finom szemcséjű talajokban, illetve magas nedvességtartalom mellett nagyobb vákuum alkalmazására van szükség, ami megnöveli a tisztítás költségeit.

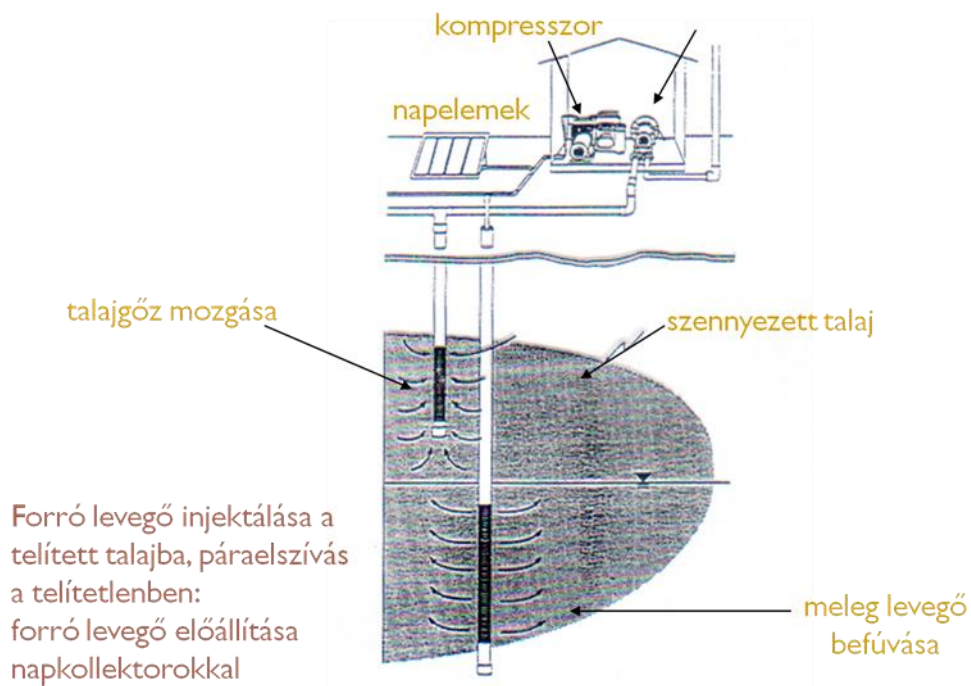
Az elszívott talajlevegőt vizes gázmosással, adszorpciós és abszorpciós eljárásokkal, égetéssel és biológiai szűrő alkalmazásával lehet tisztítani.

A talajszellőztetés során a biológiai folyamatok spontán beindulnak, így biológiai lebontással párosul a technológia.

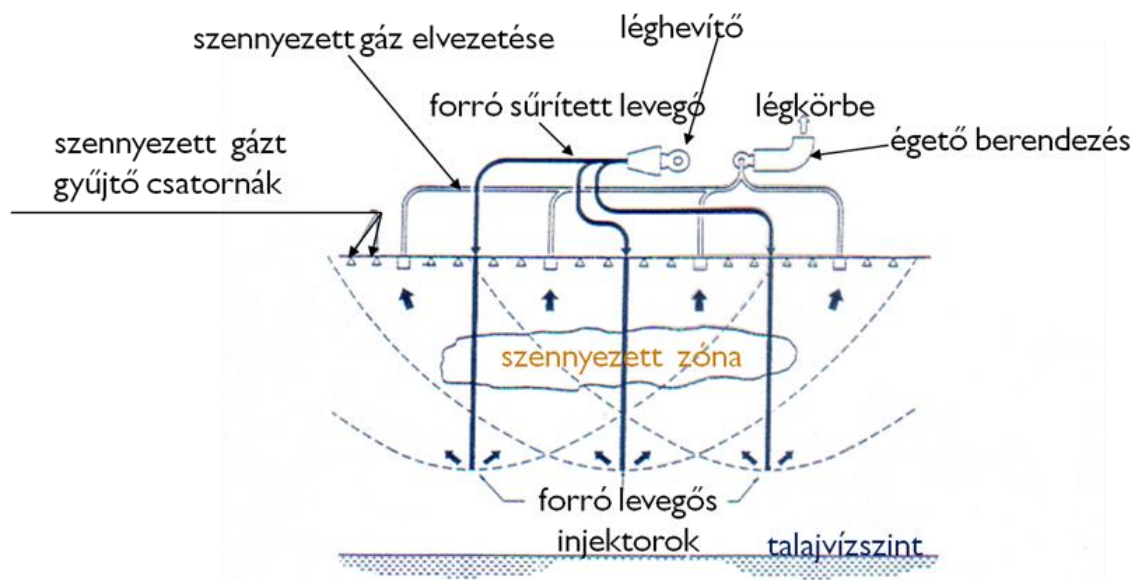
Hőkezelés

A félig illékony szennyezők eltávolításának hatásfoka növelhető a talaj hőmérsékletének emelésével. Ez forró levegő (5.12, 5.13 ábra) vagy gőz (5.14 ábra) talajba injektálásával illetve a talaj elektromos vagy rádióhullámokkal (5.15 ábra) történő fűtésével valósítható meg. A talaj hőmérsékletének növelése a természetes biológiai lebontó folyamatok hatékonyságát is növelik.

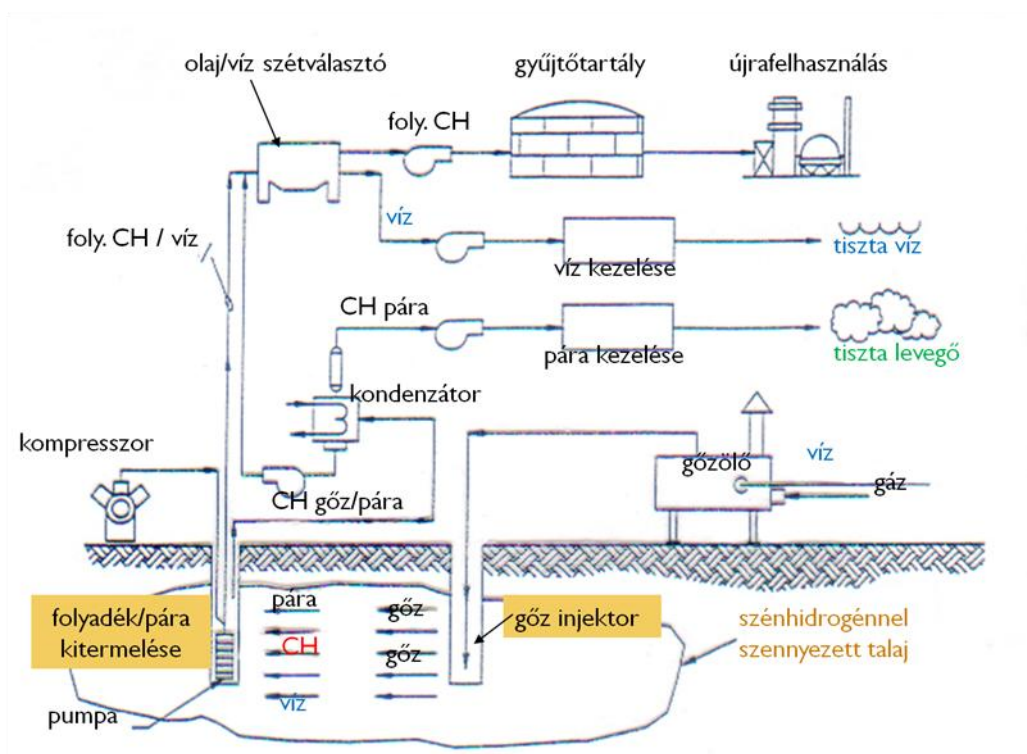
A kinyert gázok felfogását és tisztítását biztosítani kell.



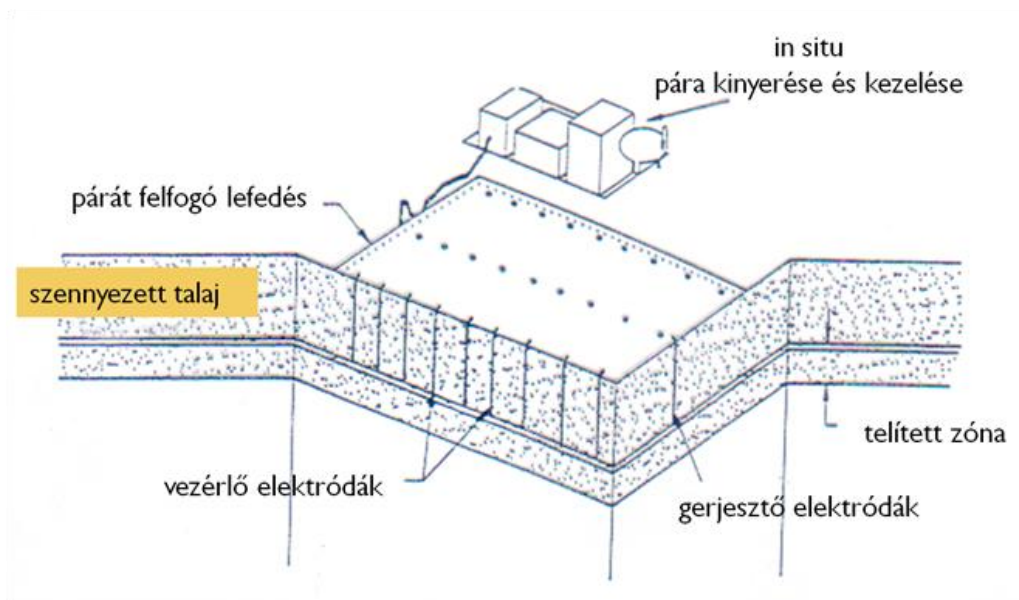
5.12 ábra: Talaj melegítése forró levegő injektálásával



5.13 ábra: Telítetlen talaj felmelegítése forró levegő injektálásával



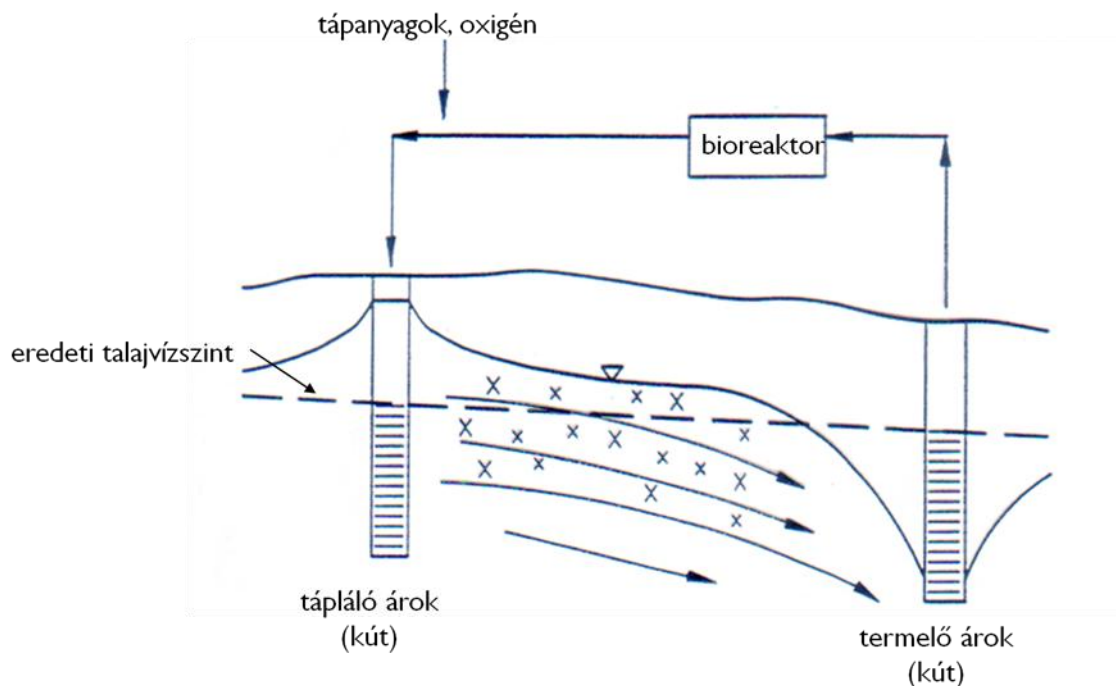
5.14 ábra: Talaj felmelegítése forró gőz injektálásával



5.15 ábra: Talaj felmelegítése rádióhullámokkal

Biológiai kezelés

Az in-situ biológiai kezelés során a természetes lebontási folyamatok fokozása a cél. A folyamatokat tápanyag és oxigén bejuttatásával lehet növelni elsősorban. felületaktív anyagok talajba juttatásával a szennyezőanyagok biológiai hozzáférését biztosítják, a mikrobiális talajoltók hozzáadására pedig a talajban sérült, vagy nem megfelelő mikroorganizmus jelenléte esetén van szükség. Az előbbieken felsorolt anyagokat állandó víz-recirkulációval, öntözéssel vagy injektálással lehet a talajba juttatni.

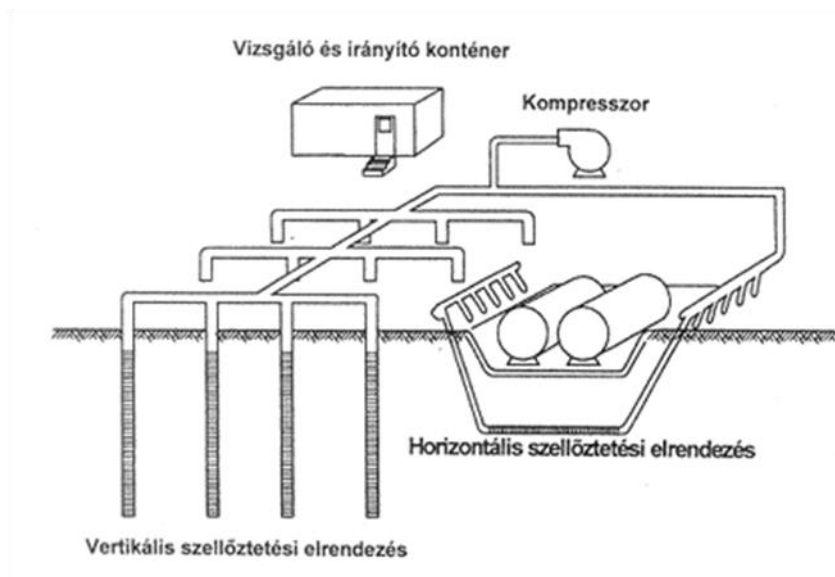


5.16 ábra: In-situ biológiai lebontás fokozása

Bioventilláció

Biológiai tisztítási eljárás szellőztetéssel kombinálva. A talajszellőztetéssel ellentétben itt a levegő bejuttatásának sebessége alacsony, csak annyit injektálnak a talajba, ami a biológiai lebontó folyamatok számára szükséges. Tehát az elsődleges cél nem az illékony szennyezőanyagok talajból történő kihajtása.

Magas talajvíz, telített talajszemcsék és kis áteresztő képességű talaj esetén nem alkalmazható. A talajlevegő elszívására és tisztítására szüksége lehet, erre fel kell készülni.



5.17 ábra: Bioventillációs eljárás vázlatos felépítése

Fitoremediáció

A fitoremediáció során a szerves és szervesetlen szennyezőanyagok megkötése, eltávolítása növények segítségével történik. A lejátszódó folyamatok szerint megkülönböztetünk bio-degradációt, fito-extrakciót (fito-akkumuláció), fito-degradációt és fito-stabilizációt.

A gyökérzóna közelében jelen lévő tápanyagok elősegítik a mikroorganizmusok elszaporodását, ami a bio-degradációt segíti.

A fito-akkumuláció során a szennyezőanyagok felhalmozódása történik a növényekben, miután felvette azokat a gyökerén keresztül.

A fito-degradáció során a növények gyökereiken keresztül felveszik a szennyezőanyagokat, majd a szöveteikben enzimek segítségével átalakítják azokat.

A fito-stabilizáció pedig az a folyamat, amikor a növények gyökérzetének környezetében a növények által termelt kémiai anyagok hatására megkötődnek a szennyező anyagok.



Irodalom

- Szegi József: Szerves vegyületek sorsa a talajban, *OMIKK Környezetvédelmi füzetek, Budapest, 1992/3*
- Dr. Makó András: Kőolajszármazékok vándorlásának modellezése talajokban, *OMIKK Környezetvédelmi füzetek, Budapest, 1998/22*
- Dr. Kádár Imre: A szennyezett talajok vizsgálatáról, *Környezetvédelmi Minisztérium, Kármentesítési Kézikönyv 2., 1998*
- Ötvös Károly: Határértékek, határértékrendszerek az Országos Környezeti Kármentesítési Programban, *Környezetvédelmi Minisztérium, Kármentesítési Füzetek,*
- Förstner U.: Környezetvédelmi Technika, *Springer Hungarica Kiadó Kft., 1993*
- Dr. Gruiz K., Horváth B., Kriston É.: Talajtisztítási biotechnológiák I.-II. - *Gazdaság és gazdaságlkodás, I.: 33.évf. 1. sz. p. 21-26, II.: 33.évf. 2. sz. p 15-18*
- Gruiz Katalin: Technológiai javaslat olajjal szennyezett talaj in situ bioremediálására, *tanulmány, 1995*
- Dr. Boros Tiborné: Szénhidrogénekkal szennyezett talajok biológiai tisztításának, valamint elektro-bioremediációjának módszerei, *OMIKK Környezetvédelmi füzetek, Budapest, 1998/23*



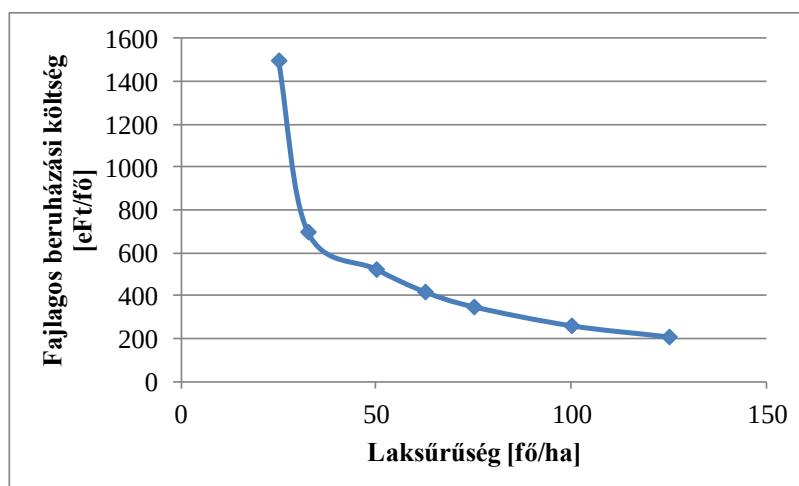
6. A talajvíz szennyeződése a csatornázatlan települések alatt

Szennyvíz szikkasztás hatásai

Magyarországon, a KSH adatai alapján 2011-ben 3154 település volt, melyből 2826 község és 328 város (http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_wdsd005.html). A számok alapján elmondható, hogy sok, kis lélekszámú település van, ahol a csatornahálózat kiépítése gazdaságtalan. Ha azzal a feltételezéssel élünk, hogy egy ingatlan/telek átlagos mérete 20x20 méter, akkor ingatlanonként 30 méter megépítendő vezetékkel lehet számolni. A 200 mm-es csatorna megépítése kb. 30 000 Ft/m, tehát egy ingatlanra 900 000 Ft csatornaépítési költség jön ki. Ebben az összegben azonban nincs benne a szennyvíztisztító telep építésének költsége, mely a teljes beruházási költség kb 30%-át teszi ki. Ezekkel az értékekkel számolva a következő költségeket kapjuk 1 főre vetítve:

6.1 táblázat: Szennyvízelvezető rendszer építésének fajlagos költségei

fő/ingatlan	fő/ha	csatorna hossz/fő	Ft/fő
1	25	30	1 500 000
1,5	32,5	20	700 000
2	50	15	525 000
2,5	62,5	12	420 000
3	75	10	350 000
4	100	7,5	262 000
5	125	6	210 000



6.1 ábra: Csatornahálózat fajlagos építési költsége a laksűrűség függvényében

A csatornahálózat megépítése után azt üzemeltetni és karban kell tartani. A csatornadíjnak magába kell foglalnia az amortizációs költséget, ami egy nagyobb, hosszabb hálózathoz természetesen nagyobb összeget jelent, így az egy főre jutó csatornadíj magasabb egy kis laksűrűségű településen. A helyzetet tovább nehezíti, hogy a kis településeken általában a szegényebb réteg él. Egy Uniós irányzat szerint ideális esetben a háztartás nettó bevételeinek csak 2-3%-át teszi ki a víz-, és csatornadíj, azonban Magyarországon a kis településeken ez



nem teljesülhet abban az esetben, ha hagyományos csatorna és szennyvíztisztító rendszert építenek ki. Ezekon a településeken más megoldást kell találni a háztartásban keletkező szennyvizek biztonságos elhelyezésére, kezelésére.

Az Európai Unió direktívája alapján minden 2000 lakosegyenérték (LEÉ) feletti településen ki kell építeni a szennyvízelvezető rendszert és megoldani a szennyvíz tisztítását. Ezekhez a beruházásokhoz pályázni lehet Uniós támogatást, azonban Magyarországon a települések jelentős része nem éri el a 2000 LEÉ-et, így nem nyújthatnak be pályázatot támogatásért. Ha regionális hálózathoz kíván csatlakozni egy kis település, ahhoz igényelhet pénzt, de csak a beruházáshoz, az üzemeltetéshez nem. Így ugyan a beruházási költség nagy részét nem kell a lakosságnak kifizetni, de a korábban említett magas csatornadíjat igen, ami önmagában is megterhelő lehet a lakosság számára.

A 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendeletben, mely a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szól, mely a következőképpen definiálja az alkalmazandó megoldásokat:

„egyedi szennyvízkezelés: olyan egyedi szennyvízkezelő létesítmények alkalmazása, amelyek legalább 1, legfeljebb 50 lakosegyenérték szennyvízterhelésnek megfelelő települési szennyvíz tisztítását, végső elhelyezését, illetve átmeneti gyűjtését, tárolását szolgálják

egyedi szennyvízkezelő berendezés: olyan vízelétesítmény, amely a települési szennyvizek nem közműves, biológiai tisztítását energiabevitel segítségével végzi

egyedi zárt szennyvíztároló: olyan egy vagy több, zártan és vízzáróan kialakított tartályból, illetve medencéből álló közműpótló műtárgy, amely a szennyvizek ártalommentes gyűjtésére és a szennyvízből keletkező települési folyékony hulladék időszakos tárolására szolgál

tisztítómezővel ellátott oldómedencés létesítmény: olyan oldómedencéből és tisztítómezőből álló vízelétesítmény, amely a települési szennyvizek nem közműves elvezetésére és elhelyezésére szolgál, és amely a szennyezőanyagok anaerob lebontását energiabevitel nélkül végzi”

Továbbá a 14/2010 (IV. 29.) Korm. rendelet 25, 26, 27 és 28 §-a az egyedi szennyvízkezelésről rendelkezik.

Az egyedi szennyvízkezelési lehetőségek:

1. A zárt szennyvíztárolóban gyűjtött, majd onnan a települési folyékony hulladék tengelyen történő elszállítása egy régóta alkalmazott megoldás. Itt lényeges követelmény a tároló vízzárósága, hogy a talaj és talajvíz ne szennyeződjön el.

A szennyvíztároló térfogatának meghatározásakor a kiindulási adat a háztartásban felhasznált ivóvíz mennyisége. Ez azonban kis településeken a vízmű által mért fogyasztásoktól eltérhet abban az esetben, ha bizonyos célokra (takarítás, mosás) például fűtő kútból szerzik be a vizet. Azonban a szennyvíz mennyiségében már ez is meg fog jelenni, így ezt is figyelembe kell venni a tervezéskor.

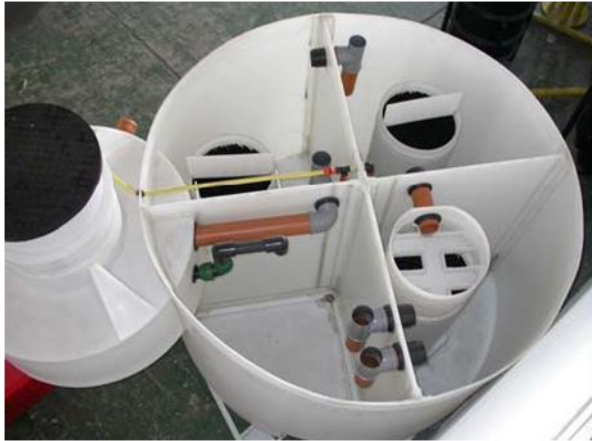
A víztakarékos háztartási berendezéseket figyelembe véve a háztartási és személyi higiéniahoz szükséges minimális vízmennyiség 70 l/fő,d. Ezt alapul véve egy fő havi vízfogyasztása 2,1 m³. Ha egy háztartásban többen is élnek, akkor egy 5-10 m³-es tározó viszonylag gyorsan megtelik, és gyakran kell elszállíttatni. A szennyvíz tengelyen történő elszállítása kb. 10 000 Ft/hó költséggel számolható, ami a csatornadíjhoz képest magas ár.

Ez a megoldás nem egyedi szennyvíztisztítás, hiszen az ingatlan területén csak a szennyvíz összegyűjtése és tárolása történik, a szennyvizet egy hagyományos szennyvíztisztító telepen tisztítják meg.

2. Egyedi szennyvíztisztító kisberendezés

Az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések (9.2 ábra) a gyártó és a tartály méretének függvényében 2-50 lakos szennyvizének kezelésére alkalmas. A kisberendezésekben ugyan azok a folyamatok játszódnak le, mint a szennyvíztisztító telepen (levegőztetés, ülepítés, tisztított víz elvétele, iszaprecirkuláció). Az elfolyó víz befogadója, a tisztítás mértékének függvényében lehet felszíni víz, vagy talaj, talajvíz.

Ezek a berendezések forgalomban kaphatóak, üzemeltetésük a tulajdonos feladata, de léteznek cégek, akik vállalják az üzemeltetést.



Polydiox 50 típusú kisberendezés

(forrás:

http://www.szennyviztisztito.com/p50_egyedi_s_zennyviztisztito_kisberendezes)

Graf Picobell Carat tartályos rendszer (mozgóágyas rendszer CE)

(forrás:

<http://www.esovizgyujtes.hu/Szennyviztechnikai/Szennyviztisztitok>)



6.2 ábra: Egyedi szennyvízelhelyező kisberendezések

3. Egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmény

A rendszer két fő műtárgya az oldómedence és a szikkasztó ágy. A végső befogadó a talaj, talajvíz, így a tervezésnél, kiépítésnél és az üzemeltetés során körültekintőnek kell lenni a talaj-talajvíz szennyezés elkerülése érdekében.

Nagyobb, akár több családi ház vagy intézmény szennyvizének kezelésére alkalmas méretek is tervezhetők.



Az egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítményeket általában otthon, saját kezűleg szokták kivitelezni, de ennek ellenére vízjogi engedély köteles.

A továbbiakban ennek a rendszernek a kialakításáról, méretezéséről és a környezeti hatásairól lesz szó részletesebben.

Egy átlagos személy napi kibocsátását a következő értékekkel lehet jellemezni:

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| – BOI ₅ | 60 g |
| – Nitrogén | 11-12 g |
| – Foszfor | 2-5 g |
| – mikroorganizmusok | $10^{12} - 10^{16}$ |
| – mikroszennyezők | gyógyszer, vegyszer maradékok |

Környezeti hatások

Az egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmények üzemeltetése során számolni kell környezeti hatásokkal, mint a talajvíz szennyezése, talajvíz nitrit tartalmának emelkedése, mikroorganizmusok és mikroszennyezők (vegyszerek, gyógyszermaradványok) talajba jutása.

Talajvíz nitrit tartalma (NO₂⁻)

A talajba jutó szennyvíz ammónium-ion (NH₄⁺) tartalmát a baktériumok, ha a körülmények megfelelőek, a nitrifikáció során nitriten (NO₂⁻) keresztül nitráttá (NO₃⁻) oxidálják. Ha a folyamat nem tud végig lejátszódni, például oxigénhiány miatt, akkor nagy mennyiségű NO₂⁻ halmozódhat fel a talajvízben, amit elfogyasztva az emberi szervezetet károsítja. A nitrit a vér hemoglobinjához kötődve gátolja a vér oxigénszállítását és fulladásos halálhoz vezet. A csecsemők esetében azonban a nitrát tartalmú víz fogyasztása is veszélyes, ugyanis a gyomruk képes a nitrátot visszaredukálni nitritté. Ezt a betegséget hívják „blue baby szindrómának”, mert a csecsemő bőre elkékekül az oxigénhiány miatt.

Ez a probléma olyan területeken fordulhat elő, ahol a szennyvíz nem megfelelő módon kerül elhelyezésre a talajban, és a kertben lévő fűt kútból származó vizet ivóvízként is használják.

Magyarországon, míg 1976 és 1988 között több mint 1600 megbetegedés volt 24 halálessel, a '90-es évek végére a megbetegedések száma 10 alá csökkent és haláleset nem fordult elő.

Ma Magyarországon a 201/2001 (X. 25.) Korm. rendelet alapján az ivóvízben megengedett nitrát koncentráció 50 mg/l, a nitrit 0,50 mg/l.

Foszfor

Az egyedi szennyvíz-elhelyezési létesítményeknél a kezelt szennyvizet nem felszíni vízbe, hanem a talajba vezetjük, így az autotrofizáció problémájával nem kell számolni. A hazai talajtípusoknál a foszfor megkötődik, és kb. 10-15 cm-t tud csak elmozdulni a bevezetés helyéhez képest.

Mikroorganizmusok (Bilics A.)

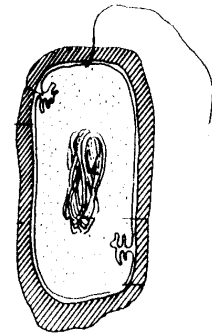
A lakossági szennyvízben több 100, különbözőfajta mikroorganizmus található. Ezek lehetnek baktériumok, vírusok, paraziták, gombák. A patogén mikroorganizmusok leggyakrabban megfertőződött emberek székletéből, vizeletéből kerülnek a szennyvízbe. Számuk és fajtájuk mind időben, mind térben rendkívül nagy változatosságot mutat az évszak, az időjárás, a lakossági vízhasználat, a gazdasági, közegészségügyi helyzet, az ivóvíz minősége, a lakosság körében előforduló fertőzések száma stb. függvényében.



A lakossági szennyvízben többnyire bélbaktériumok (Asano, 1998; Némédi, 1998; Szabó, 1989) találhatók. Az emberek széklete átlagosan kb. 10^{12} /g baktériumot tartalmaz, melyek többsége nem patogén. A patogén baktériumok többsége a bélrendszert fertőzi meg és számos betegséget okozhat. Különösen Salmonellát izolálnak gyakran szennyvízből, de ez a mikroba nem ritkán még az ivóvíz céljaira történt kezelést is túléli.

A bélrendszerben lévő életfeltételek ideálisak a bélbaktériumok számára: magas szén és ásványi anyag tartalom, viszonylag magas ($37\text{ }^{\circ}\text{C}$) hőmérséklet.

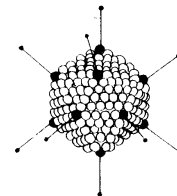
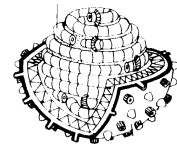
Mikor ezek az élőlények kikerülnek a szervezetből, nagyon eltérő életkörülmények közé kerülnek, ezért nagy részük elpusztul. Ehhez még hozzájárul, hogy a bélbaktériumok nem mindig képesek versenybe szállni a „természetben élő” baktériumokkal a tápanyagokért. Így kicsi az esélyük az életben maradásra és szaporodásra. De nem szabad elfelejteni, hogy a kezdeti egyedszámuk is nagyon magas. Minél alacsonyabb a hőmérséklet, annál hosszabb a túlélési ideje a bél patogéneknek bármilyen környezetben. Az infektív dózis értéke 10^2 - 10^9 közt ingadozik.



Vírusokból (Asano, 1998; Némédi, 1998; Szabó, 1989; Szerényi, 1993) több mint 140 félé található a lakossági szennyvízben. A baktériumokkal ellentétben vírusok nincsenek az emberi székletben. Csak abban az esetben találhatók, ha oltással „megfertőztek” valakit, vagy egy fertőzött egyénnel való kapcsolat, fertőzött étel, víz fogyasztása révén valaki megfertőződött.

Sajnos a gastroenteritis és a fertőző hepatitis vírusainak azonosítása és kitenyésztésük mindmáig nem történt meg, bár vizekben jelen vannak. Az enterális vírusok a szennyvizekben esetenként nagy számban jelentkeznek, nyári meleg hónapokban 4000 egység/litert, télen a 200 e/l-t is elérheti.

De mivel több olyan vírus is van melyek kitenyésztésére jelenleg még alkalmas technológiákkal nem rendelkezünk, ezért feltehető, hogy literenkénti részecskeszámuk még több lehet. A környezeti tényezőkkel szembeni ellenállásuk, életben maradásuk és szaporodásuk nagyon eltérő lehet a fajtájuktól függően. De önálló életre nem képesek, egy gazdaszervezetet kell találniuk, hogy életben maradhassanak és szaporodhassanak. Vírusok esetén már 1 részecske is kiválthat klinikai tüneteket.



Az emberre veszélyes paraziták (Assano, 1998; Szabó, 1989; Szerényi, 1993) fajtái két csoportra oszthatók: a protozákra és a férgekre.

A protozák egysejtű élőlények. A szennyvízben, mint ciszták szóródnak és terjednek. Élő gazdaszervezeteiken kívül nem szaporodnak és gyakran életciklusuk teljessé válásához egy köztes gazdát is igényelnek. Életüknek van egy vegetatív és egy pihenő ciklusa. A pihenő ciklusban gyakorlatilag ellenállóak a mechanikai és biológiai tisztítással szemben.

Az amőbákról tudjuk, hogy ellenállásuk rendkívül csekély és gyorsan elpusztul kikerülve a gazdaszervezetből. A legtöbb protoza a széklettel szennyezett víz, étel és egyéb anyagok révén kerül a szervezetbe.

A szennyvízben a parazita bélférgek petéi is megtalálhatók. A székletben található paraziták száma nagyon magas lehet, 10^6 /g - 10^7 /g-t is elérheti. Az infektív dózis értéke paraziták esetében 1-100-ig terjedhet.





Az OEK Járványügyi Osztályának adatai szerint 1990 és 1999 közt 9 ivóvízjárvány volt hazánkban, melyet a Shigella és Salmonella baktériumok okoztak. Ez 1757 megbetegedést jelentett.

Mikroszennyezők

Mikroszennyezőknek hívjuk azokat a szennyező anyagokat, melyek már kis koncentrációban ($\mu\text{g/l}$) is az életfolyamatok feltételeit, vagy a víz emberi fogyasztásra történő felhasználását korlátozza, megakadályozza. A szennyvízzel többnyire detergenssek és vegyszermaradékok jutnak ki a környezetbe.

A hormon-háztartást zavaró anyagok a $\mu\text{g/L}$ koncentráció tartománynál kisebb, már a ng/L intervallumban is jelentős zavart okozhatnak. Kibocsátásukra a háztartási, illetve ipari, elsősorban gyógyszeripari, illetve vegyipari szennyvizekkel kerülhet sor. A háztartási szennyvízben is előfordulhat gyógyszermaradék, hormon-háztartást zavaró anyag az elfogyasztott gyógyszerek szervezetből való kiürülése révén. Felszíni vizekben történő megjelenésük a ng/L koncentráció nagyságrendben már az emberi szervezetre is veszélyt jelenthet, elsősorban abban az esetben, ha befogadó alvizi szakaszain felszíni vízkivételre kerül sor ivóvíz-tisztítási céllal. A jelenleg alkalmazott ivóvíz-tisztítás technológiai lépések egyike sem biztosítja megfelelő mértékben az esetleg jelenlévő hormon-háztartást zavaró anyagok eltávolítását az ivóvízből.

A detergenssek (felületaktív anyagok) elsősorban közvetett veszélyt jelentenek az élővilágra, de nem hanyagolható el egyes ipari felhasználásra gyártott detergens hormon háztartást befolyásoló hatása sem. A detergenssek veszélyessége elsősorban abban nyilvánul meg, hogy a hidrofób anyagokat látszólag hidrofíllé képesek változtatni, így könnyebben bejuthatnak az élő szervezetekbe. A vegyszerek a szennyvíztisztító telepre hígítva érkeznek, azonban az egyedi kisberendezésekhez nem, így a talaj élővilágát, és a berendezésben kialakult eleveniszapot kiirthatja.

A mikroszennyezőket a kommunális szennyvíztisztító telepek sem tudják kivonni a vízből, de onnan nagy vízfolyásokba jutnak, ahol hígulnak, míg az egyedi elhelyezésnél a talajba, talajvízbe jutnak hígítatlanul.

A talajban lejátszódó folyamatok

Nitrifikáció, denitrifikáció

Az oldómedencéből átlagosan 40-80 mg/l koncentrációban távozik a nitrogén, aminek 25 %-a szerves nitrogén és 75 %-a oldható ammónium-ion. Aerob technológiával a legtöbb nitrogén nitráttá alakul. A nitrogén átalakulási folyamatai a talajban az ammónium adszorpció, a nitrifikáció, a denitrifikáció, a mineralizáció, az immobilizáció, az ammónia volatilizáció, a kémiai bomlás és a növényi felvétel. Az egyedi szennyvíztisztítás során elsősorban az ammónium adszorpció, a nitrifikáció és a denitrifikáció a meghatározó folyamatok.

Ha a talajban a nitrifikációhoz nem megfelelőek a körülmények, akkor a tisztítóból kilépő ammónium kation kicserélődés révén adszorbeálódik a talajszemcsékhez. Ennek mennyisége elsősorban a talaj kation adszorpciós kapacitásától függ. Ha beáll az egyensúly az adszorbeált és oldott állapotú ammónium mennyiségében, akkor az oldott állapotú ammónium elszivárgással elérheti a talajvizet vagy a felszíni befogadót. A nitrifikáció hőmérsékletfüggő, nem megfelelő mértékű 40 °C fölött és 5 °C alatt, 10 és 35 °C között pedig a hőmérséklet növekedésével arányosan növekszik. Ha ammónium nagy koncentrációban van jelen, akkor a



nitrifikáció leáll a nitrit képződésnél. A nitrifikációnál az oxigén jelenléte a limitáló tényező, ha anoxikus vagy anaerob körülmények uralkodnak, akkor a reakció sebessége erősen lecsökken és meg is állhat. A nitrifikáció sebessége csökken alacsony pH esetén, legnagyobb a sebessége 6-8 pH között, de erősen savanyú talajokban is lejátszódhat. Az oldómedencéből kijutó ammónium a talajban 30-60 cm alatt nitrifikálódik.

Sok bizonytalansági tényező jellemzi a talajokban lejátszódó denitrifikáció mennyiségi leírását. A talaj telítetlen zónája bonyolult, szilárd, folyadék és gáz fázisokból álló háromfázisú rendszer. A csapadék és a nitrogén terhelése egyenetlen és időben változó, ezért a talajrézescskékben uralkodó viszonyok térben és időben jelentősen eltérőek. Az oxigén jelenléte csökkenti a denitrifikációs kapacitást. A talajban az oxigén befolyása a denitrifikációs folyamatra eléggé bonyolult. A talajban gyakran egymás mellett vannak levegővel teli és vízzel telített, többé-kevésbé anaerob viszonyokkal jellemezhető pórusok.

Tehát a denitrifikáció nemcsak telített talajok esetében következik be, hanem telítetlen talajok anaerob mikropórusaiban is lejátszódhat, ha rendelkezésre áll szerves szénforrás és nitrát. Az enzimek aktivizálódási sorrendjének következtében aerob-anaerob átmenet után 1-2 napig a dinitrogén-oxid a domináns termék, később viszont az elemi nitrogén. A denitrifikáló szervezetek zömét kitevő heterotróf mikroorganizmusok aktivitását befolyásoló egyik legfontosabb tényező az elektronok hozzáférhetősége a szerves vegyületekben. Természetesen bizonyos körülmények között nem ez a sebességkorlátozó tényező. A denitrifikáció pH optimuma pH 7-8 között van. A lúgos tartományban pH 11-ig tapasztaltak denitrifikációt. Alacsony pH értéknél a teljes denitrifikációs folyamat sebessége csökken. Az alacsony hőmérsékleten a denitrifikáció a talajban észrevehetően csökken, de még 0-5 °C között is mérhető értékű marad.

Megfelelően működő egyedi szennyvíztisztítók esetén, csak a mikropórusokban lejátszódó denitrifikáció csökkenti a talajba juttatott nitrát mennyiségét. A limitáló tényező egyértelműen a felhasználható szerves szén mennyisége, hiszen ezek a műtárgyak a talajfelszín alatt, általában a gyökérzónánál mélyebben találhatóak. Laborkísérletek alapján kimutatták, hogy a talaj visszamaradt szerves anyaga nem nyújt elegendő energiaforrást hosszú távú denitrifikáció esetére. Dombos rendszerekkel végzett laboratóriumi vizsgálatok 32%-os denitrifikációt mutattak ki. Nagy dózis és kicsi egyenletességi tényező esetén 48%-ról 86 %-ra nőtt a denitrifikáció határfoka. Ugyanilyen kialakítás és kis dózis esetén 86 %-os eltávolítási határfokot mértek .

Németországi vízgyűjtőkön végzett felmérések jelentős különbséget mutattak a talajba beszivárgó víz és a talajvízben mért nitrát koncentrációk között. Tömör kőzeteknél közel lineárisan, a növekvő szivárgóvíz-koncentrációt egyre kisebb mértékben emelkedő talajvíz-koncentráció kíséri. Ez laza kőzetek esetén csak részben teljesül, a nagyobb szivárgóvíz-koncentrációknál (már 50 mg N/l értéknél) már semmilyen összefüggés nem található a két koncentráció között, a talajvízre jellemző értékek jelentős mértékben lecsökkennek (1 mg/l érték alá). A nitráttartalom erőteljes lecsökkenését a denitrifikációval magyarázták, ami a szivárgó víz mennyiségével fordított arányban növekszik. Méréseik szerint anaerob körülmények mellett a nitrát csaknem teljes egészében denitrifikálódhat. A vizsgált vízgyűjtőknél megfigyelhető, hogy a talajvízre, ill. a szivárgó vízre jellemző nitrátkoncentrációk aránya a szivárgó víz mennyiségével együtt növekszik, az értékek pedig



többnyire 50 % alatt maradnak. Fentiekből következik, hogy a talajvíz nitrát koncentrációja megadható a szivárgó víz mennyiségének és nitrát tartalmának függvényeként.

Foszfor sorsa a talajban

A nitrogénnel ellentétben a foszfor a legtöbb talajban megkötődik, és nem terjed tovább. Az egyedi szennyvíztisztítókból elfolyó szennyvíz foszfortartalma általában 11-31 mg/l. Legtöbb esetben ortofoszfát formájában található meg. A foszfor talajvízben már általában csak 0,05 mg P/l alatti koncentrációban található meg. A foszfor adszorpció, kicsapódás, fizikai szorpció, kemoszorpció, anion kicserélődés, talajszemcséken történő kicsapódás és kis mértékben növényi felvétel és biológiai immobilizáció során távozik a szennyvízből.

Egyes anionok (Cl^- , NO_3^-) csak elektrosztatikus vonzás révén, kicserélhető formában kapcsolódnak a kolloidok pozitív töltéseihez, ez a nem specifikus anion adszorpció. A többi gyakori anion, foszfácionok (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), SiO_4^{4-} , SO_4^{2-} , F^- viszont főként specifikusan kötődnek a változó töltésű felületekhez. A nem specifikus anion adszorpció csak savanyú talajokban számottevő, mivel ekkor az amfoter kolloidok felületén pozitív töltések keletkeznek. Számos kísérletben kimutatták, hogy a vízoldható formában a talajokhoz adott foszfor nem marad változatlan hosszú ideig, hanem átalakul nehezen oldható formába. A fixációban mind biológiai, mind kémiai folyamatok részt vesznek. Erősen savanyú talajokban a foszfor gyorsan kicsapódik nehezen oldható vas- és alumínium-foszfátok alakjában, vagy az oxidok felületén adszorbeálódik. Ez különösen sok vasat tartalmazó talajoknál jelentkezik. Meszes talajokban kevésbé oldható kalciumhidrogén-foszfát és kalcium-foszfát keletkezik (CaHPO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), s az utóbbi fokozatosan átalakulhat karbonát-apatitá, ami még nehezebben oldódik.

A foszfát-fixáció további mechanizmusa a foszfát-adszorpció során az oxi-hidroxidok felületi hidroxil-csoportjainak kicserélődése, két kötődéssel. Szintén a fixáció jelenségéhez tartozik a talajszemcsék felületén megkötődő foszfácionok a szemcse belsejébe diffundálnak, és sokkal nehezebben hozzáférhetővé válnak. A folyamatokat leginkább befolyásoló talajtulajdonságok a talaj ásványi felépítése és szövetszerkezete. A foszfor adszorpció mint már említettem, az oxidásványok és szilikátos agyagásványok élein vagy más felületein található hidroxil-ionok helyettesítésével játszódik le. A finom szövetű talajok általában több foszfort képesek megkötni, mint a durva szövetű talajok. A teljes adszorbeált foszfor mennyisége függ a kicserélhető alumíniumtól, a pH-tól, az oldható iontartalomtól és a reakcióidőktől.

A talajba kerülő foszfor tehát kétfajta folyamaton keresztül kötődik a talajrészecskékhez. Az első, kezdeti reakció 24 órán belül lejátsszódik, míg az ezt követő lassabb: hetekig, hónapokig tart. Alacsony oldott foszforkoncentráció esetén (mmol/l) a Langmuir izotermával leírható foszfát-adszorpciós folyamatok dominálnak. Később, magasabb oldott foszforkoncentráció esetén (mol/l) már a kicsapódás a fő folyamat. A kicsapódás mértéke függ a pH-tól, a foszfor, alumínium, kalcium koncentrációtól, a többi aniontól és a reakcióidőtől.

A foszfor kevésbé oldható vegyületeket alkot vassal, alumíniummal savanyú talajokban és kalciummal alkot különböző vegyületeket mésztartalmú talajokban. A meszes homokos talajszlopokkal végzett kísérletek azt mutatják, hogy a foszfor visszatartás arányos a terheléssel. A foszfor kezdetben oktokalcium-foszfáttá alakul, majd lassan kevésbé oldható kalcium-foszfáttá. Savanyú talajokban a foszfor-adszorpció az alumínium tartalommal van kapcsolatban. Hosszú idejű kísérletek szerint ezekben a talajokban lényegesen megnő az alumínium-foszfát és a vas-foszfát tartalom a szennyvízelhelyezés következtében, de a visszatartást elsősorban az alumínium tartalom vezérli.



Az egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmény a következő részekből áll:

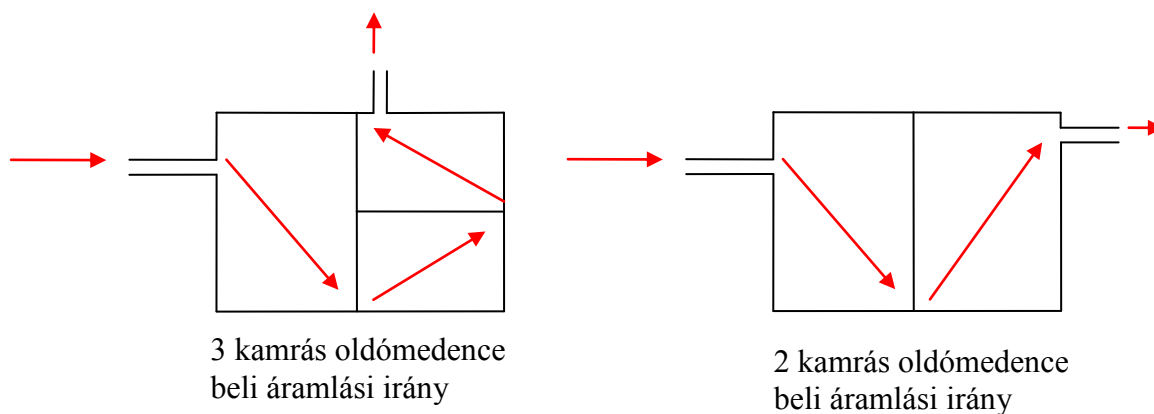
- ellenőrző akna
- oldómedence/oldóakna
- átemelő (ha szükséges)
- adagoló műtárgy
- szikkasztóágy – dréncső és ágyazat
- szellőztető cső

A szennyvíz épületből való kivezetésének egyik lehetősége a pincefödém-szint. A csövet nem kell fagyhatár alá fektetni, ugyanis a szennyvíz meleg, és az áramlás nem állandó a csőben, így a szétfagyástól nem kell tartani. A cső lejtése 1-2 % legyen, hogy a lebegőanyagok ne ülepedjenek le.

Az **ellenőrző akna** egy 40 (50) x 40 (50) cm-es előregyártott betonakna, vagy egy 400 mm-es műanyag cső, melynek funkciója, hogy az esetleges dugulások elhárítását megkönnyítse.

Az oldómedencéig a szennyvízcső esése 1-2%-os a szemcsés anyagok miatt. Az oldómedence után már elegendő 1-2 ‰ esés is.

Az **oldómedence** egy vízzáró beton műtárgy, mely két, vagy három kamrából áll (6.3 ábra). Az oldóakna előregyártott kútgyűrűkből kialakított tároló terek, melyekből szintén két vagy három sorba kapcsolt „medencét” kell kialakítani.



6.3 ábra: Két és háromkamrás oldómedence sematikus

Az oldómedence elsődleges feladata a fázissztétválasztás. A víznél kisebb sűrűségű anyagok felúsznak a víz színére, a nagyobbak pedig lesüllyednek a medence aljára. Az egyszerű, két kamrás oldómedencében/oldóaknában a minimális tartózkodási idő 3 nap, a három kamrásban pedig 6 nap. Ez elég hosszú idő ahhoz, hogy a szennyvíz spontán anaerob bomlása is beinduljon, mely gázfejlődéssel (kénhidrogén) jár. A leülepedett iszaprétegből felszabaduló gázbuborékok magukkal ragadják az iszapszemcséket, melyeket egészen a víz felszínéig emelnek. A gázbuborékok szétpattanása után az iszaprögök visszasüllyednek a kamra aljára. Az iszapréscskek függőleges irányú mozgása miatt az elfolyó víz valamennyi iszapot magával visz. Annak érdekében, hogy a medencéből elfolyó víz a lehető legkevesebb lebegőanyagot tartsa, az oldómedencét legalább két kamrásra kell tervezni. Az első kamrában törnék meg a durvább szemcsék ülepedése, míg a másodikban a finomabb szemcséké.

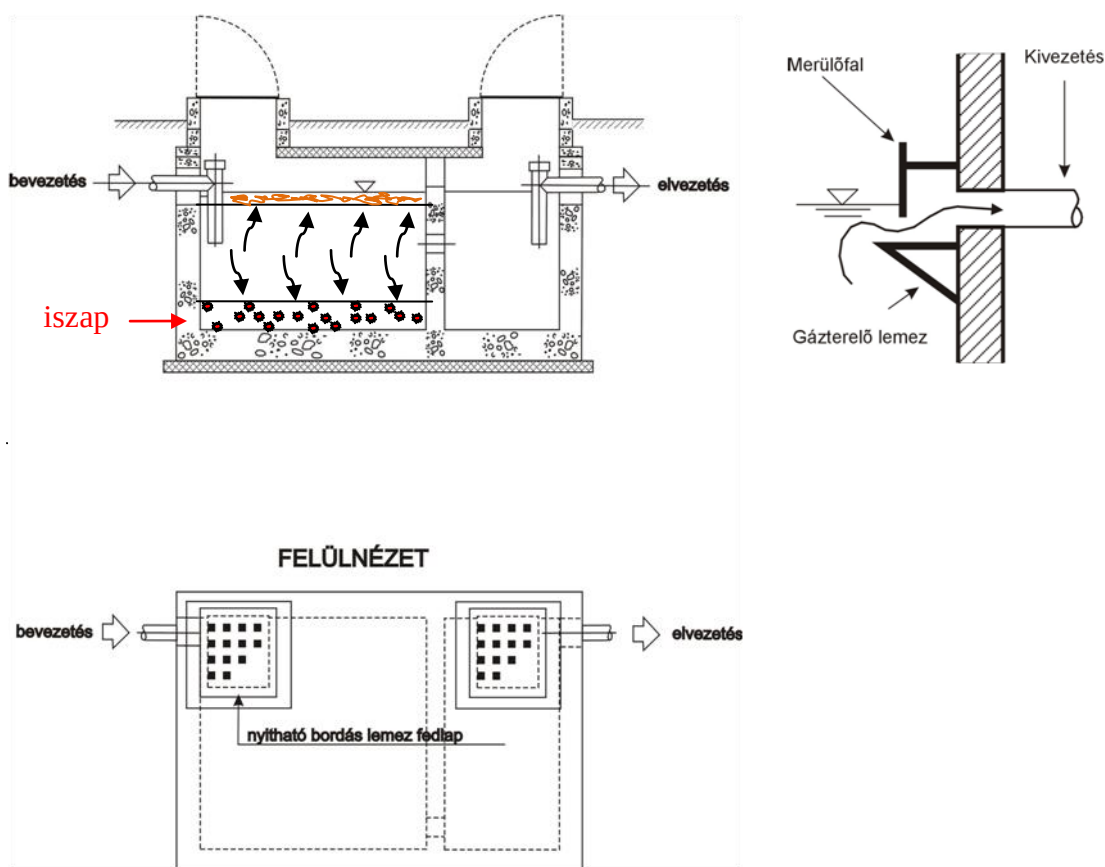
Az oldómedencéből elfolyó víz szikkasztható, vagy további aerob biológiai kezelés (szűrőmező, szűrőágy) után élővízbe vezethető.

A szennyvíz bevezetését T-idommal (6.4 ábra), vagy az áramlás útjában elhelyezett terelőlemezrel kell megoldani, hogy a víz felszínén lévő szennyezőanyagot ne keverje fel. A kamrák közötti átvezetés kb. a vízmélység felső 1/3-ban van, szintén azért, hogy a felúszott és a leülepedett szennyezőanyagok minél kisebb hányada jusson át a következő kamrába. A medencéből elfolyó vizet szintén T-idom, vagy merülőfal segítségével kell elvezetni azért, hogy a vízfelszínen lévő iszap ne ússzon el az elfolyó vízzel. Ezzel az oldómedence hatásfoka növelhető.

A kamra levegőzését nem igényel, de az iszap elszállítása és a medence működésének ellenőrzése miatt a kamrák felett egy eltávolítható fedlapú lebúvó nyílást kell kialakítani, melyek kb 20 cm-re a földfelszín felett legyenek. Az első kamrából 1-2 évente, a másodikból ennél ritkábban van szükség a leülepedett iszap elszállíttatására.

Az Egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmények (VITUKI Consult Rt., 2004) című tervezési segédlet tartalmazza az oldómedence tervezésénél figyelembe veendő méretezési értékeket. Kétkamrás oldómedence építése esetén a két kamra térfogatát 2:1 arányban kell kialakítani, és az össztérfogat minimum 3 m^3 legyen. Az iszapréteg felett legalább 0,9 m vízmélységet kell biztosítani, a vízszint felett pedig egy 0,3 m légteret.

Az oldómedence szükséges térfogatát az ellátandó személyek vízfogyasztásából és a szennyvíz medencében való tartózkodási idejének (minimum 3-6 nap) függvényében határozható meg, de minimálisan 3 m^3 kell, hogy legyen.



6.4 ábra: Oldómedence metszete és felülnézete, és az elvezetés kinagyított rajza

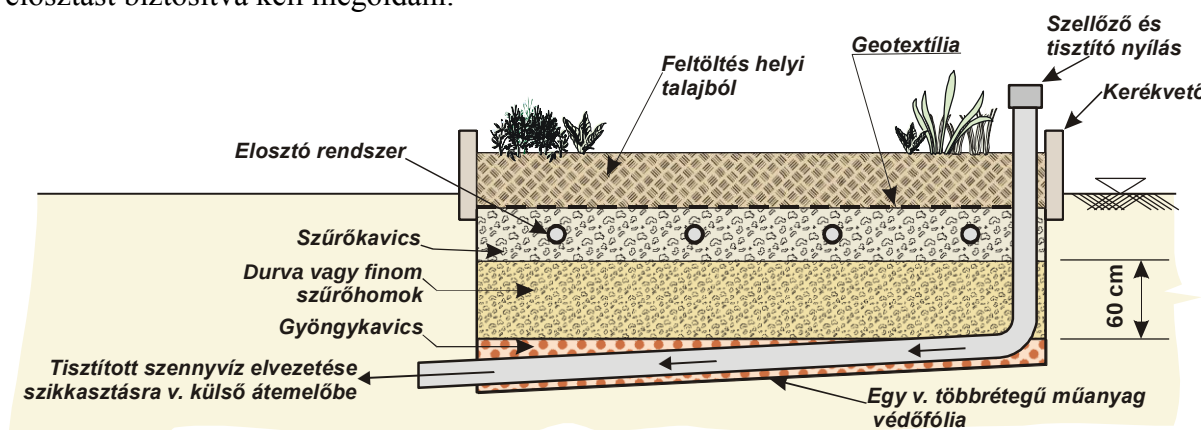


Az oldómedencéből elfolyó víz egy szükség esetén egy adagoló aknába kerül. Az adagoló aknára akkor van szükség, ha például a magas talajvízszint miatt kiemelt, dombos szikkasztást kell alkalmazni, és a vizet fel kell emelni. Ebben az aknában elhelyezhető egy szintvezérelt szivattyú, ami továbbítja a szennyvizet az osztóaknára. A dréncsövekbe közvetlenül nem lehet benyomni a szennyvizet, mert az a szikkasztó árok kimosódását okozhatja, ezért van szükség az osztóaknára.

Az **osztóakna** a dréncsőhálózat súlypontjában helyezkedik el. Feladata a dréncső szakaszos elárasztásának, valamint a párhuzamosan működő dréncsövek egyenletes szennyvízterhelésének biztosítása. Ezt általában bukó éllel valósítják meg.

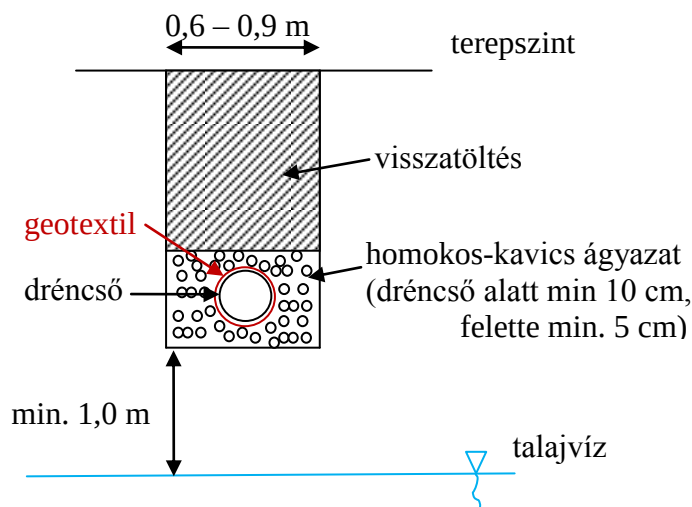
A **homokszűrő** (6.5 ábra) alkalmazásával növelhető létesítmény tisztítási hatásfoka, illetve egyes kedvezőtlen körülmények esetén (nagy áteresztőképességű talaj, magas talajvíz, kevés rendelkezésre álló terület, stb.) a hagyományos szikkasztómezős megoldás helyett vagy azzal együtt szokták alkalmazni. A szakaszos üzemű homokszűrő felszínén kerül elosztásra az oldómedencéből elfolyó víz, és a homokréteg alján pedig összegyűjtik, és szikkasztják. A homokszűrőben aerob körülmények mellett szervesanyag eltávolítás és nitrifikáció (ammónium nitráttá alakítása) zajlik le a homokszemcséken megtelepedett mikroorganizmusok segítségével. Az anaerob mikroklímában lejátszódnak a denitrifikációs folyamatok, valamint a fizikai és kémiai szorpciónak köszönhetően a speciális szennyezőanyagok eltávolítása is megtörténik.

A homokszűrő kialakításánál lényeges, hogy a szűrőárok alsó síkja szigetelt, vízzáró legyen, és legalább 0,3 m-rel a talajvízszint felett helyezkedjen el. A homokszűrő tervezésekor 0,25-0,35 m³/d-os terhelést lehet figyelembe venni. A szűrő elárasztását szakaszosan és egyenletes elosztást biztosítva kell megoldani.

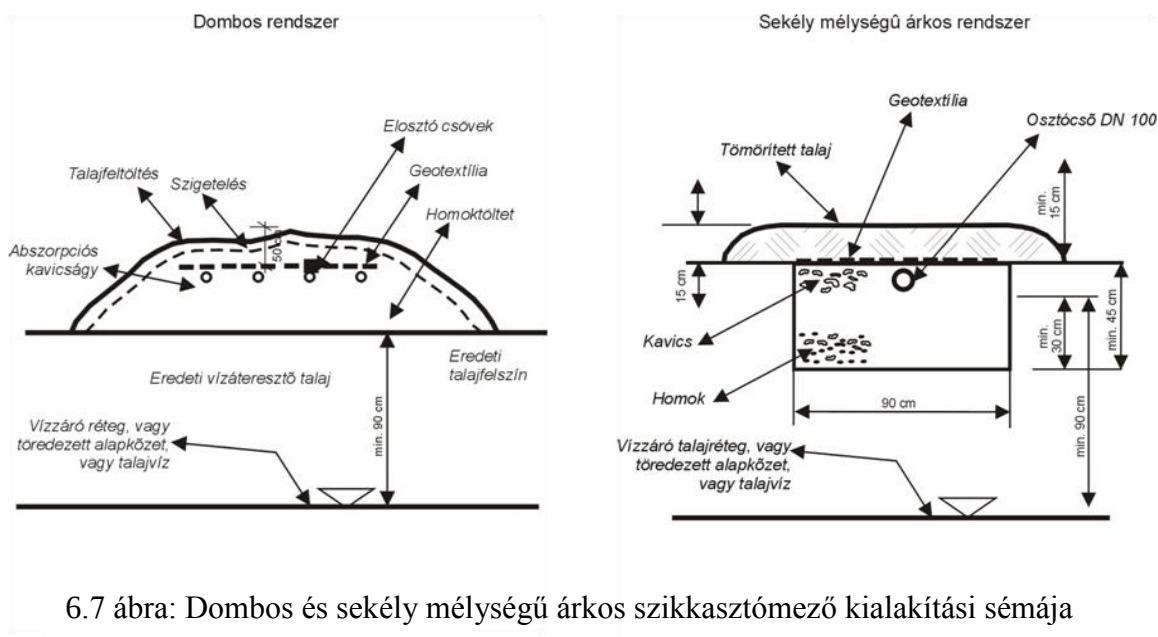


6.5 ábra: Homokszűrő kialakítása

A **szikkasztó mező** a 60 cm vagy 90 cm szélességű kavicságyba fektetett dréncsövekből áll. Az árok mélysége legalább 50-70 cm legyen, és az árok alja és a talajvíz maximális szintje között legalább 1 m-nek lennie kell (6.6 ábra). Ha ez nem valósítható meg, akkor dombos szikkasztást kell alkalmazni (6.7 ábra). A dréncső egy 100 mm átmérőjű perforált cső, ami a szennyvíz talajba szivárgását biztosítja. A talajtérben elsősorban a szennyvíz aerob lebontását kívánjuk biztosítani annak érdekében, hogy a nitrifikáció ne rekedjen meg a NO₂⁻ képződésénél.



6.6 ábra: A dréncső és az ágyazat keresztmetszete



6.7 ábra: Dombos és sekély mélységű árkos szikkasztómező kialakítási sémája

A szikkasztó dréncsőhálózat $1,0-75 \text{ m}^3/\text{d}$ teljesítményig alkalmazható

A szikkasztó mező egy fizikai, kémiai és biológiai tisztítást biztosít a rávezetett szennyvíznek. Az aerob biológiai tisztítást a talajszemcsék felületén kialakult biofilmben megtelepedett mikroorganizmusok végzik, miközben a szennyvíz keresztül folyik rajta. Az oxigén biztosítása miatt a dréncső végén szellőztető csövet kell kialakítani. Továbbá a szakaszos elárasztás is a talaj oxigénpótlását biztosítja, mivel két elárasztás között oxigén tud a talajba jutni. A talajszemcsék felületén kialakult biofilm fokozatosan vastagszik, ahogy a mikroorganizmusok száma nő, így egy idő után a talaj eltömődik. Emiatt a tervezésnél meghatározott szükséges csőhossz kétszeresét kell kiépíteni. Így miután az egyik szűrőmező talaja eltömődött, a másik szűrőmezőt lehet alkalmazni, és ez idő alatt az eltömődött talaj regenerálódni tud.



A dréncsövek szükséges hosszát a rávezetendő szennyvíz mennyisége és a talaj típusa határozza meg. Minél kisebb a szivárgási együttható, annál hosszabb csőhálózatra van szükség. A dréncsövek lejtése 2‰, hogy a szennyvíz a teljes csőszakaszon egyenletesen szivárogon a talajba. A dréncsöveket egymástól legalább 2 m távolságban kell elhelyezni, és maximum 25 m hosszú lehet. A dréncsövek eltömődését geotextiliával kell megakadályozni. A méretezéshez célszerű a helyszínen un. szikkasztási próbát végezni, ami alapján meghatározható a szükséges szivárogtató felület nagysága, melyet a talajtípustól függően állapítottunk meg. Ha a legfelső talajréteg tulajdonságai kedvezőtlenek (pl. kellő tisztítási hatékonyságot nem biztosító kavics), talajcserét kell alkalmazni.

A **szellőztető csöveket** a dréncsövek végén, 100 m²-enként minimum egyet kell elhelyezni a talaj oxigénpótlásának biztosítása érdekében.

6.2 táblázat: Tisztítási hatásfokok technológiáinként (VITUKI Consult Rt., 2004)

Megnevezés	Tisztítási hatásfok							Coli
	BOI ₅	KOI	Összes lebegőanyag	Összes nitrogén	NH ₃	NO ₃	Összes foszfor	
Oldóakna	30-35%	30%	75-80%	5%	-	-	10-15%	90-99%
-egyszerű	35-40%	45%	80-85%	5-10%	-	-	10-15%	90-99%
-bővített								
Oldómedence	30-35%	30%	75-80%	5-10%	-	-	10-15%	90-99%
-egyszerű	35-40%	45%	80-85%	10%	-	-	10-15%	90-99%
-bővített								
Szikkasztó dréncsőhálózat	60%	15-20%	30-40%	50%	50-60%	-	40%	90-99%
-alatta 1 m-rel	95-99%	90-95%	90%	80-85%	95-99%	50%	95%	90-99%
Kiemelt (dombos) szikkasztás	90%	80-85%	90%	50%	90%	50%	90%	90-99%
Homokszűrő árok és mező	80-90%	90%	85-90%	35-60%	90-95%	-	20-35%	90-99%
1. változat	95-98%	90-95%	85-90%	80%	95-99%	50%	95%	99,9%
2. változat	95-98%	90-95%	85-90%	80%	95-99%	50%	95%	99,9%
3. változat	95-98%	90-98%	98%	80-85%	95-99%	50%	95%	99,9%
4. változat	98-99%	98-99%	99-99,8%	88-95%	99%	50%	97%	99,9%
5. változat	98-99%	98-99%	99-99,8%	88-95%	99%	50%	97%	99,9%
6. változat	98-99%	98-99%	99-99,8%	88-95%	99%	50%	97%	99,9%
7. változat	98-99%	98-99%	98-99%	90-93%	99%	75%	99%	99,9%

1. változat: Egyszerű oldómedence és hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) dréncsővezetett szikkasztó rendszer
2. változat: Egyszerű oldómedence és hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) dréncsővezetett szikkasztó rendszer, adagoló szivattyúval
3. változat: Bővített oldómedence, kis mélységű, homokkal töltött árkos szikkasztó rendszer és adagoló szivattyú
4. változat: Bővített oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrővel és hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) dréncsővezetett szikkasztó rendszer
5. változat: Bővített oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrő, hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) homokszűrő árokból álló szikkasztó rendszer és adagoló szivattyú



6. változat: Bővített oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrő, kis mélységű szikkasztó árok és adagoló szivattyú
7. változat: Bővített oldómedence, homokszűrő és dombként kiemelkedő rendszer, adagoló szivattyúkkal

Hagyományos, egyedi rendszerek beruházási és működési költségei (2005. évi árszint)

Az oldómedence építési költségeit (zsaluzás, betonozás, vasalással és a fedlappal együtt) 60 000 Ft/m³-re becsülhetjük.

A tisztítási hatásfok növelhető, ha a szikkasztás előtt az előülepített szennyvizet homokszűrőn vezetjük keresztül. Ezek a megoldások az építési költségeket mintegy 30-50 %-kal növelik a hagyományos szikkasztó rendszerhez képest.

A szikkasztó rendszer költségéhez átlagosan 1 m-es mélységű, 60 cm széles drénárokba elhelyezett DM 100-as perforált dréncső elhelyezése 6 000 Ft/m.

Az alábbi táblázatban (9.3 táblázat) az egy családi ház (4 fő) esetén felmerülő építési költségeket látjuk. Ehhez figyelembe vettük az oldómedence vízfogyasztástól függő térfogatigényét, a talajtól függő szikkasztó felületet és a telek méretétől függő csatorna fektetési hosszakat. Kavicsos talajnál a tisztítási hatékonyság fokozására talajcsere szükségességét feltételeztük, ami a szikkasztási költségeket 50%-kal növeli. A szikkasztási felületnél + 30% tartalékkal számoltunk a rendszer szakaszos üzemeltetése miatt (pihentetés). Az egyedi létesítmények üzemeltetési költségeinél az oldómedence évenkénti tisztításán és szivattyús üzem esetén a szivattyúzás energiaigényén kívül egyéb költségekkel nem kell számolni. Az amortizációt is figyelembe véve (50 éves élettartammal számítva) a rendszer éves költsége maximum 15 – 20 000 Ft/telek. A vízfogyasztástól függően ez 80 – 150 Ft/m³ szennyvízdíjnak feleltethető meg, tehát lényegesen olcsóbb a csatornás, központosított megoldásnál.

6.3 táblázat: 4 fő szennyvizének tisztítására és elhelyezésére alkalmas egyedi kislétesítmény becsült beruházási költségei (ezer Ft/létesítmény)

Teleknagyság m ²	Vízfogyasztás l/nap	Talajtípus			
		kavics	homok	hom. iszap	iszap
2500	80	373	361	409	457
2000	100	413	398	458	518
1600	120	455	437	509	581
1200	140	495	474	558	642
1000	160	541	517	613	709
800	180	587	560	668	776
600	200	631	601	721	841



Az egyedi szennyvíz elhelyezési kislétesítmények lehetséges elemei

Előkezelő kisműtárgyak:

- oldómedence (családi házak esetében)
- olajfogó aknák (éttermek, mosodák, szerviz állomások stb. esetében)
- Imhoff (kétszintes) akna

Közbenső szennyvíztisztító egységek, ha szükséges:

- közbenső homokszűrő
- recirkulációs durvahomokágyas szűrő
- szakaszos üzemű finomhomok szűrő
- szivattyús adagolású sekély árkos homoktöltetű elhelyező mező

Utótisztító és elhelyező egységek:

- elhelyező mező
- elhelyező ágy
- (elhelyező akna)

Speciális rendszerek:

- dombos rendszerek
- újrahasznosító teljes recirkulációs rendszer
- szürke vizes rendszerek

A rendszer kialakításának lehetséges megoldásai:

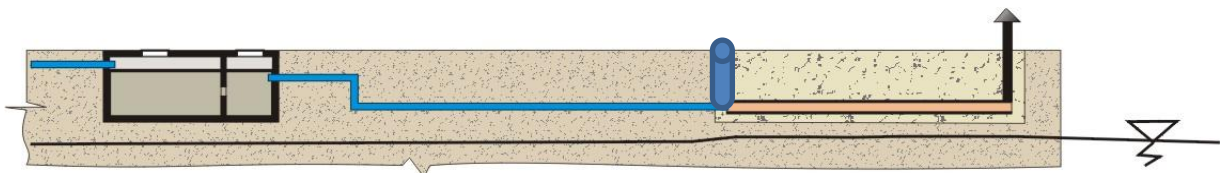
- gravitációs átfolyású
- szifonos adagolású
- szivattyús adagolású

A rendszer üzemeltetésének lehetséges megoldásai:

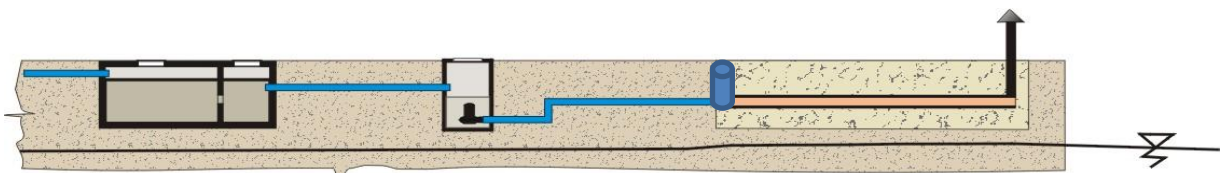
- váltakozó üzemmód
- szakaszos üzemmód

A technológiai kialakítás jellemző változatai:

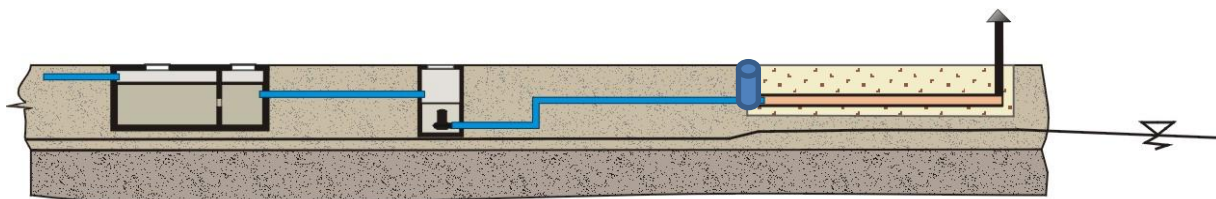
1. változat: Egyszerű oldómedence és hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) dréncsövezett szikkasztó rendszer osztóaknával



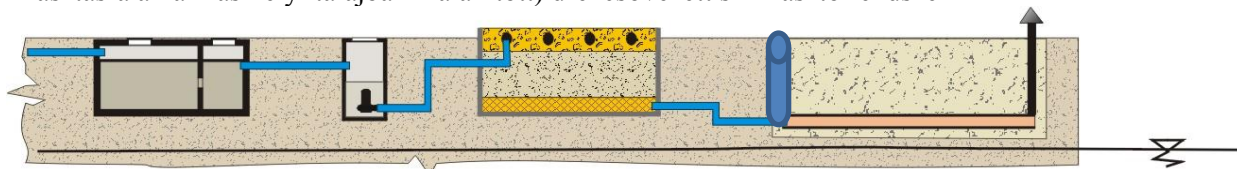
2. változat: Egyszerű oldómedence és hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) dréncsövezett szikkasztó rendszer, adagoló szivattyúval és osztóaknával



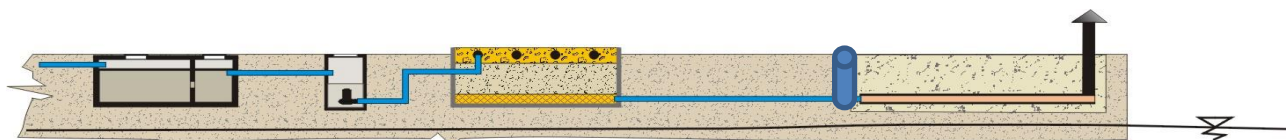
3. változat: Bővített oldómedence, kis mélységű, homokkal töltött árkos szikkasztó rendszer, adagoló szivattyú és osztóakna



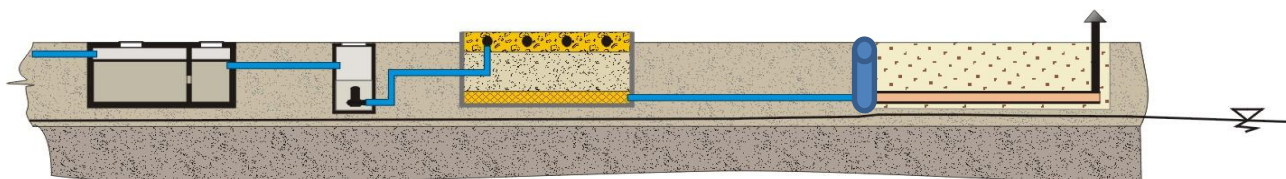
4. változat: Bővített oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrővel, osztóaknával és hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) dréncszövezett szikkasztó rendszer



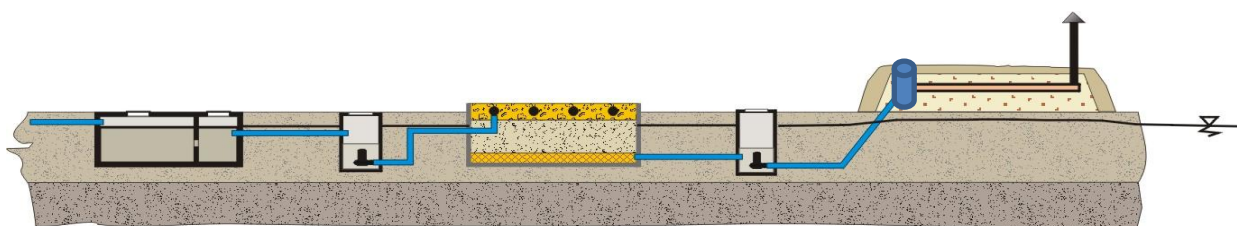
5. változat: Bővített oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrő, hagyományos (szikkasztásra alkalmas helyi talajban kialakított) homokszűrő árokból álló szikkasztó rendszer, adagoló szivattyú és osztóakna



6. változat: Bővített oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrő, kis mélységű szikkasztó árok, adagoló szivattyú és osztóakna



7. változat: Bővített oldómedence, homokszűrő és dombként kiemelkedő rendszer, adagoló szivattyúkkal és osztóaknával

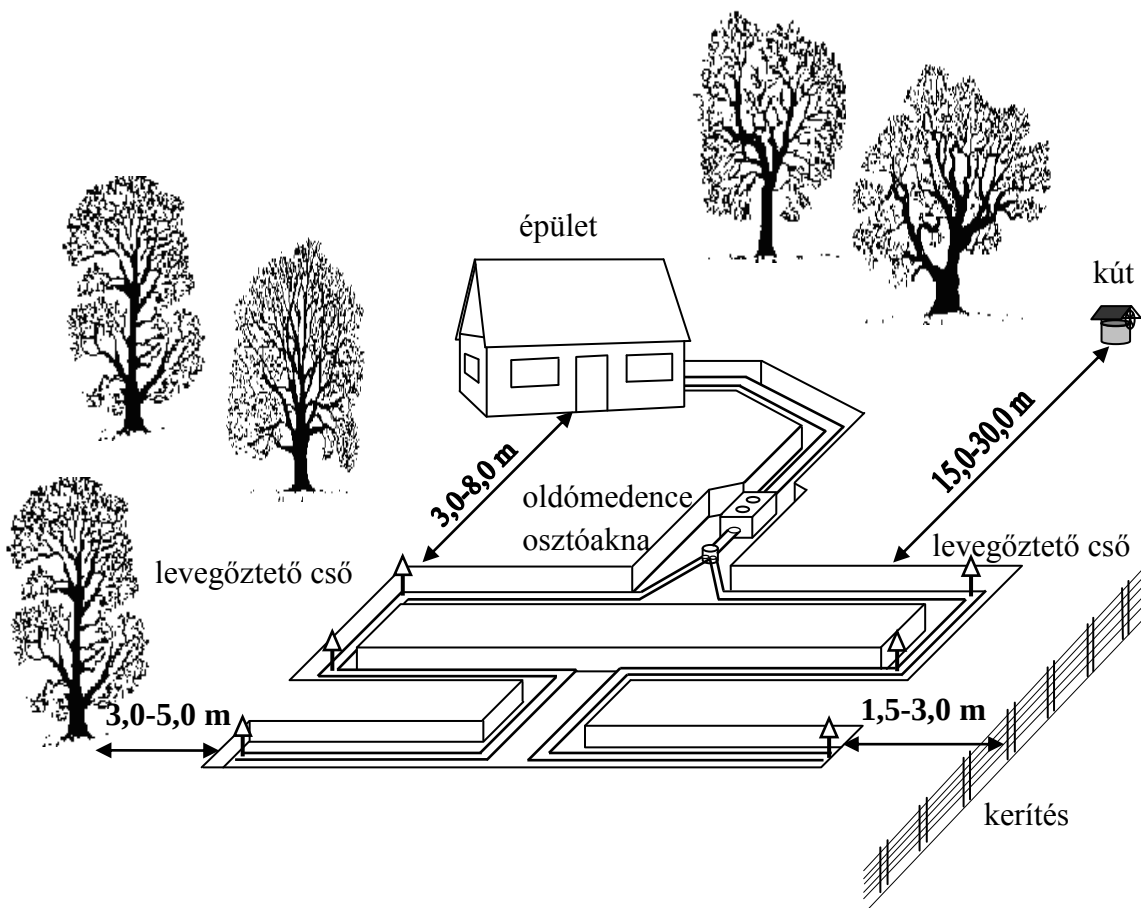


A műtárgyak elhelyezési kritériumai

Az ellenőrző akna, oldómedence, adagolóakna és osztóakna is vízzáró, így onnan nem tud elszivárogni a szennyvíz, ami a talaj, talajvíz szennyezését, illetve építmények károsodását okozná. Az oldómedencénél azt kell figyelembe venni, hogy az évenkénti iszap eltávolítását szippantós autóval végzik, így biztosítani kell az akadálytalan hozzáférést. Ez azt jelenti, hogy a kerítéstől/kapubejárótól 10-15 m-nél messzebb nem célszerű elhelyezni.

A szikkasztómező telken belüli elhelyezése során néhány védőtávolságot be kell tartani (6.8 ábra):

- Kerítéstől 1,5-3,0 m.
- Kúttól 15,0-30,0 m. A kút vizének patogénekkal és nitrittel való szennyezésének elkerülése miatt.
- Mély gyökerzetű növények (pl. fák) közelében sem ajánlott, mert a gyökér megsértheti a dréncsövet. Ajánlott távolság: 3,0-5,0 m.
- Az épület alapozásától is 3,0-8,0 m távolságban kell elhelyezni a dréncsöveket.



6.8 ábra: Védőtávolságok a szűrőmező kialakításánál

6.4 táblázat Az egyedi szennyvíz-elhelyezési rendszerek alkalmazási lehetőségei a helyi körülmények függvényében (VITUKI Consult Rt., 2004)

Rendszer		Helyi adottságok					
		Normál helyi körülmények	Problémás területek				
			A talaj vízáteresztő képessége alacsony	Áthatol-hatatlan alap-kőzeten sekély homok réteg	Töredezett alapkőzeten sekély homok réteg	A talaj vízáteresztő képessége magas	Magas talajvíz
2 lépcsős	1. Oldómedence, hagyományos (helyi talajban kialakított) elhelyező mezővel	Igen	Igen	Nem	Nem	Nem	Nem
2 lépcsős	2. Oldómedence, hagyományos (helyi talajban kialakított) elhelyező mezővel, adagoló szivattyúval	Igen	Igen	Nem	Nem	Nem	Nem
2 lépcsős	3. Oldómedence, sekély mélységű, homokkal töltött árkos elhelyező mezővel, adagoló szivattyúval	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
3 lépcsős	4. Oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrővel és hagyományos (helyi talajban kialakított) elhelyező mezővel	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
3 lépcsős	5. Oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrővel és hagyományos (helyi talajban kialakított) árkokból álló elhelyező mezővel, adagoló szivattyúval	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
3 lépcsős	6. Oldómedence, váltakozó üzemű homokszűrővel, sekély mélységű szikkasztó árkokkal, adagoló szivattyúval	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen
3 lépcsős	7. Oldómedence, homokszűrővel és dombként kiemelt elhelyező rendszerrel, adagoló szivattyúval	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen	Igen



6.5 táblázat: Az egyedi rendszerek egyes elemeinek várható tisztítási eredményei, a szennyező anyagok koncentrációjában (VITUKI Consult Rt., 2004)

Paraméter		Nyers szennyvíz	Oldómedence elfolyó vize	Az elhelyező árok fenéke alatt 30 cm-rel	A szivárogtató árok fenéke alatt 90 cm-rel	A szakaszos üzemű homokszűrő elfolyó vize	A recirkulációs durvahomok töltetű szűrő elfolyó vize
Szerves anyag (BOI ₅)	mg/l	210-530	140-200	0	0	<10	<15
Lebegőanyag (LA)	mg/l	237-600	50-90	0	0	<10	<15
Összes nitrogén (TKN)	mg/l	35-80	25-60	-	-		
Ammónia (NH ₃ -NH ₄ ⁺)	mg/l	7-40	20-60	20**	-	<0,5	<0,5
Nitrát (NO ₃ ⁻)	mg/l	<1	<1	40**	40**	25	25
Összes foszfor (P _{tot})	mg/l	10-27	10-30	10**	1**	10 ² -10 ⁴	
Fertőző baktérium (Fecal coli)	MPN/100 ml	10 ⁶ -10 ¹⁰	10 ³ -10 ¹⁶	0-10 ²	0	10 ² -10 ⁴	10 ² -10 ⁴
Vírusok	PFU/ml*	ismeretlen	10 ⁵ -10 ⁷	0-10 ³	0	n.a.	n.a.

*: plaque forming units - fertőzést képező elemek

** : az érték a háttérérték és a megadott érték között változik



Vonatkozó jogszabályok

Az egyedi szennyvízkezeléssel összefüggésben az alábbi jogszabályok előírásait szükséges figyelembe venni:

- **1995. évi LIII. törvény** a környezet védelmének általános szabályairól
- **1995. évi LVII. törvény** a vízgazdálkodásról
- **2003. évi LXXXIX. törvény** a környezetterhelési díjról
- **72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet** a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról
- **18/1996. (VI. 13.) KHVM rendelet** a vízjogi engedélyezési eljáráshoz szükséges kérelemről és mellékleteiről
- **123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet** a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízi létesítmények védelméről
- **240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet** a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről
- **25/2002. (II. 27.) Korm. rendelet** a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programról
- **26/2002. (II. 27.) Korm. rendelet** a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programmal összefüggő szennyvízelvezetési agglomerációk lehatárolásáról
- **219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet** a felszín alatti vizek védelméről
- **220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet** a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
- **27/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet** a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területeken lévő települések besorolásáról
- **28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet** a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól
- **27/2005. (XII. 6.) KvVM rendelet** a használt- és szennyvizek kibocsátásának ellenőrzésére vonatkozó részletes szabályokról
- **30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet** a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokról
- **147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet** a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról

Irodalom

Bilics A. Egyedi szennyvízelhelyezések környezeti - közegészségügyi hatásai.

Asano Takashio: Wastewater reclamation and reuse, 1998.

Egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmények. Környezetvédelmi és műszaki irányelvek.

VITUKI Consult Rt., Budapest, 2004 november.

Némédi L.: A mikrobiológiai kockázat becslése a vízellátás, csatornázás és a fürdőhigiéne területén, 1998.

Szabó I. M.: A bioszféra mikrobiológiája III., 1989.

Szerényi G., Altbacker V., Berend M.: Biológia I., 1993.

KvVM Egyedi szennyvízelhelyező berendezések, Útmutató, 2006.



<http://www.esovizgyujtes.hu/Szennyviztechnika/Szennyvztisztitok> (2012.08.07.)

<http://antsz.dyndns.org/info/ivovizb.php> (2012.08.07.)



7. Hulladékgazdálkodás a településeken

A városi anyagforgalom (metabolizmus) jelentős kimenetét képezik a hulladékok.

Anyagáramok

„A Föld élő bolygó, az ember élő szervezet, a társadalom élő rendszer. Az élet nem más, mint anyagformák folyamatos egymásba alakulása, mozgása. Az ezekben a folyamatokban résztvevő anyagok mozgását a továbbiakban anyagáramlásnak, a mozgásban (alakulásban) lévő (valamilyen szempontból homogén) anyagmennyiségeket, tömeg/ido dimenzióban kifejezve, anyagáramoknak nevezzük.” (Takáts Attila)

A természetben lezajló átalakulások a negatív visszacsatolás elvén működő körfolyamatok formájában mennek végbe: a folyamatokban résztvevő tényezők változásai szabályozólag hatnak vissza egymásra, azaz egymást pufferelni képesek (pl.: víz körforgása). A természeti ciklusok ennek köszönhetően „hulladékmentesen” záródnak. A természeti folyamatok szerves kapcsolatban állnak egymással. A városainkban történő folyamatok, az ember által indukált, ún. társadalmi anyagáramok esetén mindez nem mondható el: a társadalmi anyagáramoknak kezdő- és végpontja van (melyek nem esnek egybe), legfeljebb néhány ezer évig tartanak, nem állnak fent közöttük szerves kapcsolatok, a hulladékképződés pedig – mivel a természetes negatív visszacsatolás itt már nem képes kompenzálni a hulladékképződés ütemét – a fogyasztásból adódóan szükségszerű. A mozgásban lévő anyagmennyiség mindeközben az emberi igényekből fakadóan tovább növekszik.

Hulladék

„Hulladéknak nevezzük mindazokat az anyagi jellegű dolgokat, amelyeket tulajdonosuk, vagy az általa erre felhatalmazott személy (mivel az adott körülmények között sem hasznosítani, nem értékesíteni nem tudja /kívánja/) hulladékká minősít.” (Takáts Attila)

A hulladékok tehát az ember fizikai tevékenységből származnak. Két nagy csoportjukat különböztetjük meg: termelési és fogyasztási hulladékok.

Fogyasztási hulladékok

Mivel a fogyasztási tevékenységek többnyire településeken zajlanak, a fogyasztási hulladékok a települési hulladék jelentős részét képezik. Ennek alcsoportjai:

- települési szilárd hulladék (közismert nevén a „szemét”)
- települési folyékony hulladék (iszapok, kommunális szennyvíz).

A települési szilárd hulladék világszerte ugyanazokból a frakciókból tevődik össze, azonban a frakciók aránya térben és időben eltérő. Komponensei a következők: élelmiszer (primer biomassza) eredetű, papír műanyag, fém, üveg, textil, fa, bőr, de lehetnek veszélyesnek minősülő és „inert” (ártalmatlan) anyagok is. Az egyes komponensek mennyiségi arányának változását két dolog befolyásolja: a helyi klíma, valamint az általános jólét mértéke. A melegebb évszakokban és a szegényebb országokban nagyobb a primer biomassza aránya, jómódú országokban a csomagolási hulladékok (papír, műanyag) jellemzőek. A települési



szilárd hulladékok környezetszennyező hatásai (nem megfelelő bánásmód esetén) a következők: a könnyen mozgó frakciók szétszóródnak a környéken, nem megfelelő szigetelés esetén pedig a csurgalékvíz (a hulladékon átszivárgó, abból bizonyos komponenseket kioldani képes víz, amely származhat csapadékból és a hulladék folyadéktartalmából is) szennyezi a talajt, a felszíni és a felszín alatti vizeket, valamint fertőző betegségeket is közvetíthet.

A települési folyékony hulladék nagy részét a közcsatornán el nem vezetett kommunális szennyvíz adja. Ezt két összetevőre bonthatjuk: a kisebb szervesanyag-tartalmú szürke szennyvízre (fürdés, mosás, takarítás szennyvizei) és a szervesanyag-tartalom többségét hordozó, ugyanakkor sokkal kisebb mennyiségű fekete szennyvízre (humán metabolizmus végtermékeit tartalmazó szennyvíz). A két komponens aránya életviteli tényezőktől függ. Szintén települési folyékony hulladéknak tekinthetők a különböző csatornaiszapok. A folyékony hulladékok a környezetet jelentősen károsíthatják nem megfelelően kivitelezett talajvízbe szikkasztás által. Az ilyen módon elhelyezett hulladék ugyanis a talajvizet felhasználásra alkalmatlanná teheti. Az egyik legsúlyosabb következményről már korábban esett szó: a talajvíz nitrát tartalma jelentősen növekszik, amely – ha a talajvízből látják el az ivóvíz-szolgáltatást – methemoglobinemiát („kék csecsemő” szindrómát) idézhet elő (kb. 40 mg/l-es koncentráció esetén).

Termelési hulladékok

A termelési hulladékok főként az őket létrehozó termelési technológia révén nevezhetők meg. Mivel rengetegféle technológia létezik, a termelési hulladékok csoportosítása nehéz. Néhány szempont alapján megkülönböztethetünk:

- technológiai, illetve amortizációs;
- veszélyesnek minősülő, illetve veszélyesnek nem minősülő hulladékokat.

Áttekinthető és következetes elnevezési rendszer híján e hulladékok számára különféle jegyzékeket hoztak létre, amely aszerint tartalmazza a hulladékok listáját, hogy *i)* mi a hulladékot létrehozó technológia, vagy *ii)* mely jellemző komponens(ek)ből áll. Ismertes még néhány, számokból álló, azonosításra – nemzetközi szinten – mérsékelten alkalmas kódlista is. Ezek részletes ismertetése túlmutat a tárgy keretein.

Hulladékok mennyisége

A települési szilárd hulladék mennyisége a felesleges termékek megjelenése (túlzott csomagolás) és a termékek élettartamának csökkenése következtében rohamosan növekszik; nem csupán tömegében, hanem térfogatában is (utóbbi a tömegnél is gyorsabban). Egyes becslések szerint a városi szilárd hulladék éves mennyisége a jelenlegi 1,3 milliárd tonnáról 2,2 milliárd tonnára fog növekedni 2025-re, kezelésének éves költsége pedig a mostani 205 milliárd dollárról 375 milliárd dollárra emelkedik. A fejlettebb országokban széles körben kiépült szennyvízcsatorna-hálózatnak köszönhetően a települési folyékony hulladék mennyisége csökkent, azonban a fejlődő országokban ez még mindig általános problémát jelent. A termelési hulladékok mennyisége – a termelés volumenétől és az alkalmazott technológiától függően – relatíve szintén nagy.

Hulladékgazdálkodás („Waste management”)



A hulladékokkal kapcsolatos fizikai-műszaki tevékenységeket összefoglalóan hulladékgazdálkodásnak nevezzük.

A hulladékgazdálkodás az alábbi fizikai-műszaki tevékenységeket tartalmazza:

- hulladékká válás megelőzése
- a hulladéknak a gazdasági folyamatokba történő visszavezetése, azaz a hasznosítás (társadalmi szinten)
- egyéni célra történő felhasználás
- a szennyező anyaggá válást megakadályozó tevékenység, végső elhelyezés
- kisegítő tevékenységek, melyek közösek a fent említettekben: pl. szállítás, gyűjtés, tárolás, előkezelés

Megelőzés

A hulladékká válás megelőzésének gondolata az 1970-es években merült fel. Ekkor fogalmazódott meg a „hulladékmentes technológiák” elve is: *„A hulladékmentes technológia a tudásnak, a módszereknek és az eszközöknek olyan gyakorlati alkalmazása, amely – figyelemmel az emberi szükségletekre – lehetővé teszi a természeti erőforrások és az energia legcélszerűbb használatát, és védi a környezetet.”* A gondolat ma is a fenntarthatóság egyik alapköve. A megelőzés technológiai szemszögből nézve azt jelenti, hogy a termelési folyamatba bevitt anyagok lehető legnagyobb része kerüljön bele a végtermékbe (az ún. anyaghatékonyság növelése révén), azonban ennek érvényesítése nehézségekbe ütközik: a gazdasági szempontok alapján ez egyértelműen külső beavatkozást jelent a technológiai folyamatba (akár új technológia kiépítését is jelentheti, ami nem olcsó). A beavatkozások három csoportra oszthatók:

- technológiai (technológiai fegyelem),
- termékre irányuló, de a technológiát is érintő („bölcstől a sárig tervezés”),
- termék-centrikus irányúakra (főleg termékek korlátozása).

Hasznosítás

„Hulladékhasznosításnak nevezzük a korábban hulladékká minősített (a gazdasági tevékenység köréből kivezetett) anyag(ok)nak a gazdasági tevékenység körébe történő visszavezetését, reaktiválást (a hulladék mivolt megszűnését).”

A definíciót pontosítani kell bizonyos peremfeltételek megadásával:

- a hulladék-reaktiválást végző technológiában szükség legyen a bevezetett hulladékra (nagy értékű alapanyag kiváltása, vagy új, jobb termék előállítása céljából);
- az új, hasznosítást végző technológiában nem maradhat vissza az eredetihez képest veszélyesebb vagy nagyobb mennyiségű hulladék;
- a hulladék, vagy annak bármely komponense ne legyen eltávolítható a termékből.

Felhasználás



A felhasználáson inkább egyéni tevékenységet lehet érteni, azaz hasznot leginkább csak a felhasználó számára hozó tevékenységről van szó. Példaként említhető a hulladék tüzelése, ami világszerte bevett gyakorlattak számít. Itt a hulladék – folyamatos keletkezéséből adódóan – „megújuló energiaforrásként” is aposztrofálható, azonban megjegyzendő, hogy az ilyen jellegű felhasználásból több probléma is származik. A hulladék tekintélyes része például nem megújuló energiaforrásból készül (műanyagok), égése során pedig számos légszennyező, egészségkárosító anyag keletkezik.

Egy másik példa a komposztálás, ami tulajdonképpen a mérsékelt égővben folyamatosan lezajló humuszképződésnek (csernozjom talaj) „művi” formája. Lényege, hogy aerob (mikro)biológiai úton a természetes szerves anyagok (nem csak primer biomassza) nagy humusztartalmú talajjavító anyaggá, komposztá alakulnak át. Az eljárás során vizsgálni kell a komposztálásra kerülő hulladék esetleges mérgezőanyag tartalmát, különös tekintettel a nehézfém komponensek jelenlétére. Ezután ki kell választani a komposztálást végző ágenst (erre a célra a legalkalmasabbak a hulladékokban amúgy is megtalálható gombák, baktériumok), majd a folyamat intenzifikálását kell megvalósítani. A folyamat körülményeinek optimalizálásánál három paraméterről kell gondoskodni: oxigén, víz és tápelemek jelenléte. A műszaki megoldások a természetes folyamat egyszerű lemásolásától (kerti komposztálás) a membránnal takart, levegőztetett prizmán keresztül a kifinomult gépi megoldásokig igen széles választékot ölelnek fel. Ezek közül újabban – elviselhető ára és gyorsasága miatt – egyre inkább a membrántakarós megoldást kedvelik.

Kezelés, végső elhelyezés

„A kezelés fogalmába csak a szennyező anyaggá válást megakadályozó, tehát a lerakást lehetővé és biztonságossá tévő olyan eljárások sorolhatók be, amelyek után (a lerakáson és az esetleg a természetbe való kibocsátáson kívül) más intézkedés nem szükséges.”

Az ide tartozó eljárások elsősorban a szennyező anyagok kioldódásának csökkentését célozzák meg. Egyszerű fizikai eljárás pl. az agglomerálás vagy a bálázás, amely vegyes szilárd hulladék esetén elterjedt megoldás. A kémiai eljárások anyagspecifikusak, csoportosításuk a főbb reakció típusok szerint lehetséges. Ilyen módon megkülönböztetünk sav-bázis semlegesítési, oxidációs-redukciós, csapadékképző, stb. eljárásokat. Két általános, mérsékeltén anyagfüggő eljárás a termikus kezelés és a biológiai lebontás. A termikus kezelés – más néven az égetés – kényszermegoldás, mivel vannak olyan minőségű hulladékok, amiktől „rövid időn belül meg kell szabadulni”, és ezt az égetéssel a legegyszerűbb elérni. Azonban a körülményeknek megfelelő égetés drága, bonyolult berendezéseket kíván. Biológiaiainak azokat az eljárásokat nevezzük, amelyek során a szükséges anyagminőség módosítást élőlényekkel (vagy biokémiai reagensekkel, enzimekkel) végeztetjük el. Ezek az élőlények zömében mikroorganizmusok, de előfordulhatnak magasabb rendű szervezetek is.

A végső elhelyezés általános gyakorlata az ősidők óta művelt hulladéklerakás. Előnyei közé tartozik az olcsósága, egyszerűsége és kézenfekvősége. Hátránya azonban, hogy nagy területet foglal, anyagvesztéssel jár, és biztonsági kockázatokat hordoz magában. A világ éves hulladékprodukcója 10 milliárd tonnás nagyságrendben van, aminek térfogata néhányszor 10 km³. Első hallásra talán nem tűnik nagynak, azonban ez évenkénti és folyamatosan növekvő mennyiség. A lerakási vastagság ritkán haladja meg az 50 métert, átlagosan 20-30 m-ről beszélhetünk. A gond leginkább az, hogy a szükséges területet a sűrűn lakott, fejlett régiókban kell feláldozni (területhiány miatt így sajnos a tengerekbe is igen nagy



menyiségű települési szilárd hulladék kerül). A lerakókban elhelyezett primer biomassza alternatív energiaforrásként is szóba jöhet, a szerves anyagok rothadása eredményeként létrejövő biogáz formájában. Biztonsági kockázatot jelent ugyanakkor a lerakott hulladék szennyező komponenseinek a lerakóból való kiszivárgása, kijutása (megfelelő szigetelés hiányában), ami a talajt és a vizeket egyaránt veszélyezteti. Folyékony hulladékok esetén a hulladék maga oldottan tartalmazza a kockázatot jelentő anyagokat, szilárd hulladék esetén azonban a mobilitás nem adott; valamilyen szállító közeg (levegő, víz, vagy más folyadék), vagy mozgó élőlények szükségesek a kijutáshoz.

A végső elhelyezésnek további két típusa fordul még elő:

- mélyfúrású kútba történő injektálás
- kihelyezés a természetbe (nem lerakóba) vagy mezőgazdasági területre.

Kiegészítő tevékenységek

Ebbe a csoportba tartozik a gyűjtés (és változatai), a begyűjtés (elszállítással kombinált következő gyűjtési lépés, ahol az eszköz és a gyűjtőhely maga az elszállítást végző jármű), a közbelső tárolás, a szállítás különféle megoldásai, valamint az előkezelés-előfeldolgozás.

Gyűjtés

„A gyűjtés a hulladék életciklusában a tároló szerepet tölti be, azaz kiegyenlíti a hulladéktermelés sebessége (kg/h) és az utána következő művelet (kezelés, hasznosítás) kapacitása (szintén kg/h) közötti különbséget, illetőleg megteremti az elszállítás gazdaságosságának (teli szállító jármű) feltételét.”

Gyűjtésről csak akkor beszélhetünk, ha tudjuk, hogy az összegyűjtött hulladék mikor és hova (milyen kezelési, hasznosítási eljárásba) fog kerülni a továbbiakban. A gyűjtéssel szemben támasztott két funkcionális követelmény a következő: a szennyező anyaggá válás (lehetőségének) megakadályozása, és az elkülönítetten gyűjtött hulladékok keveredésének megakadályozása.

Fogyasztási hulladékoknál a gyűjtés eszközei, speciális esetben a gyűjtőhely kialakítása is részletesen szabályozott. Szabványosított, az elszállítást végző „célgépek”-hez (kukásautó) illeszkedő gyűjtőedényzet áll rendelkezésre. A települési folyékony hulladék esetében a gyűjtés tipizált, de sokszor egyedi tervezésű aknában, medencében történik, amelyeknél a méret és a tökéletes vízzáróság a rögzített követelmény.

Szelektív gyűjtés

Települési szilárd hulladék egyes frakcióinak (haszonanyagok, komposztálható, maradék) – első ütemben a haszonanyag frakció alfrakcióinak (papír, műanyag, stb.) – elkülönített gyűjtése a gyűjtés első lépésében, és ennek az elkülönítésnek a fenntartása a továbbiakban is. Célja az egyes frakciókban megjelenő nagy mennyiségű anyag hasznosítási lehetőségének javítása. A nagyobb mennyiséget jelentő, veszélyesnek nem minősülő frakciók számára „gyűjtőpontokat” telepítenek. Ezek 4-8 konténerből állnak, melyekbe a lakosság önként szállítja az előtte szintén önként szétválogatott hulladékot. A konténerek elhelyezése és a környezetbe való esztétikus beillesztése komoly viták forrását képezi (NIMBY: „not in my backyard”, vagyis: „támogatom, amíg nem az én környezetemben zajlik”). Mivel a gyűjtőpont kialakítása és üzemeltetése relatíve olcsó, és nagy mennyiségű anyagot szolgáltat, célszerű



nagy számban, a lakossághoz minél közelebb telepíteni őket (pl. bevásárlóközpontok közelébe). A kisebb mennyiségben képződő, és esetleg veszélyesnek minősülő hulladékok leadására „hulladékudvarok” szolgálnak. Az ilyen módon összegyűjtött hulladékot begyűjtő járatok szállítják el.

Hulladékszállítás

Szállításon a hulladéknak szállító járművel, vagy vonalas létesítménnyel (csővezeték, szállítószalag) végzett helyváltoztatását értjük.

A szállítás során a hulladékkal nem történik – nem történhet – más, minthogy a termelődés helyéről kiindulva a hulladékgazdálkodás fizikai-műszaki tevékenységeinek vonatkozó helyeihez (gyűjtőhely, előkezelési technológia, stb.) „utazik”. A vonalas létesítménnyel történő szállítás manapság rövid távolságokon alkalmazott, és megfelelő kialakítás esetén semmilyen környezetvédelmi problémát nem okoz. A csőhálózatban a hulladék mozgását vákuum végzi, mely a hulladékot egy központi helyre szívja össze. Előnye a mérsékelt üzemeltetési költség, zajmentesség, továbbá nem szükséges szállító járművek alkalmazása a begyűjtési területen. Hátránya a magas beruházási költség, valamint a dugulásveszély. Építése csak két helyen jöhet szóba: nagy lakássűrűségű területeken (lakótelep) és olyan helyen, ahol közműalagút van. A legegyszerűbb példa a házi szemétdobó. Speciális eset a települési folyékony hulladék szállítására kiépített csővezeték: a szennyvízelvezető hálózat. Ebben ugyanis a hulladék – a benne zajló biológiai folyamatok miatt – akaratlanul is átalakuláson megy végbe a szállítás közben.

A továbbiakban a járművel történő szállításról lesz szó. Ez környezeti szempontból a legkockázatosabb művelet, mert ennek során a legnagyobb az esélye annak, hogy a hulladék „eltűnik”, azaz illegális lerakóba kerül, ahol környezetszennyezést okoz. További problémát jelent, hogy ez a legnehezebben ellenőrizhető folyamat: az ellenőrzés jelenleg adminisztratív úton zajlik, azonban ez könnyen kijátszható. A szállítás során három szempontnak kell megfelelni:

- környezetbiztonság,
- közlekedésbiztonság,
- gazdaságosság.

A környezetbiztonság igénye azt jelenti, hogy a feladott hulladék teljes mennyiségének meg kell érkeznie a hatóság által engedélyezett és figyelemmel kísért befogadóhelyre. A közlekedésbiztonság úgy érvényesül, hogy a hulladék esetlegesen bekövetkező rendkívüli esemény (pl. baleset) következtében sem veszélyeztetheti a közlekedési infrastruktúrát, illetve a közlekedés többi résztvevőjét. A gazdaságosság a fuvarozóknak és a fuvaroztatóknak egyaránt igénye, teljesülése a következőkből áll: i) lehető legrövidebb és legkedvezőbb minőségű út; ii) a szállítójármű leterheltsége minél nagyobb legyen, az üresjáratok hossza pedig közelítsen a nullához; iii) minden eszközt arra használjunk, amire való. Ezek a szállítás szokásos logisztikai alapelvei. A települési szilárd hulladékot speciális felépítményű teherautókon, közismertebb nevén a „szemeteskocsin” szállítják. A települési folyékony hulladék szintén szállítható tengelyen („szippantós kocsin”), amelynek speciális felépítménye egy vákuum alá helyezhető tartály. A veszélyesnek nem minősülő hulladékok szállítását bálázva vagy ömlesztve történik (amennyiben garantálható, hogy a szállítás során nem szóródik szét). A veszélyesnek minősülő hulladékok szállítását speciális csomagolásban



történik, amelynek minősége a hulladéktól függ. Különleges, egyedi kialakítású járműveket és csomagoló eszközöket használnak a sugárzó hulladékok számára, mind közúton, mind pedig vasúton.

Előkezelés

Az előkezelések célja az utánuk következő intézkedések (kisegítő tevékenységek és kezelési, hasznosítási tevékenységek) megkönnyítése, lehetővé, olcsóbbá tétele, továbbá a kockázatok csökkentése.

Az előkezelés műveleteit a következőképpen csoportosíthatjuk:

- csomagolás
- méret- és alakváltoztatás
- méret szerinti osztályozás
- fázisszétválasztás
- komponens szétválasztás
- befoglalás, szilárdítás (a kioldhatóság csökkentése)
- kémiai eljárások (reakcióképes komponensek lekötése)
- biológiai eljárások.

Vonatkozó jogszabályok:

- **2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról**
- **445/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet** az elem- és akkumulátorhulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- **443/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet** az elektromos és elektronikus berendezésekkel kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- **442/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet** a csomagolásról és a csomagolási hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- **439/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet** a hulladékgazdálkodási tevékenységek nyilvántartásba vételéről, valamint hatósági engedélyezéséről
- **438/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet** a közszolgáltató hulladékgazdálkodási tevékenységéről és a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás végzésének feltételeiről
- **151/2006. (VII. 21.) Korm. rendelet** az észak-balatoni hulladékgazdálkodási projekt és a Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei hulladékgazdálkodási projekt megvalósításához szükséges egyes közigazgatási hatósági ügyek kiemelt jelentőségű ügyé nyilvánításáról
- **126/2003. (VIII. 15.) Korm. rendelet** a hulladékgazdálkodási tervek részletes tartalmi követelményeiről
- **271/2001. (XII. 21.) Korm. rendelet** a hulladékgazdálkodási bírság mértékéről, valamint kiszabásának és megállapításának módjáról
- **15/2003. (XI. 7.) KvVM rendelet** a területi hulladékgazdálkodási tervekről
- **145/2012. (XII. 27.) VM rendelet** a hulladékolajjal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályairól



Irodalom

Takáts Attila: Hulladékgazdálkodás és környéke (ahogyan én látom)



8. Zaj, rezgés, sugárzás

A hang keletkezése

Valamely test periodikus mozgása (rezgés) által kibocsátott energia, ami rugalmas közegen át jut el az észlelőhöz (ember).

Hang → Zaj

Hármas jelentés:

1. Fizikai fogalom (sajátos energia-terjedés, ami matematikai módszerekkel, fizikai törvényekkel leírható).
2. Fiziológiai folyamat (a hallás, mint az emberi test működésének egyik formája során, az egész test működésében fellépő változások összessége)
3. Pszichológiai jelenség (hangélmény, ami ha kellemetlen, **ZAJ**-ról beszélünk)

A hanghullám jellemzői

A periodikus mozgást végző test a rugalmas közegen hullám formában terjedő energiát változást (nyomásváltozást) gerjeszt.

A közvetítő közeg szerint megkülönböztethetünk:

1. léghangot (gáznemű közegen)
2. folyadékhangot (folyadékban), és
3. testhangot (szilárd közegen, pl. építési szerkezetekben).

A hanghullám három, egymással összefüggő jellemzővel írható le:

1. A terjedés sebessége (c , [m/s], levegőben 340 m/s),
2. A rezgés frekvenciája (f), illetve a periódus idő (T),
3. A hullámhossz (λ).

A hangok frekvencia szerinti csoportosításánál a 20 Hz alatti hangok az infrahangok, a 20 Hz és 16 000 Hz közöttiek a hallható hangok, és a 16 000 Hz felettiek az ultrahangok. A 100 MHz-nél nagyobb frekvenciájúak a hiperhangok.

A hangok érzékelése, ugyan úgy, mint a szagoké szubjektív, az érzékelő fizikai és pszichológiai állapotától is függ. Azonban a szagokkal ellentétben, a hangok jellemzői műszerrel mérhetőek, fizikai összefüggésekkel leírhatóak.

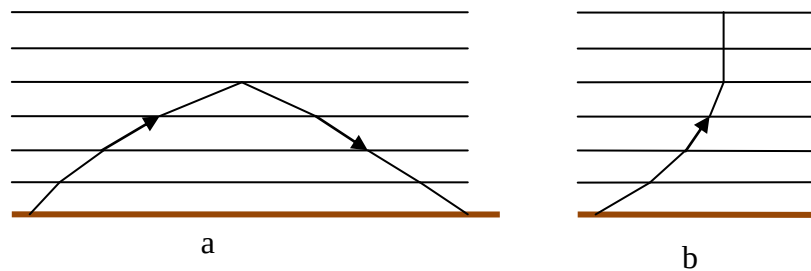
Egy hang erőssége, magassága és színezete az észlelő szubjektív véleményét, érzetét tükrözi, azonban objektíven is meghatározhatóak fizikai alapra helyezve az érzékelést a hangintenzitás vagy energiaáram (hangerősség), a hangfrekvencia (hangmagasság) és az alaphang és a felharmónikusok együtthangzásának (hangszínezet) megadásával.

A hang törése

A hang terjedését többek között a légkör hőmérséklete is befolyásolja. Ha a légkör hőmérséklete a magasabb rétegek felé emelkedik (8.1 ábra), akkor előfordulhat, hogy a törések és visszaverődések folyamatos sorozata miatt a hang a forrástól jóval távolabb visszajut a földre. A jelenség magyarázata, hogy a közeg, jelen esetben a légkör, hőmérsékletének növekedésével a hang terjedési sebessége nő a közeg hullámtani szempontból pedig egyre ritkább lesz. Abban az esetben, ha egy erőteljes intenzitású hangot, például egy robbanást, a hangforrástól távolabb, akár több kilométerrel messzebb hallanak, az



az előbb leírt jelenségnek tulajdonítható. Ha a légkör hőmérséklete felfelé csökken, a hanghullámok nem verődnek vissza a földre.



8.1 ábra: Hang törése a magasabb rétegek felé melegedő (a) és hűlő (b) légkör esetében

A hangtér jellemzői

Hangnyomás (P): a hang terjedésekor a közegben keletkező nyomásváltozás (ingadozás).

$$P [Pa] = \rho * c$$

ahol:

ρ : a közeg sűrűsége

c : a hang terjedési sebessége a közegben [cm/s]

Hangintenzitás (I): a tér egy meghatározott helyén, egységnyi felületen áthaladó (hang) energia. Ez az inger objektív meghatározása.

$$I[W/m^2] = \frac{p^2}{\rho * c}$$

Hangteljesítmény (I): a hangforrás által a hangtérbe az időegység alatt kisugárzott hangenergia.

$$I[W] = W/s$$

A hangnyomás, pascalban kifejezve 10^6 -on, a négyzetes jelleg miatt a hangintenzitás 10^{12} -en tartományt fog át. Ezért a tényleges nyomás (intenzitás) helyett szintekről beszélünk, ahol az értékeket dB-ben adjuk meg.

Hangnyomásszint (L_p):

$$L_p [dB] = 10 * \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

ahol $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, ami a hallásküszöb.

Hangintenzitásszint (L_i):

$$L_i [dB] = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$



ahol $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, ami az 1000 Hz frekvenciájú hang esetén az emberi fül ingerküszöbe (alapintenzitás).

Hangteljesítményszint (L_w):

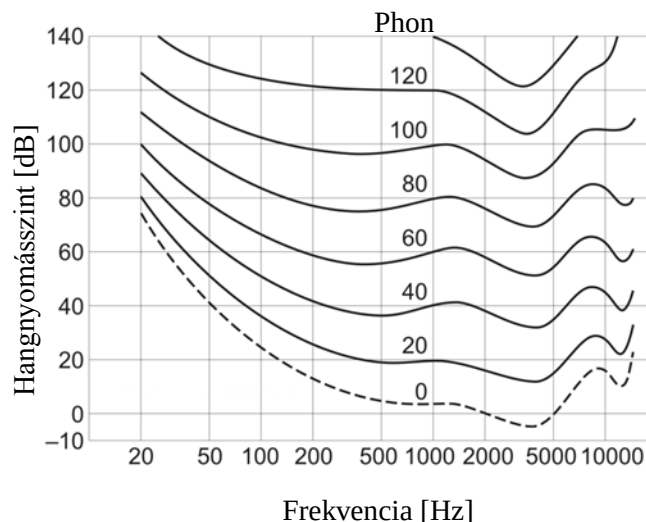
$$L_w[\text{dB}] = 10 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

ahol $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$ (alapteljesítmény).

Példa: Mekkora a hangteljesítményszintje egy 10^{-5} W teljesítményű berendezésnek?

$$L_{w, \text{hang}} = 10 \log\left(\frac{P}{P_0}\right) = 10 \log\left(\frac{10^{-5}}{10^{-12}}\right) = 10 \lg 10^{-5} - 10 \lg 10^{-12} = 70 \text{ dB}$$

Az ingerküszöb és fájdalomküszöb is frekvenciafüggő, mert az emberi fül a különböző frekvenciájú hangokat eltérően érzékeli. A decibel-skálát az 1000 Hz frekvenciájú hangokra a Phon-skálát pedig az azonos hangosságúnak hallható hangokra alapították. A Phon-skála tartománya 0 és 130 közötti, ahol a 0 phon a hallásküszöb, a 130 phon fájdalomküszöb. A 8.2 ábrán látható, hogy a két skála értéke az 1000 Hz frekvencián egyezik meg, illetve, hogy egy adott hangnyomásszintű hangot a frekvencia függvényében eltérő erősségűnek érzékelünk.



8.2 ábra: Azonos hangosságú görbék

A szintek összegzésekor a hangnyomás négyzeteket, a hangintenzitásokat, illetve a hangteljesítményeket kell összeadni. Például az eredő (L_E) hangnyomásszint:

$$L_E = L_1 + L_2 = 10 \cdot \log\left(\frac{p_1^2 + p_2^2}{p_0^2}\right)$$

Ha $L_1 = L_2$, akkor

$$L_E = L_1 + L_2 = 10 \cdot \log\left(\frac{p_1^2 + p_1^2}{p_0^2}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot p_1^2}{p_0^2}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{p_1^2}{p_0^2}\right) + 10 \cdot \log 2 = 10 \cdot \log\left(\frac{p_1^2}{p_0^2}\right) + 3$$

Tehát ha két azonos hangnyomásszintű gépet egyszerre üzemeltetünk, akkor 3 dB-lel lesz nagyobb a hangnyomásszint, mint abban az esetben, ha 1 gép üzemel.



Ismert tevékenységek, berendezések hangnyomásszintjei:

dB	Forrás (távolság)
0	Emberi hallásküszöb (egészséges fül esetén); egy szúnyog hangja 3 m.
10	Emberi lélegzet 3 méterről
20	Suttogás, óráketyegés
30	Színházi csend, csendes vidék
40	Lakóterület éjjel, csendes szoba
50	Eső, halk rádiózás, csendes vendéglő belül
60	Beszéd, iroda vagy vendéglő belül
70	Erős forgalom 5 méterről
80	Porszívó 1 méterről, zaj forgalmas utca járdáján
90	Üzemi zaj, kamion 1 méterről
100	Légkalapács 2 méterről; diszkó belül
110	Gyorsító motorkerékpár 5 méterről; láncfűrész 1 méterről
120	Fájdalomküszöb; vonat kürt 10 méterről
130	Fájdalomküszöb fülhallgatóval hangos zene
140	Pisztolylövés 1 méterről
150	Repülőgép sugárhajtóműve 30 méterről
168	Géppuska lövése 1 méterről
180	A Krakatau vulkán robbanása 100 mérföldről (160 km) a levegőben
194	Elméleti határ, hanghullám esetén, 1 atmoszféra környezeti nyomásnál

A zaj egészségkárosító hatása, határértékek

A zaj, mely nemkívánatos, kellemetlen hanghatás, egészségkárosító hatása bizonyított tény. A zaj alvási zavarokat okoz, a munkavégzés hatékonyságának csökkenését, valamint a pszichikai és fizikai közérzetet is befolyásolja. A zajterhelés legjelentősebb hatása az alvás zavarásában mutatkozik meg, mivel megváltoztatja az alvás minőségét azáltal, hogy a „mély” alvási fázis ideje lecsökken, a felébredések száma megnő. Mindez krónikus fáradtsághoz, idegességhez és ingerlékenységhez vezethet. A munkavégzés során a koncentrációképesség csökkenése figyelhető meg zavaró hangok esetén, ami a hibák és balesetek előfordulásának gyakoriságát okozhatja. A fizikai és pszichikai közérzetre gyakorolt hatás a kommunikációs tevékenységek, a rekreáció zavarásában nyilvánul meg.

A zavaró hanghatásokra való érzékenység egyénenként, és a személy pillanatnyi fizikai és pszichikai állapotától is függ. A főbb befolyásoló tényezők a következők:

- életkor
- egészségi, fáradtsági és idegállapot
- társadalmi-gazdasági viszonyok
- alkalmazkodó képesség

75 dB feletti hangnyomásszint esetén a zaj a vérkeringést, különösen a hajszálereket károsan befolyásolja. Alvó állapotban ez a zajszint 55 dB-re csökken.

A különböző hangnyomásszintű zajok emberi szervezetre gyakorolt hatásai a következők:

- 30 dB zajszint pszichés
- 65 dB zajszint vegetatív
- 90 dB zajszint hallószervi



- 120 dB zajszint fájdalomküszöb
- 120-130 dB zajszint maradandó halláskárosodás
- 160 dB zajszint dobhártyarepedés
- 175 dB zajszint halálos

Az Európai Unió tagállamainak környezetvédelmi politikájában 2006-ig a zaj a lég- és vízszennyezés problémáinak megoldása mellett jóval kisebb figyelmet kapott. Ez feltételezhetően annak tudható be, hogy a zajszennyezés hatásai nem látványosak, nem okoznak katasztrófákat (Berndt, 2007).

A kedvezőtlen zajállapot kialakulásában elsősorban a következő forráscsoportok dominálnak:

- közúti közlekedés
- vasúti közlekedés
- légi közlekedés (elsősorban repülőterek környezetében)
- üzemi zaj (ide tartoznak a szabadidős zajforrások is)

A közlekedés méretének növekedésével és a városok határainak kitolódásával a zajcsökkentő szabályozások és rendelkezések ellenére a zajártalom nagy területekre való kiterjedését és súlyosbodását okozza. Egy, az európai lakosság körében végzett felmérés szerint a lakosságot a következő mértékben éri zajártalom (Berndt, 2007):

< 55 dB	- 28,9%
55-60 dB	- 26,9%
60-65 dB	- 21,9%
65-70 dB	- 14,7%
70-75 dB	- 6,2%
> 75 dB	- 1,4%

A 49/2002/EK irányelvekben előírt feladatokat a magyar jogrendbe a következő jogszabályokkal ültették át:

- **1995. évi LIII. törvény** a környezet védelmének általános szabályairól
- **25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet** a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól
- **280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet** a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről

A megengedhető zajszinteket a **27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM** együttes rendeletben írják elő. A határértékek a védendő terület és a hangforrás típusától (üdülőterület, lakóterület) valamint a napszaktól a függnek (8.1-3. táblázat).

8.1 táblázat: Üzemi és szabadidős létesítményektől származó zaj terhelési határértékei a zajtól védendő területeken (27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM együttes rendelet)

Sorszám	Zajtól védendő terület	Határérték (L_{TH}) az L_{AM} megítélési szintre* (dB)	
		nappal 06–22 óra	éjjel 22–06 óra
1.	Üdülőterület, különleges területek közül az egészségügyi területek	45	35
2.	Lakóterület (kisvárosias, kertvárosias, falusias, telepszerű)	50	40



	beépítésű), különleges területek közül az oktatási létesítmények területe, a temetők, a zöldterület		
3.	Lakóterület (nagyvárosias beépítésű), a vegyes terület	55	45
4.	Gazdasági terület	60	50

* Értelmezése az MSZ 18150–1 szabvány és az MSZ 15037 szabvány szerint.



8.2 táblázat: A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei a zajtól védendő területeken (27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM együttes rendelet)

Sor-szám	Zajtól védendő terület	Határérték (L_{TH}) az $L_{AM'ko}$ megítélési szintre* (dB)					
		kiszolgáló úttól, lakóúttól származó zajra		az országos közúthálózatba tartozó mellékutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő gyűjtőutaktól és külterületi közutaktól, a vasúti mellékvonaltól és pályaudvarától, a repülőtértől, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyektől** származó zajra		az országos közúthálózatba tartozó gyorsforgalmi utaktól és főutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő belterületi gyorsforgalmi utaktól, belterületi elsőrendű főutaktól és belterületi másodrendű főutaktól, az autóbusz-pályaudvarától, a vasúti fővonalától és pályaudvarától, a repülőtértől, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelytől*** származó zajra	
		nappal 06–22 óra	éjjel 22–06 óra	nappal 06–22 óra	éjjel 22–06 óra	nappal 06–22 óra	éjjel 22–06 óra
1.	Üdülőtér, különleges területek közül az egészségügyi terület	50	40	55	45	60	50
2.	Lakóterület (kisvárosias, kertvárosias, falusias, telepszerű beépítésű), különleges területek közül az oktatási létesítmények területei, és a temetők, a zöldterület	55	45	60	50	65	55
3.	Lakóterület (nagyvárosias beépítésű), a vegyes terület	60	50	65	55	65	55
4.	Gazdasági terület	65	55	65	55	65	55

Megjegyzés:

* Értelmezése a stratégiai zajtérképek és intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet 3. számú melléklet 1.1. pontja és 5. számú melléklet 1.1. pontja szerint.

** Olyan repülőterek, vagy nem nyilvános fel- és leszállóhelyek, ahol 5,7 tonna maximális felszálló tömegnél kisebb, légszavars repülőgépek, illetve 2,73 tonna maximális felszálló tömegnél kisebb helikopterek közlekednek.

*** Olyan repülőterek, vagy nem nyilvános fel- és leszállóhelyek, ahol 5,7 tonna maximális felszálló tömegű vagy annál nagyobb, légszavars repülőgépek, 2,73 tonna maximális felszálló tömegű vagy annál nagyobb helikopterek, valamint sugárhajtású légijárművek közlekednek.



8.3 táblázat: A zaj terhelési határértékei az épületek zajtól védendő helyiségeiben (27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM együttes rendelet)

Sor-szám	Zajtól védendő helyiség	Határérték (L_{TH}) az L_{AM} megítélési szintre* (dB)	
		nappal 06–22 óra	éjjel 22–06 óra
1.	Kórtermek és betegszobák	35	30
2.	Tantermek, előadótermek oktatási intézményekben, foglalkoztató termek, hálólhelyiségek bölcsődékben és óvodákban	40	–
3.	Lakószobák lakóépületekben	40	30
4.	Lakószobák szállodákban és szálló jellegű épületekben	45	35
5.	Étkezőkonyha, étkezőhelyiség lakóépületekben	45	–
6.	Szállodák, szálló jellegű épületek, közösségi lakóépületek közös helyiségei	50	–
7.	Éttermek, eszpresszók	55	–
8.	Nagy- és kiskereskedelmi épületek eladóterei, vendéglátó helyiségei, a váróterem	60	–

Megjegyzés:

*a) Értelmezése a 6. § (1) bekezdésével kapcsolatos ügyekben az MSZ 15601–2:2007 és az MSZ 18150–1 szabvány szerint, de nem a legnagyobb értéket adó mérési pontban, hanem térbeli átlagos hangnyomásszintként; mérése az MSZ EN ISO 140–5 szabvány szerint.

b) Értelmezése és mérése a 6. § (4) bekezdés b) pontjával kapcsolatos ügyekben az MSZ 18150–1 szabvány szerint.

Zajsztint mérése

A zajsztintet az akusztikai járműszám és a haladási sebesség határozza meg, azonban több csökkentő és a hang terjedését befolyásoló tényezőt is figyelembe kell venni.

A közúti közlekedés zajsztintjének mérését (MSZ 13-183-1:1992)

- a szélső forgalmi sáv középvezonától 7,5 m-re,
- 1,2 m magasságban kell elvégezni.

A mérést 3 járműkategóriára és a villamosra külön kell mérni

- nappal 16 órán keresztül,
- éjjel 8 órán keresztül.

Vasúti közlekedésnél a mikrofont

- a közelebbi sínvezonától 25 m-re,
- 1,2 m magasságban kell elhelyezni.

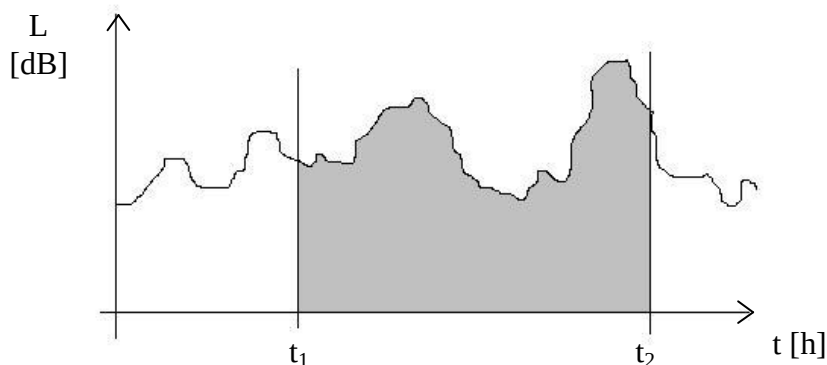
A mérést teher- és személyvonatra külön kell elvégezni a nappali és éjszakai órákban.



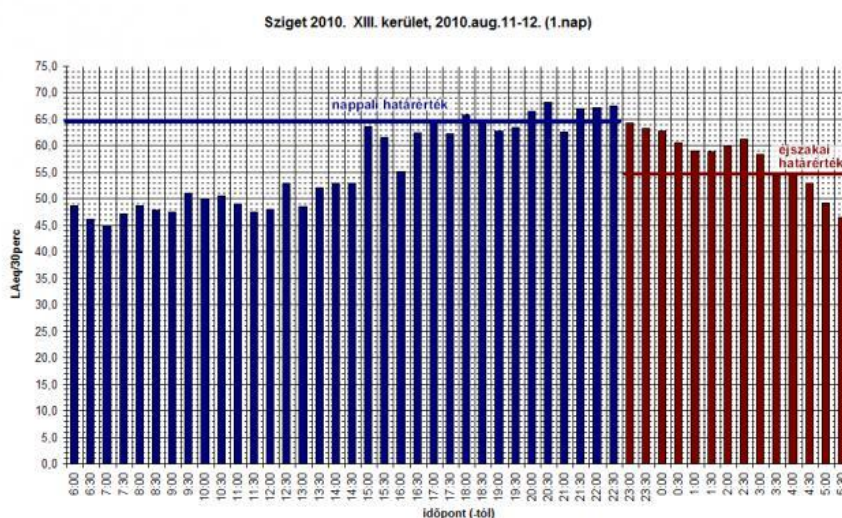
8.3 ábra: Zajsztmérő

(http://www.atestor.hu/Testo_815_zajsztmero_muszer!MutatAlap.html)

A hang időbeli megjelenését is figyelembe kell venni a hangnyomásszint mellett. Az észlelő szempontjából nem mindegy, hogy egy adott hangnyomásszintű zajnak mennyi ideig van kitéve. Emiatt a zajszint mérését mindig hosszabb ideig kell végezni, és az energia mennyiségét a mérési időpontok közötti görbe alatti terület adja meg (8.4 ábra).



8.4 ábra: Hangnyomásszint változása az időben



8.5 ábra: Mért zajszintek a 2010-es Sziget fesztivál 1. napján.

(<http://www.budapest13.hu/galeriak/sziget-zajszintmeres-eredmenye/3>)



Zajszint számítása

Az egyes út- és időszakaszokhoz tartozó referencia egyenértékű A-hangnyomásszint ($L_{Aeq}(7.5)_{g,s,t,j}$) számítása: a „referenciatávolságban” (7,5 m), az A-típusú érzésségi kategóriába tartozó kopórétegen a g-edik órán az s-edik számítási útszakaszhoz tartozó j-edik út és t-edik időszakaszra, a forgalmi adatokból megállapított hangnyomásszint. A számításhoz szükséges paramétereket táblázatok segítségével lehet megadni.

Az egyes út- és időszakaszokhoz tartozó eredő számított egyenértékű A - hangnyomásszint ($L_{Aeq}(d,h)_{g,s,t,j}$) számítása, a referencia értékű A-hangnyomásszint és a korrekciós tényezők összegéből történik.

$$L_{Aeq}(d,h)_{g,s,t,j} = L_{Aeq}^{(7,5)}_{g,s,t,j} + [K_d]_{g,s,t,j} + [K_h]_s + [K_z]_s + [K_m]_s + [K_a]_{s,j} + [K_1]_{g,s,t,j},$$

ahol

$[K_d]_{g,s,t,j}$ a $d_{g,s,t,j}$ távolságtól függő korrekció

$[K_h]_s$ a hangvisszaverődésektől függő korrekció

$[K_z]_s$ a növényesség eredő zajszint módosító hatását kifejező korrekció

$[K_m]_s$ a talaj- és a meteorológiai viszonyok miatti csillapító hatás

$[K_a]_{s,j}$ a hangárnyékolástól függő korrekció

$[K_1]_{g,s,t,j}$ az adott útszakasz látószöge (BETA, fok) miatti korrekció

Korrekciók meghatározása

Távolságtól függő korrekció (K_d)

$$[K_d]_{g,s,t,j} = C_{g,s,t,j} \log \frac{7.5}{d_{g,s,t,j}},$$

ahol

$C_{g,s,t,j}[-]$: a g-edik órán belül az s-edik számítási útszakaszhoz tartozó j-edik út-és t-edik időszakaszhoz tartozó állandó (értéke táblázatból határozható meg)

$d_{g,s,t,j}[m]$: a g-edik órán belül az s-edik számítási útszakaszhoz tartozó j-edik út-és t-edik időszakaszhoz tartozó akusztikai közép vonal és a megítélési pont távolsága.

Hangvisszaverődésektől függő korrekció (K_h)

A visszaverő felületek növelik a zajterhelés mértékét. A korrekció meghatározása az észlelési pont magasságának (h [m]) és a vizsgált útvonalszakasz épülethomlokzattól épülethomlokzatig mért szélességének (s [m]) hányadosával történik. Abban az esetben, ha az észlelési pont a szemben lévő oldal beépítési magasságánál nagyobb, akkor a „zárt” vagy „laza” beépítésű területhez megadott dB értéket 1-gyel csökkenteni kell (8.4 táblázat).



8.4 táblázat: A hangvisszaverődésektől függő korrekciós tényező dB-ben.

A megítélési pont relatív magassága: $h/s=$	A megítélési ponttal szembeni beépítés:		
	Szabad tér	Laza	Zárt
0.3 alatt	0,5	0,5	1,0
0.3-0.65	0,5	1,0	2,0
0.66-1.30	0,5	1,5	2,5
1.3 felett	0,5	2,0	3,5

Növénystól függő korrekció (K_z)

$$[K_z]_s = A * [d_z]_s,$$

ahol

$A = -0,05$ - ha a növényst fá- és cserjeállománya spontán módon alakult ki.

$A = -0,1$ - ha a növénystot zajvédelmi céllal telepítették és elmúlt 10 év a telepítés óta.

d_z – a hangút növénystba eső hossza

A növénysttra vonatkozó korrekció akkor vehető figyelembe

- ha a hangútnak (d_z) a növénystba eső útja legalább 30 m és nem több, mint 200 m, és
- a növényst látószöge a megítélési pontból legalább 130° .

A növénystnak akkor van zajcsillapító hatása, ha a növényzettel összefüggő „falat” tudnak létrehozni, ami azt jelenti, hogy fű, bokor és fa is található a stban. Erre azért van szükség, mert a csillapításban a leveleknek van szerepe.

Talaj és meteorológiai viszonyok csillapító hatása (K_m)

A talaj és a meteorológia viszonyok szoros összefüggésben fejtik ki hatásukat a zaj terjedésére. A korrekció számítsa a következő képlettel történik:

$$[K_m]_{s,j} = -4,8 \exp \left[- \left(\frac{[h_m]_{s,j}}{[d_m]_{s,j}} 8,5 + \frac{100}{[d_m]_{s,j}} \right)^{1,3} \right],$$

ahol

$[h_m]_{s,j} [m]$ az s -edik számítási útszakaszhoz tartozó j -edik útszakaszon belül az akusztikai középvonal és az immissziós pont közötti közepes terepszint feletti magasság
 $[d_m]_{s,j} [m]$ az s -edik számítási útszakaszhoz tartozó j -edik útszakasz távolsága

Hangárnyékolástól függő korrekció (K_a)

Az út és az immissziós pont között elhelyezett árnyékoló létesítmény (zajvédő fal, töltés) zajárnyékoló hatását a következő képlettel lehet meghatározni:

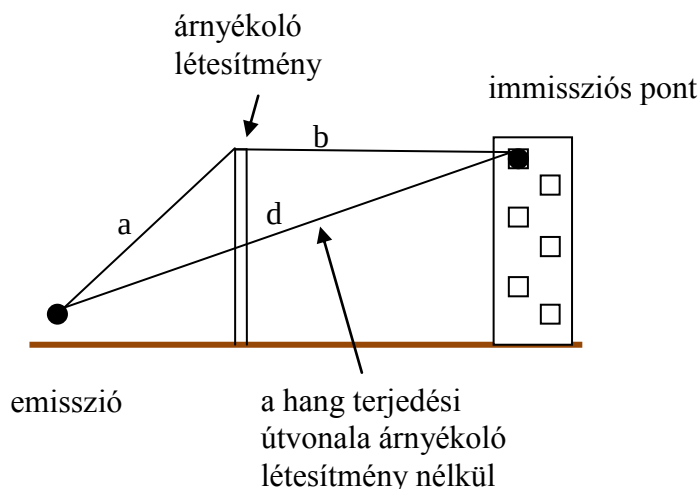
$$[K_a]_{s,j} = 10 \log(3 + 80 Z_{s,j} [K_w]_{s,j}),$$

ahol

$Z_{s,j} = a_{s,j} + b_{s,j} - d_{s,j}$ a hangút különbség (m), a 11.6 ábra szerint

$[K_w]_{s,j}$ – meteorológiai korrekció.

A $[K_a]_{s,j}$ értéke általában nem nagyobb 15 dB-nél.



8.6 ábra: A hang terjedésének útja árnyékoló létesítmény esetén

A zajcsökkentés mértéke a zajkibocsátás forrástípusának függvényében

A hangforrást az általa kisugárzott hangteljesítmény, a hangteret a bármely pontján mérhető hangnyomásszint határozza meg. A hangnyomásszint és a hangteljesítmény közötti összefüggés:

$$L_p = L_w - 10 \lg \frac{S}{S_0},$$

ahol $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

Ezeket geometriai zajcsillapításnak is nevezik. Az emissziós pont típusának függvényében a zaj a távolság megkétszereződésével eltérő mértékben csökken (8.7 ábra). Ez a hang hullámfelületének növekedésével magyarázható.

A következőkben bemutatott csillapítások veszteségmentes, akadálytalan szabad térben értelmezhetőek csak.

Pontforrás

Egy gömb sugárzóként lehet elképzelni. Ilyen hangforrás például egy repülőgép.

A hangforrástól távolodva a távolság megkétszereződésével a hangnyomásszint 6 dB-lel csökken:

$$L_p [\text{dB}] = L_w - 10 \lg \frac{S}{S_0} = L_w - 10 \lg \frac{4\pi r^2}{1} = L_w - 10 \lg r^2 - 10 \lg(4\pi) = L_w - 20 \lg r - 11,$$

ahol r a gömb sugara.

Vonalforrás

A vonalforrás által kibocsátott hangok henger hullámfelülettel rendelkeznek. Vonalforrás lehet például egy autópálya.

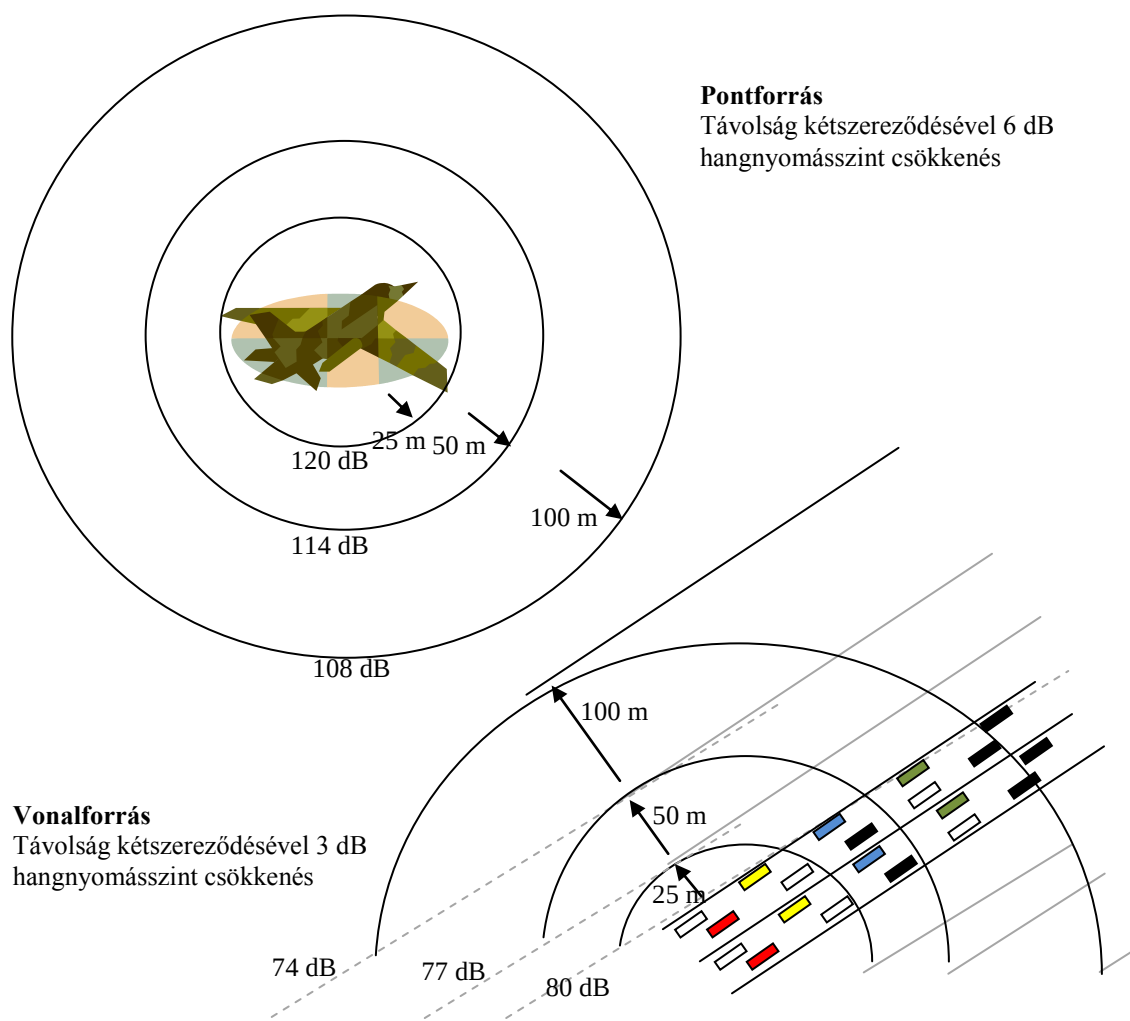
A hangforrástól távolodva a távolság megkétszereződésével a hangnyomásszint 3 dB-lel csökken:

$$L_p[dB] = L_w - 10 \lg \frac{S}{S_0} = L_w - 10 \lg \frac{2\pi r^2}{1} = L_w - 10 \lg r^2 - 10 \lg(2\pi) = L_w - 20 \lg r - 8,$$

ahol r a henger sugara.

Síksugárzó

A síksugárzó által kibocsátott hangok a sugárzási felülettel párhuzamosan terjednek tovább, így ebben az esetben a hangforrástól távolodva nem nő a felület mérete, így csökkentés sem lép fel.



8.7 ábra: Zajcsökkentés mértéke pont- és vonalforrás esetén

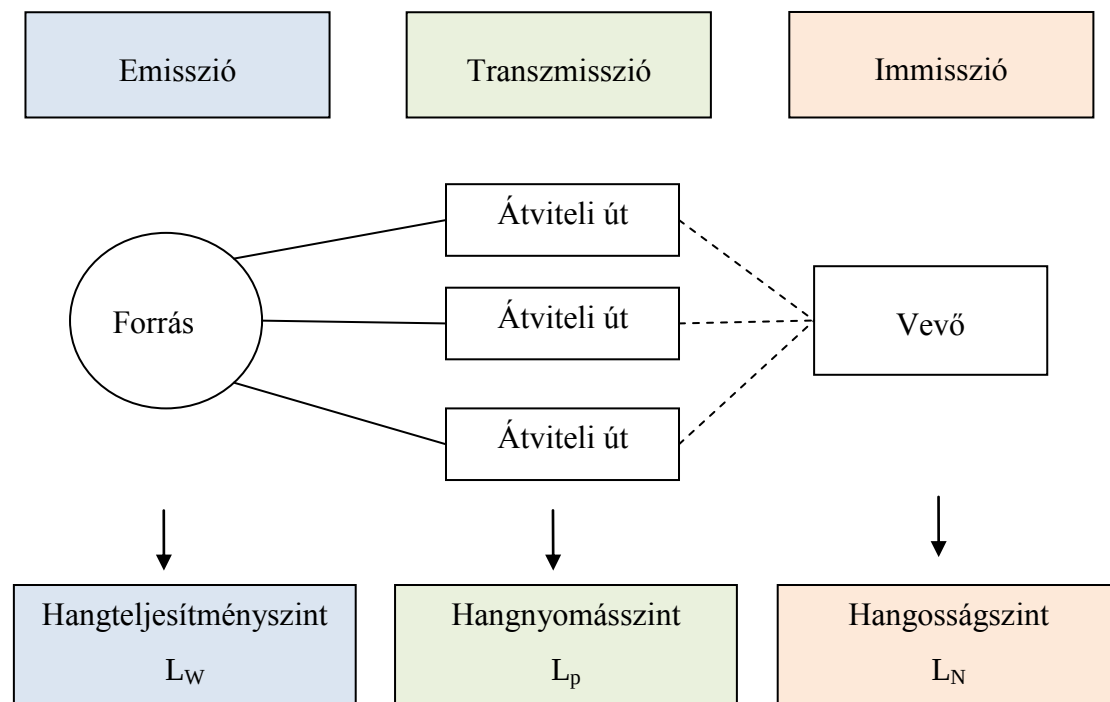


Zaj csökkentésének lehetőségei

A zaj csökkentésére passzív és aktív módszerek is léteznek. Aktív zajcsökkentési lehetőség az emissziós pontokon a technológia javítása, a gépjárműforgalom csökkentése lehet. A passzív védekezés egyik lehetősége a fülvédő, fülvédő használata, mellyel immisszió csökkenés érhető el. Ez inkább beltérben, munkavédelmi szempontok miatt alkalmazzák, viszont a lakossági mértékben nem jelent megoldást.

A lakossági zajterhelés csökkentéséhez az emissziós forrásoknál vagy a transzmisszió folyamatába kell beavatkozni (8.8 ábra).

- Közlekedés. Ez térben változó zajforrás. A gépjárműforgalomnál a kipufogó, a motor, illetve a gördülési zaj csökkentésére van szükség.
- Ipar. Folyamatos, térben jól lehatárolható zajforrás.
- Egyéb kategóriába például a szomszédból jövő zajok tartoznak.



8.8 ábra: Zajcsökkentési lehetőségek helyei

Az építőmérnök több pontos is be tud avatkozni a zajkibocsátásba annak csökkentése érdekében.

- A gördülési zaj az útburkolat minőségének javításával csökkenthető. Az úgynevezett „suttogó aszfalton” közlekedő gépjárművel gördülési zaja jóval kisebb, mint a más aszfaltkeveréken haladó járművéké. (emisszió csökkentés, aktív védekezés)
- A gumiköpeny bordázatának megfelelő kialakításával csökkenthető a menetszél zaja (emisszió csökkentés, aktív védekezés).
- Zajvédő falak, növényzások építésével csökkenthető a lakosság zajterhelése (transzmisszió csökkentése, passzív védekezés).



Közlekedés okozta zajterhelés csökkentésének lehetőségei:

- Járművek szigetelése
- Hangelnyelő útburkolat kialakítása („csendes aszfalt”)
- Forgalom korlátozása, sebességkorlátozás
- zajárnyékoló létesítmények építése
- meglévő épületek hangszigetelése
- Új utak/épületek tervezésekor a zajvédelmi szempontok figyelembe vétele (távolság)

Zajárnyékoló létesítmények

A zajvédő fallal elérhető zajcsökkenés mértékét befolyásolja a

- fal anyaga és szerkezete
- fal magassága és hosszúsága
- a fal védendő területhez és a zajforráshoz viszonyított helyzete
- zajforrás frekvencia-színképe

A zajvédő fal lehet visszaverő vagy elnyelő típusú, melyet az anyaga határoz meg. A hangelnyelő típusú falnál, a fal zajforrás felőli oldala valamilyen porózus (üveggyapot, poliuretán, stb.) anyagból készül. Ezt azokban az esetekben alkalmazzák, ha a visszavert a visszavert hang jelentős zavaró hatást okozna.

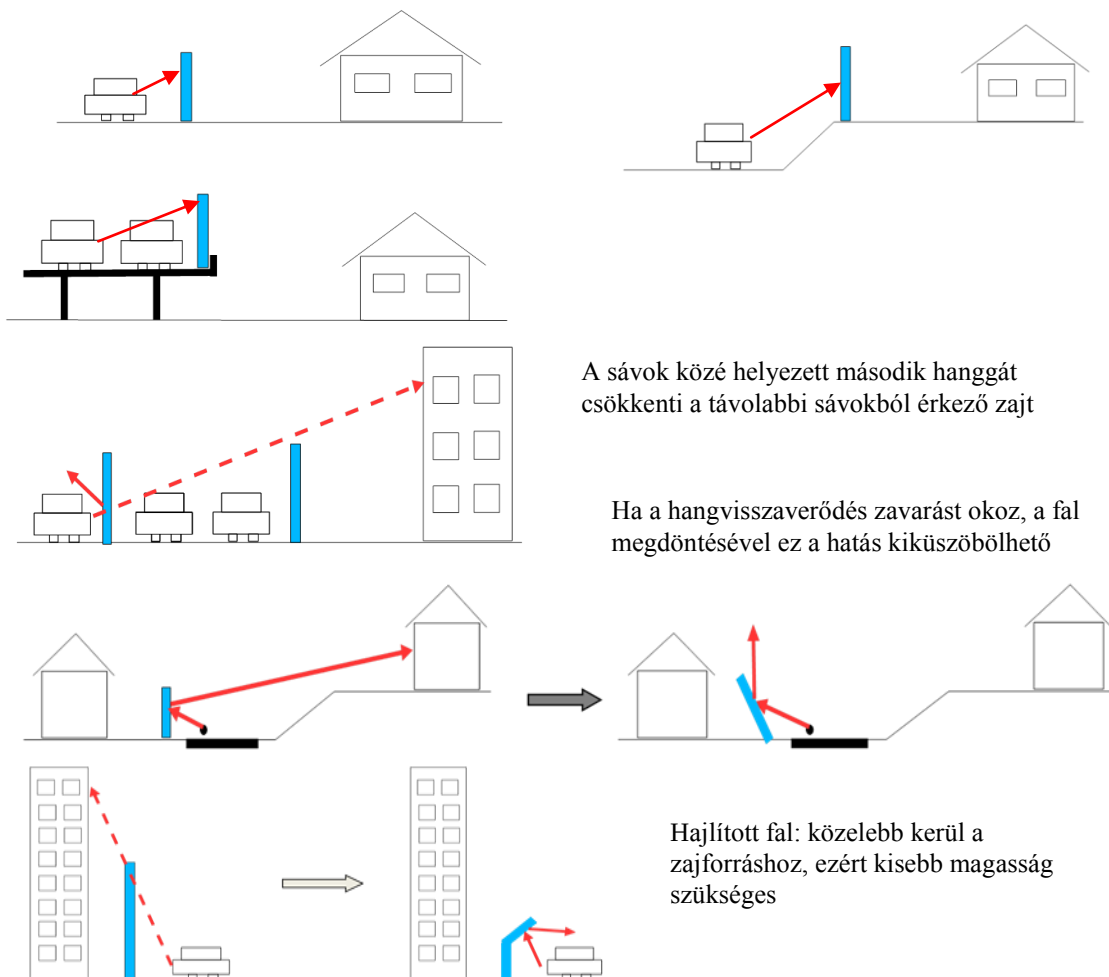
A hangfal elhelyezési lehetőségénél a zajforrás és az észlelők helyzetének alapos felmérése szükséges a fal optimális geometriai kialakításának megtervezéséhez (8.9-10 ábra).

Zajárnyékoló falak anyaga (8.11 ábra)

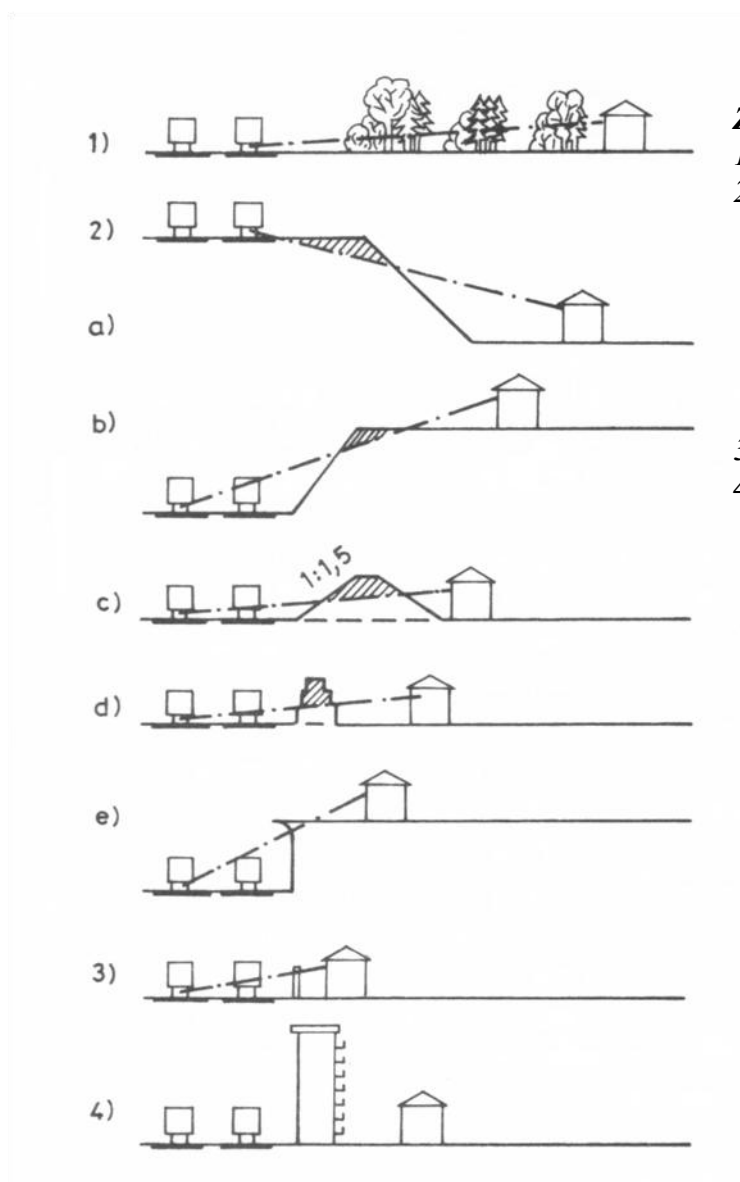
- Földtöltés, domb (14.10 ábra)
Előnye, hogy természetesnek hat, illeszkedik a tájba. Növényekkel való beültetés esetén egy növény-sávot is létrehozunk. Karbantartása egyszerű. Hátránya, hogy nagy helyet foglal el.
- Fa
Kedvező a vizuális hatása. Általában lakóházak zajvédelmének alkalmazzák.
- Fémlemez – alumínium vagy acél
általában hangelnyelő típusú zajvédő fal, ahol a perforált előlap és a hátlap között hangelnyelő anyagot tesznek.
- Beton
Van visszaverő és elnyelő típusú beton zajvédő fal is. Az elnyelő típusnál szemcsés betonból készítik el a falat.
- Téglá
Tömör téglából visszaverő, perforált téglából elnyelő zajvédő fal létesíthető.
Előnye, hogy illeszkedik a tájba.
- Műanyag PVC fal
- Ütésálló üveg, akril üveg
Előnye, hogy átereszt a fényt, kevésbé határolja le a teret.
- „Bio”-falak
Olyan zajvédő falszerkezet, melynek szerves része a növényzet. Előnye, hogy növeli a zöld felület nagyságát, és a földtöltéshez képest jóval kisebb helyigényű. Hátránya viszont, hogy folyamatos karbantartást, locsolást igényel.

– Növényzsáv

A növényzsáv általában önmagában nem okoz elegendő zajcsökkentést. Egy 30 m széles lombhullató erdőszáv az alacsony frekvenciatarományban 3-4 dB, a magas frekvenciatarományban 10-12 dB csökkenést okoz. Lombhullató növényzsáv esetében télen a zajcsökkentés mértéke elhanyagolható.



8.9 ábra: Zajárnyékoló falak kialakítási lehetőségei 1.



Zajárnyékoló megoldások

1 erdősáv,

2 különböző töltésmegoldások,

a) az út töltésen vezetése,

b) az út bevágásban vezetése,

c) földvédőtöltés,

d) meredek rézsűjű töltés
(előregyártott szerkezet),

e) támfal,

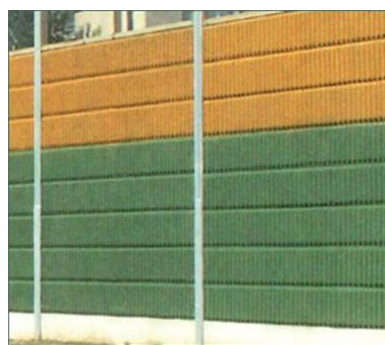
3 zajárnyékoló fal,

4 zajárnyékoló épület

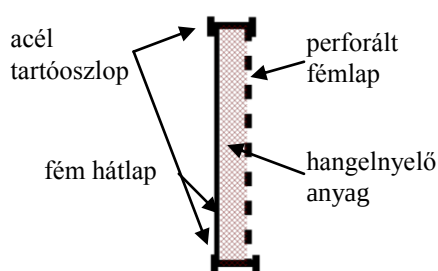
8.10 ábra: Zajárnyékoló falak kialakítási lehetőségei 2.



Fa alapanyagú zajvédő fal



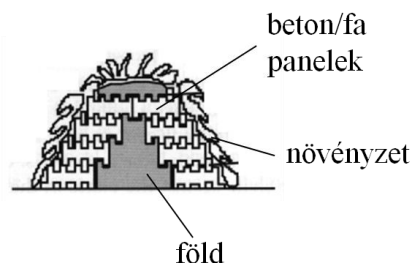
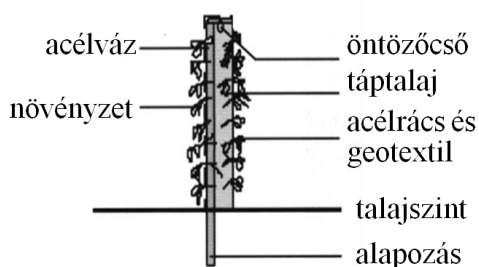
Fabeton, hangelnyelő zajvédő fal.



Fém szerkezetű zajvédő fal



Alumínium keretbe foglalt biztonsági üvegből készült zajvédő fal a Nagykőrösi úton



„Bio”-falak kialakítási lehetőségei

8.11 ábra: Zajvédő falak anyaguk szerint

Beavatkozások zajszint csökkentésének mértéke:

- távolság: $\Delta L = 10 \lg \frac{d}{7,5}$, $2d = 3 \text{ dB}$

A távolság megkétszereződésével 3 dB-lel csökken a hangnyomásszint a légkörben történő veszteségek miatt.

- zajvédő fal: 5-10 dB
- önárnyékolás (lakás tájolása): 5-25 dB
- homlokzat nyitott ablakokkal: 5-10 dB
 zárt ablakokkal: 15-35 dB
- csendes aszfalt: 2-3 dB (80 km/h felett)



- sebességkorlátozás: 60 km/h-ról 30 km/h-ra való korlátozás kb. 3-4 dB csökkenést okoz
- járműforgalom csökkentése: járműszám feleződése kb. 3 dB

A hangnyomásszint logaritmikus skálája miatt már 1-2 dB csökkenés is jelentős mértékű zajcsökkentésnek számít.

A zaj és rezgésvédelemmel kapcsolatos jogszabályok

(<http://www.ktm.hu/index.php?pid=9&sid=47&hid=411>):

- **18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendelet** a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól
- **176/1997. (X. 11.) Korm. rendelet** a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól
- **49/1999. (XII. 29.) KHVM rendelet** a motoros légijárművek zajkibocsátásának korlátozásáról
- **142/2001. (VIII. 8.) Korm. rendelet** a háztartási gépek zajkibocsátási értékeinek feltüntetési kötelezettségéről
- **43/2002. (VIII. 12.) HM-KvVM együttes rendelet** az állami repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki követelményeiről
- **280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet** a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről
- **25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet** a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól
- **284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet** a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól
- **93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet** a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgés-kibocsátás ellenőrzésének módjáról
- **27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelete** a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról.
- **29/2001. (XII. 23.) KöM-GM együttes rendelet** egyes kültéri berendezések zajkibocsátásának korlátozásáról és a zajkibocsátás mérési módszeréről

Irodalom

Berndt M.: Részletes háttér-információ a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről szóló

Gulyás G. Zajvédelem – Zajárnyékoló falak. Előadás.

Koren E. Zajvédelem.



Sugárzás

Radon a településeken

Csak az utóbbi időkben kezdtek el felfigyelni a mesterséges izotópoktól származó dóziskorlátokat sokszor tízszeresen is meghaladó - természetes eredetű radionuklidokra. Ezek bár természetes eredetűek, és kezdetektől fogva együtt élünk velük, azonban a mai nap emberének igen megváltozott az életmódja (épületekben eltöltött időtartam), az építkezési szokásai, az építkezési technikák (jobb hőszigetelés, jó minőségű nyílászárók), új építkezési anyagok (salakblokk (gázbeton), cementadalékok, gipsz), újfajta tüzelési módok és anyagok, mind-mind hozzájárul a természetes eredetű sugárterhelés növekedéséhez.

Elsősorban urán- de szénbányákban is megfigyelték, hogy a bányászok igen nagy hányadánál tüdőrákos megbetegedés alakult ki. 1956-ban Svédországban jelent meg cikk, amelyben lakóépületeket vizsgáltak. Magas volt a radonszint, mert olyan palából építkeztek, melynek magas volt a Ra-226 koncentrációja. Sokáig ezt a Svédok problémájának tekintették. 1976-ban Angliában jelent meg egy felmérés, miszerint bárhol számíthatunk erre a problémára. Ezután fokozatosan egyre több országban kezdtek meg a kutatásokat, felméréseket. Magyarországon már az új atomtörvény is előírja a radonkoncentráció szintek szabályozását, a végrehajtási utasítás és a konkrét határérték még várat magára.

A radon keletkezés

A radon (Rn-222) az Urán (U-238) bomlási sorában található, a rádium (Ra226) leányeleme. A rádium bomlásánál alfa részecske lép ki és az impulzus megmaradás értelmében a keletkezett új mag (Rn-222) is meglöködik. Ez elegendő lehet arra, hogy a radon a szilárd fázist elhagyva a pórusterbe jusson. Innen már könnyen továbbvándorol.

A radon épületekbe jutása

Az épületekben kialakuló magas radonkoncentráció elsődleges forrása a talaj. A pórusterbe kijutott radon - homogén talaj esetén - a felső 0,8-3 m-ből áramlik fel, attól függően, hogy milyen a talaj permeabilitása. Extrém esetekben pl. törésvonalak mentén azonban igen mélyről is feláramolhat. Ha a kőzetnek magas a Ra-226 tartalma, várható a magas radonszint is. Több országban ezért építkezés előtt előzetesen minősítik a talajokat. s ezek függvényében írják elő az építkezésnél betartandó védekezési módszereket.

A másodlagos forrásnak az építőanyag tekinthető. Magas Ra-226 tartalmú anyagok beépítése esetén számíthatunk magasabb radonkoncentrációra (bár ezt az előzetes kezelések is befolyásolják, pl. a téglát mekkora hőfokon égették ki). Magas rádiumtartalmú salakok, vagy a foszforműtrágya égetése során keletkezett ún. foszfor-gipsz, vörösiszap felhasználásával készült égetett téglák esetén jelentős radonkoncentráció növekedést tapasztaltak.

Harmadlagos forrásnak lehet felvetni a magas radonkoncentrációjú vizeket, melyeknél melegítés (pl. főzés, zuhanyozás), aprózódás során jut a radon a légtérbe. A földgáz eltüzelése során az égéstermékek és az égetés alatt változatlanul maradt radon a légtérbe jut (pl. gáztűzhelyek, nyitott kandallók). Ilyen esetekben elegendőnek bizonyul a helyi vagy lokális elszívás.

A védekezési módszerek manapság csak a talajból származó radonra vonatkoznak, mivel az építőanyagokra előírt radionuklid koncentráció korlátok eleve biztosítják, hogy ne szerepeljen számottevő radonforrásként.



A radonveszély

Különböző vélemények vannak azonban arról, mi az az érték ami egyértelműen megnöveli a megbetegedés valószínűségét. Egyes (Japán) kutatók szerint a világlátagnál (40 Bq/m³ ; UNSCEAR 1986) nagyobb értékek jobban beindítják a szervezet helyreállító mechanizmusait és még kedvezőbbek mintha kicsi lenne a radonszint. Ezt még sokan vitatják, azt azonban már szinte mindenhol elfogadják, hogy 400 Bq/m³ éves átlag fölött megnő a kockázat.

Beavatkozási szintek

Beavatkozási szinten azt a radonkoncentrációt, radonszint-értéket értjük, ami fölött mindenképpen radonmentesítésre van szükség. Ez az érték országonként változó. Angliában 200 Bq/m³, ez körülbelül 3%-os életkor rövidülést jelent. Svédországban a levegő beavatkozási szintje 200 Bq/m³, az épületekben 70 Bq/m³. Ha ez az érték meghaladja a 7400 Bq/m³-t akkor azonnali beavatkozás szükséges, melyet pár hét alatt el kell végezni. 740-7400 Bq/m³ koncentráció mellett, néhány hónap alatt kell a beavatkozást megtenni. 148-740 Bq/m³ között azonban pár év a beavatkozás határideje.

Az ICRP-65 (1996) azt javasolja, hogy az esetek számától és anyagi lehetőségeiktől függően 200-600 Bq/m³ között határozzák meg a beavatkozási szintet. Ez kb. 3-10 mSv/év dózistöbbletet jelent. A mesterséges izotópoktól származó lakossági dóziskorlát 1 mSv/év. A csernobili reaktorbaleset miatt Magyarország lakosságát átlag 0,3 mSv többletterhelés érte. Tehát nem elhanyagolható szintekről van szó. Az EU 400 Bq/m³ értéket javasol tagországaiban. Több országban külön szabályozzák a már meglévő épületek radon-szintjét, illetve az újonnan építetteket.

Mindezek feltétele, hogy a beavatkozás hatásos legyen. Ezek jellemzésére használják a csökkentési faktor fogalmát, amit a következőképpen definiálnak:

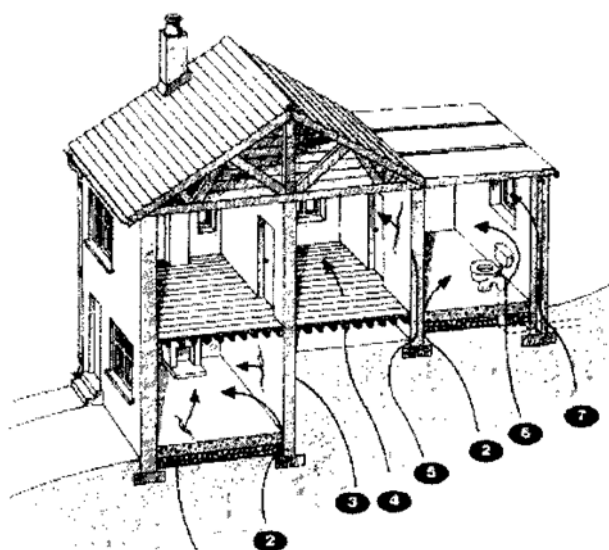
$$\text{Csökkentési faktorszám} = \frac{\text{Átlagos radonszint a munkálatok előtt}}{\text{Átlagos radonszint a munkálatok után}}$$

Például: 450 Bq/m³ az eredeti szint, 150 Bq/m³ kell csökkenteni. A 450-et osztani kell a 150-nel, ami 3 és ez jelenti, hogy 3-as csökkentési faktorszámú módszert kell alkalmazni. A védekezési módszerek lehetőségét befolyásolja, hogy meglévő vagy új építés előtt álló épületről van szó. A főbb módszerek, költségek és hatásosságok az alábbi táblázatban találhatók:

Védekezés az épületekben feldúsuló radioaktivitással szemben

Hogy kerül a radon az épületekbe, a talajból?

Mivel a radon egy nemesgáz, ezért molekuláris nagyságú réseken is képes átférni. Mind kémiai, mind fizikailag, igen nehéz megfogni. Ebből a tulajdonságából adódóan, nagyon sok helyen be tud jutni az épületekbe (8.12 ábra.).



1. Padló, aljzat, alapozás repedésein keresztül
2. Illeszkedési, konstrukciós hibákon keresztül
3. A fal repedésein keresztül, mely érintkezik a talajjal
4. Függesztett fapadló rései között.
5. Fal repedésein keresztül
6. Közmű áttöréseknél
7. A falban lévő üregeken keresztül

8.12 ábra: A radon épületbe való bejutásának lehetőségei a talajból.

Hogyan védekezzünk?

11.6 táblázat: Radon elleni védekezési módszerek

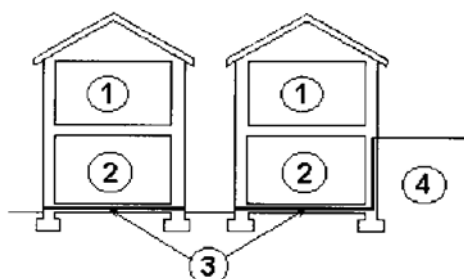
Módszer	Költség	Hatásosság
Nyomáscsökkentés a talajban	közepes	nagy
Padlószigetelés	közepes	közepes
Vízkezelés	közepes	nagy
Altalaj eltávolítása	magas	nagy
Megnövelt szellőzés	közepes	nagy
Megnövelt légmozgatás	alacsony	nagy

A radonkoncentráció a szabad levegőn alacsony, azonban a zárt terekben épületek, barlangok, bányák - nagymértékben feldúsulhat. Az épületekben felhalmozódó radongáz mennyisége nem csupán az adott klímától, hanem az emberi szokásoktól, építkezési technikáktól is nagymértékben függ. A hirtelen csökkenő légnyomás a talajból kiszívja a talajgázt. Hideg teleken, a fagyott talajfelszín nem engedi a szabadba a radont. Ezért több radon szivárog be az épületekbe, melyek alatt nincs megfagyva a talaj. A száraz, repedezett talaj (pl. agyag) könnyebben átereszti a talajban lévő radont. A legalapvetőbb védelem, mely minden épületben, szinte minden földrajzi körülmények között külön beruházás nélkül, bármilyen időpontban használható, a természetes szellőztetés. Azonban szélsőséges éghajlati és területi viszonyok között ez nem alkalmazható

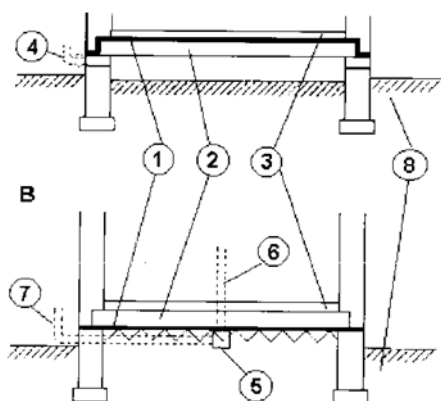
Az elsődleges védelem célja az, hogy légmentesen zárt, lényegében olyan radon-biztos gátat készítsünk, ami az egész házra kiterjed, beleértve a padlót és a falakat is. Ezt a célt a különböző padlószervezeteknél, különböző módszerekkel érhetjük el. Pl.: 'Felfüggesztett' betonpadló esetén a radon-biztos gát a padlószervezet felett van elhelyezve és a falaknál üreges betétekhez van rögzítve. A 'föld talapzatú' betonpadlónál a radon-biztos gát a beton alatt helyezkedik el, folytatódva a szélen elhelyezkedő üreges fal mentén. A lemezt vagy



fóliát (radongátat) teljesen meg kell erősíteni és az üreges fal belső részéhez rögzíteni, mivel a lemezre nagy súly nehezedik és megrepesztheti a gátat, ahol a lemez találkozik a külső fallal. (8.13 ábra).



1. Lakótér
2. Lakótér, pince, garázs
3. Radongát, radonfólia
4. Talaj



1. Radonfólia
2. Födém, alap
3. Padló
4. A ventilátor helye, ha később szükség lesz rá
5. Radongödör
6. Utólagos padló alatti nyomáskiegyenlítő csővezeték helye
7. utólagos padló alatti nyomáskiegyenlítő cső helye
8. talaj

8.13 ábra: Radongátak elhelyezési lehetőségei

A nem ionizáló sugárzások

A nem ionizáló sugárzások közül a településeken, környezetünkben legelterjedtebbek az elektromágneses sugárzások, melyek az elektromos vezetékek, elektromos háztartási készülékek, mobiltelefonok, az átjátszó állomások környezetében jelentkeznek.

Élettani hatásuk bizonyított, de ezek káros mértékére – például a mobiltelefon rendszeres használata esetén- egyelőre nincsenek egyértelmű adatok.