

## 9. A LERAKÓ GÁZMENTESÍTÉSE

Amennyiben a lerakott hulladék sok szerves anyagot tartalmaz és megvannak a lebomlás feltételei is, akkor a hulladék mennyiségétől, minőségétől, a lerakás módjától, technológiájától, a rendelkezésre álló oxigéntől stb. függően esetenként jelentős mennyiségű gáz képződhet. A hulladék lebomlásával, a depóniagáz-képződés folyamatával a **6.2. fejezet** foglalkozik.

Mind a működő, mind a már rekultivált hulladéklerakóknál alapvető feltétel, hogy a gázképződés és gázmentesítés *ellenőrzött körülmények* között történjék annak érdekében, hogy megelőzzük a depóniagáz nemkívánatos kijutását az atmoszférába, illetve horizontális vagy vertikális irányú migráció révén a környező talajrétegekbe.

A 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet 1. sz. mellékletének 5. pontja a hulladéklerakó-gáz (depóniagáz) kezeléséről a következőképpen rendelkezik:

- Ha a lerakómedencében a lerakott hulladékból gázképződés lehetséges, gondoskodni kell a keletkező hulladéklerakó-gázok rendszeres eltávolításáról, gyűjtéséről és kezeléséről. A B3 kategóriájú hulladéklerakón a biológiailag bomló összetevőkből képződő gázok kezelésére minden esetben ki kell alakítani a gázkezelő rendszert.
- A B3 kategóriájú hulladéklerakón nemcsak az elvezetésről kell gondoskodni, hanem mindaddig, amíg a keletkező gáz gazdaságosan hasznosítható, gondoskodni kell a hulladéklerakó-gáz felhasználásáról. Ha a hasznosítás nem gazdaságos, akkor gondoskodni kell a gáz biztonságos ártalmatlanításáról (pl. fáklyázással történő elégetéséről).

Ebben a fejezetben az ellenőrzött gázmentesítés módszereit, lehetőségeit tekintjük át, de nem foglalkozunk a kitermelt, összegyűjtött gáz hasznosításával.

A keletkező gáz ellenőrzött gyűjtése, illetve elvezetése fontos, mert:

- a nagy nyomású gáz kitöréseket okozhat a lerakóban;
- a gáz kiszivárgása a vegetáció pusztulását idézheti elő (lásd 10.7. ábrán), aminek a következménye, hogy a rekultivált felszínen jelentősen nő az erózió veszélye;
- a nem megfelelő gázmentesítés a zárószigetelő-rendszer állékonyságát is veszélyeztetheti (lásd **9.1. ábrán**);
- toxikus hatása lehet;
- a tartós gáz kibocsátás a hulladéklerakó közvetlen szomszédságában lakók egészségét veszélyeztetheti;
- kellemetlen szaghatást okoz;
- a keletkező metán a levegővel keveredve robbanókeveréket alkothat;
- a keletkezett gáz olcsó energiaforrás, ezért gyűjtése célszerű.

Normális körülmények között a keletkező gáz molekuláris diffúzióval kerül a légterbe. A hulladékban és a talajban való mozgása rendkívül bonyolult. Aktív lerakó esetében a hulladékban levő nyomás általában nagyobb, mint a légnyomás, így a nyomáskülönbség következtében fellépő kiáramlás is nagy szerepet játszik.



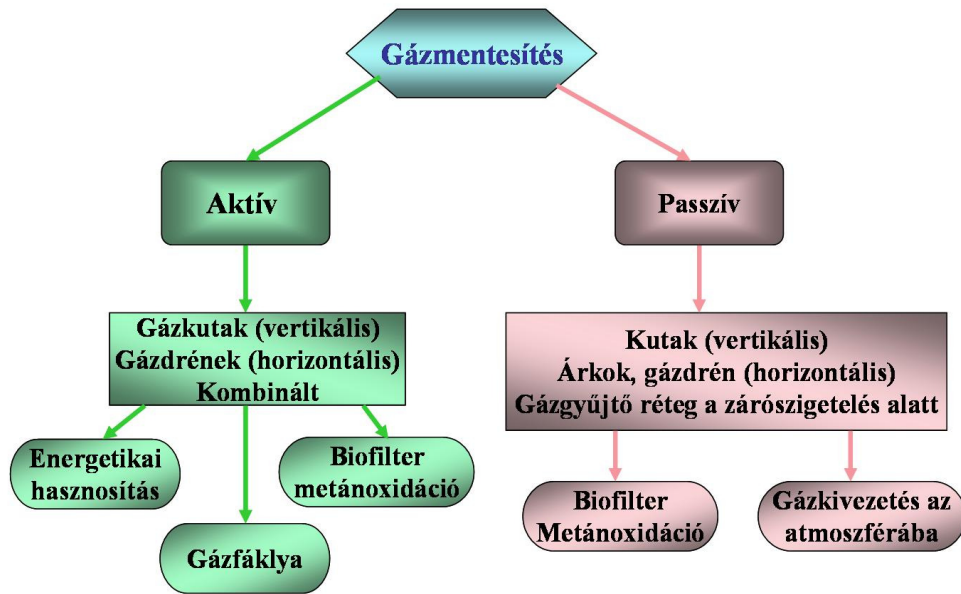
**9.1. ábra**  
**Rossz gázmentesítés miatt kialakult állékonysági problémák fényképei**

*A gáz mozgását befolyásoló tényezők:*

- az időjárás; ha a barometrikus nyomás esik, a gáz a lerakóból a talajba migrál;
- a nedves felszín, fagyott borítás nem engedi a légkörbe szökni a gázt, ezért az a talajba áramlik.
- magának a hulladéknak a gázmegkötő képessége;
- a gáz kötődhet szilárd és folyadék állapotú részekhez is;
- a fedőréteg áteresztőképessége; a gáz általában a kis áteresztőképességű takaróréteg alatti üregekben gyűlik össze, ahol koncentrálódhat, elérheti még a robbanási határértéket is. A növekvő nyomás hatására a gáz, követve a geológiai képződmények és a munkaárkok vonalát, behatolhat építményekbe, lakóházakba és migrációval több 100 m-es távolságra is eljuthat (RASCHKE, 1987).

#### **9.1. A lerakó gázmentesítésének lehetőségei**

A lerakó gázmentesítésének lehetőségeit, lehetséges megoldásait a **9.2. ábra** foglalja össze.



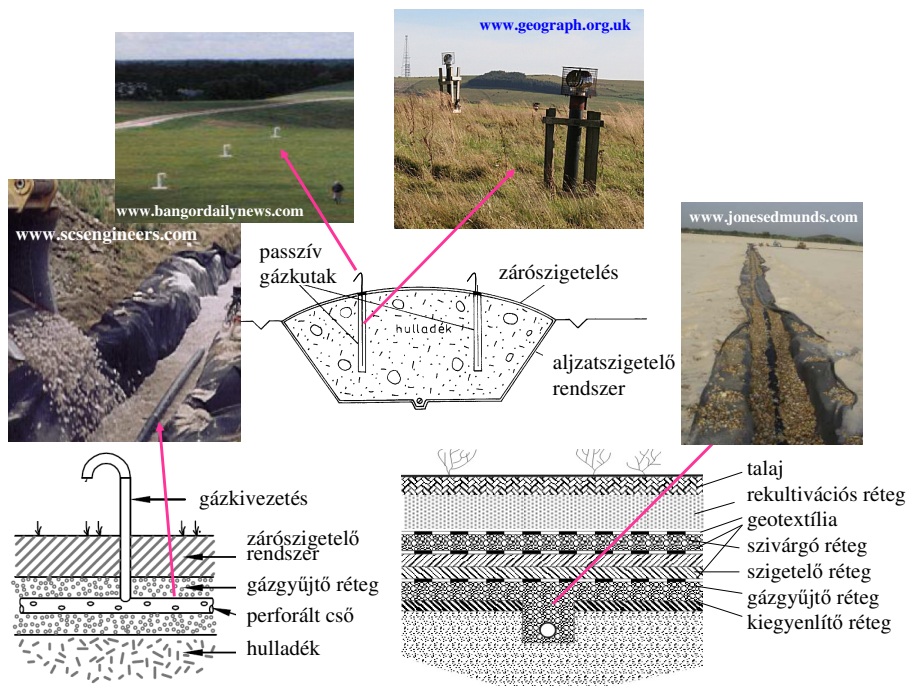
**9.2. ábra**  
A lerakó gázmentesítésének lehetséges megoldásai

A gázellenőrző és -mentesítő rendszer lehet *aktív* vagy *passzív*. Passzív rendszerben a lerakóban levő természetes gáznyomás a mozgás hajtóereje. Aktív rendszerben mesterséges vákuum segíti elő a gázkiáramlást a lerakóból.

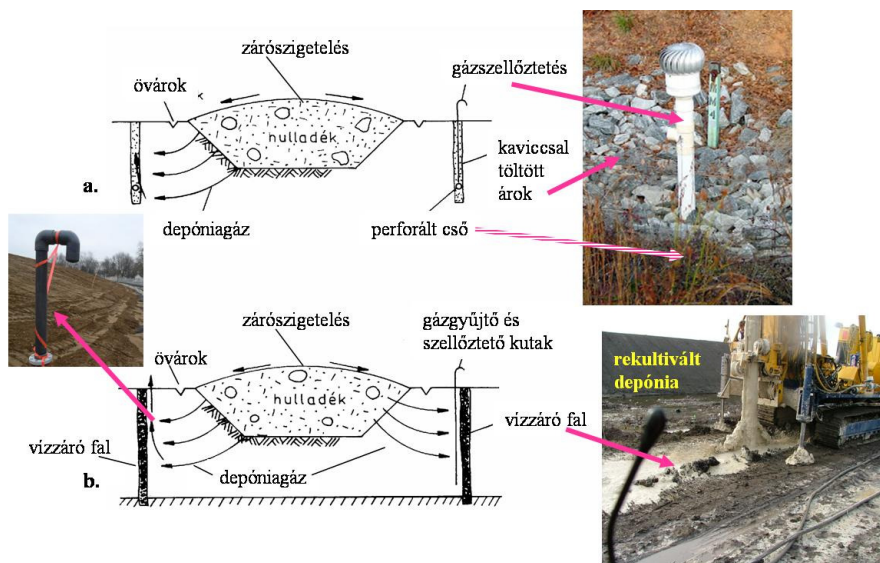
A *passzív rendszer* elsősorban régi lerakóknál, inkább csak biztonsági okokból alkalmazható, mert a kinyerés hatásfoka nagyon kicsi. A nyomáskülönbség és a diffúzió a depóniagázt a lerakóból a légtér felé irányítja. Lezárt, régi lerakók esetében a gázmozgás – különösen az aljzatszigetelés hiánya esetében, a földtani adottságoktól függően – történhet a környező talajrétegek felé is, ami különösen veszélyes lehet. A passzív rendszer kiépítésének célja ennek megfelelően lehet:

- a hulladéktest gázmentesítése, a gáz légtérbe való kijutásának megakadályozása (**9.3. ábra**);
- a gáz környező talajrétegek felé történő tovaterjedésének megakadályozása, gátlása (**9.4. ábra**).

A passzív rendszer csak korlátozott védelmet nyújt, a gáz a levegőbe kerülhet, és a gázmozgás előre szinte megjósolhatatlan. Alkalmazása kevésbé ajánlott, elsősorban régi, bezárandó, rekultiválandó lerakóknál jöhet számításba, amikor a gáz hasznosításra már nem érdemes. A környezeti veszélyeztető potenciál csökkentése érdekében az utóbbi időben előtérbe került a passzív gázmentesítés összekapcsolása metánoxidációval (lásd **9.2.3. alfejezetben**).

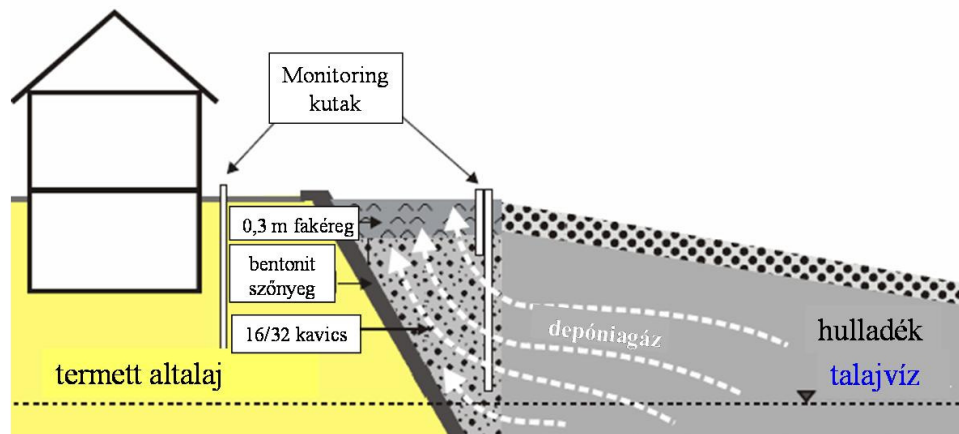


**9.3. ábra**  
A hulladéktest passzív gázmentesítése



**9.4. ábra**  
A depóniagáz környező talajrétegek felé történő terjedésének gátlása passzív gázmentesítéssel

A **9.5. ábra** a németországi Münsterben, a Telgte lerakó rekultivációja során, a szomszédos lakások biztonsága érdekében alkalmazott passzív gázmentesítésre mutat be egy példát. Annak érdekében, hogy a depóniából oldalirányban a depóniagáz ne tudjon a szomszédos építményekhez eljutni, a depónia melletti árok oldalfalát *bentonitszőnyeggel* szigetelték, a bentonitszőnyeg és a hulladék közé 16/32 mosott kavicsot helyeztek a gáz kivezetése érdekében. A kivezetés fölött a felső 30 centimétert metánnal táplálkozó (metanotróf) baktériumokkal beoltott fakéreg (biofilter) töltésanyagból alakították ki, így biztosítva, hogy a metán kilépési koncentrációja minél alacsonyabb legyen. Utóbbi megoldás egy ún. *metánoxidációs eljárás*, amit a **9.2.3. alfejezetben** mutatunk be részletesebben.



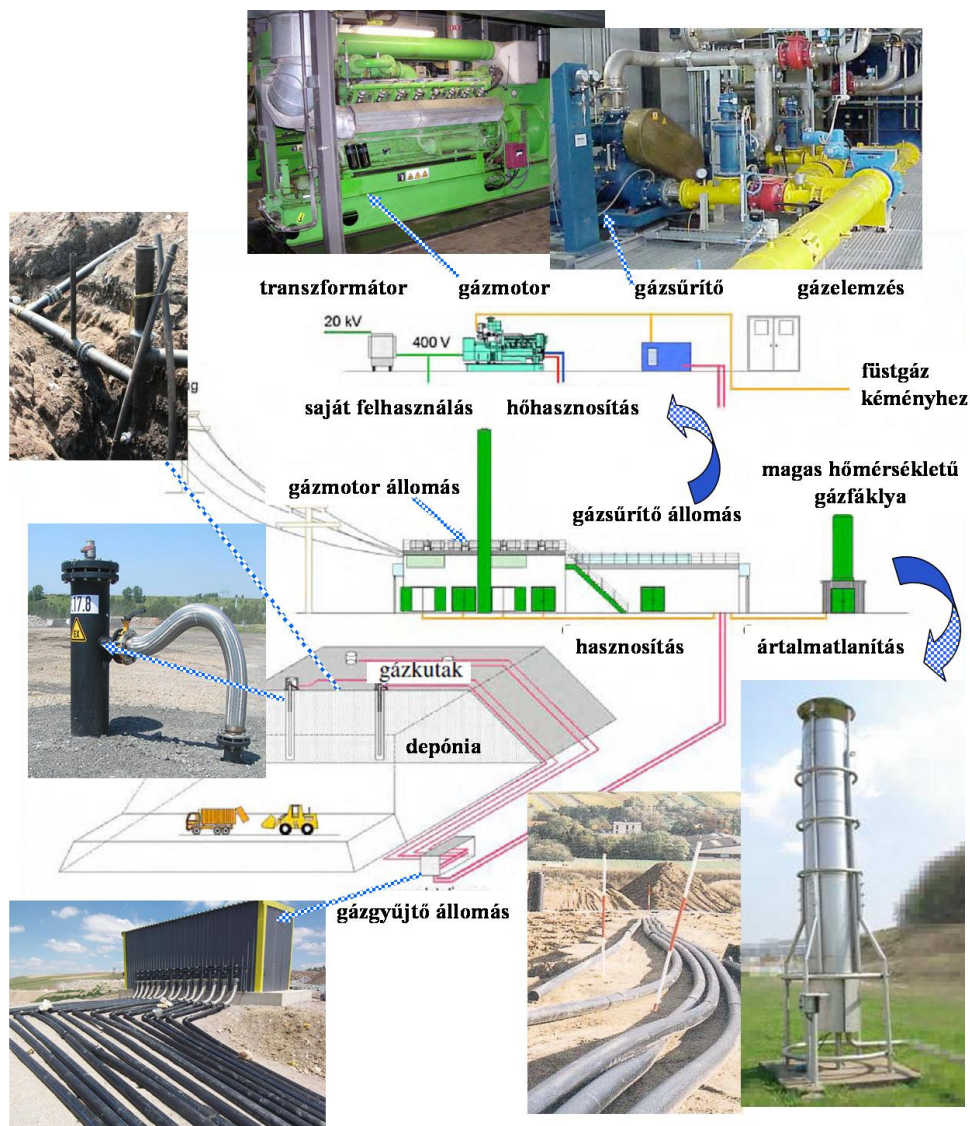
**9.5. ábra**

**Az épületbe történő gázszivárgás megakadályozása passzív gázmentesítéssel**  
(JOKSCH, 2005)

Hatékonyabb módszer az *aktív rendszer* még akkor is, ha a keletkezett gáz mennyisége kicsi, és a gáz mozgásában csak a molekuláris diffúzió vesz részt. A termelő/mentesítő kutakhoz/csövekhez vákuumszivattyút csatlakoztatva olyan nyomáskülönbség érhető el, amely képes eltávolítani a gázt a lerakó belsejéből. A hasznosítással egybekötött aktív gázmentesítő rendszer vázlata a **9.6. ábrán** látható.

Ha a telepítés célja csak a *gázellenőrzés*, akkor a lerakó pereméhez kell elhelyezni a kutakat, illetve a környező talajban, ha az jó áteresztő.

Az aktív rendszer a lerakó peremén és a lerakóban hálózatosan elhelyezett kutakból vagy drénárkokban elhelyezett perforált dréncsövekből áll. A kutak lehetnek függőleges vagy vízszintes-, a drénárkok vízszintes elhelyezésűek. Az egyes kutakat/kútszoportokat és dréncsöveket egy gyűjtővezeték köti össze, amelynek a végén kompresszor van. A kompresszorral elszívással hozzák létre a fővezetékben a vákuumot. Amikor a vákuum létrejön, kialakul egy hatásterület, amely a kutakkal behálózott területre terjed ki. A gáz így belekerül a kutakba/dréncsövekbe, onnan a fővezetékbe, az ellenőrző állomásra, majd az energiafelhasználó vagy égető berendezésekbe. A területen lévő kutakban összegyűlő gáz gyakran rosszabb minőségű, ezért ilyen esetben célszerű ezt külön kezelni.



9.6. ábra  
Aktív gázmentesítés és hasznosítás

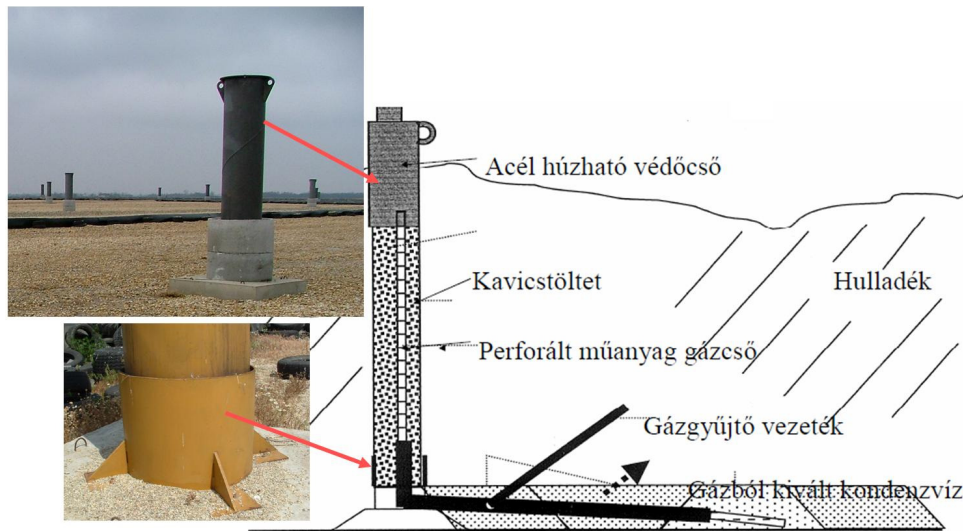
## 9.2. A gázmentesítés eszközei

Az aktív és a passzív gázmentesítés eszközei között nincs lényeges különbség, az alapvető eltérés – mint láttuk – a gázkinyerés módjában van.

### 9.2.1. A gázmentesítő kutak

A gázmentesítésre, ill. a gáz kinyerésére a legelterjedtebben gázkutakat alkalmaznak. A gázkutak lehetnek *alsó- és felső elszívású kutak* (9.7. – 9.8. ábrák).

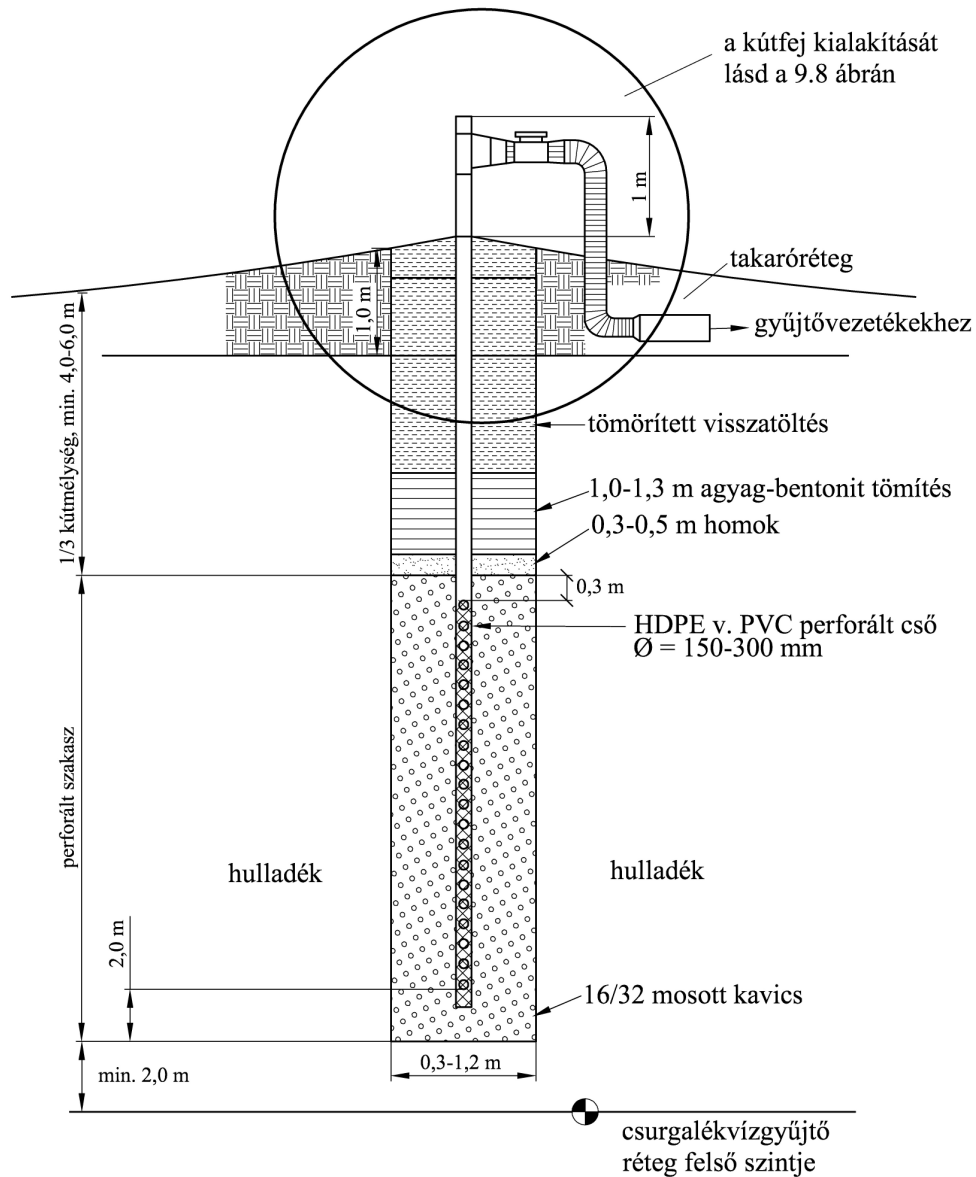
A rekultiváció megvalósítása során értelemszerűen már csak a felső elszívású kutak kialakítására van lehetőség. Az alsó elszívású kutak építése egyébként sem ajánlott, mert előnyei mellett (folyamatos építés, gyors elszívási lehetőség) számos, a gázkinyerést akadályozó hátrányos tulajdonsággal is (akadályozza az üzemelést, üzemelés közben gyakran megsérülnek, a mélyponton vízzár alakul ki, alacsony gázhozam, tisztítás nem lehetséges stb) rendelkeznek (HÓDI, 2009).



**9.7. ábra**  
**Alsó elszívású gázkút**  
 (HÓDI, 2009; SÁRI, 2011 nyomán)

A felső elszívású kutak kialakítását, jellemző méreteit a **9.8. ábrán** láthatjuk, a kútfej kialakítását a **9.9. ábra** szemlélteti.

Az aljzatszigetelő-rendszer sérülésének elkerülése érdekében a kút mélyítésekor a fúrás legfeljebb 2 m-re közelítheti meg az aljzatszigetelő-rendszert. A fúrt kút átmérője a gyakorlatban 0,3-1,2 méter között változik. A beléhelyezendő perforált, többnyire HDPE műanyag cső (de lehet PVC, korrózióálló fém is) átmérője 150-300 mm közötti. Alacsony vákuum mellett dolgozó kutaknál a fúratátmérő nagyobb (800-900 mm), a termelőcső átmérője ekkor 200 mm. Nagyobb mélységről történő gázmentesítésnél nagyobb vákuumra van szükség, ekkor kisebb csőátmérő is számításba jöhet (GDA, 2005b). Passzív gázmentesítésnél a külső átmérő általában kisebb. A gázkút csöveit célszerű teleszkóposan csatlakoztatni, hogy a későbbi süllyedésekből adódó deformációs sérüléseket részben el tudjuk kerülni (STACHOWITZ, 2005).



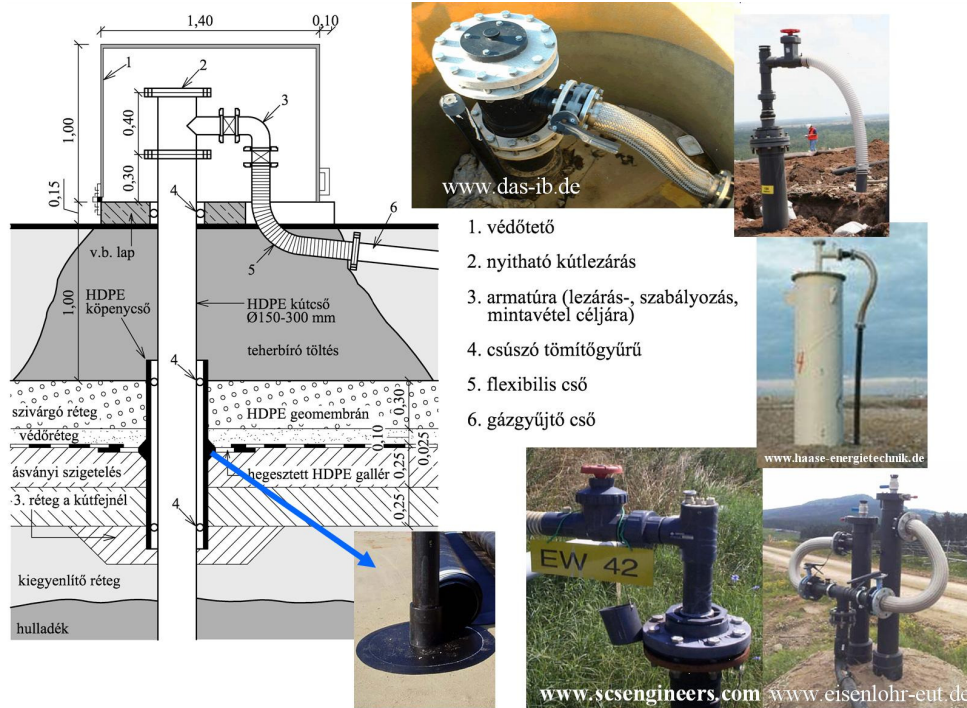
**9.8. ábra**  
**Az aktív gázkút kialakítása és a jellemző méretek**

A furat alját 2 m magasságig kavicssal kell feltölteni, erre kell a műanyag perforált csövet helyezni. A gyűrűstér kavicsfeltöltése 16/32 mm szemcsenagyságú kavicssal történik, amelynek  $\text{CaCO}_3$  tartalma ne legyen több, mint 10%.

Amennyiben a depóniának nincs kiépített aljatszigetelő-rendszere, akkor a kutat az aljzatig le kell mélyíteni, az első 2 méteres csőszakasz nincs perforálva és a gyűrűs teret, a

gáz migráció megakadályozása érdekében agyagtömítéssel kell kialakítani ezen a szakaszon.

A depónia zárószigetelő-rendszere hatékonyságának megőrzése érdekében a perforált csövet egy a kútmélység 1/3-ának megfelelő hosszra, de legalább 4,0 méterrel a depónia felszíne alá nyúló, nem perforált cső védelme mellett kell kivezetni. A kavicsolt szakasz fölött egy kb. 0,3 m vastag átmeneti homokréteg után a gyűrűsteret a tömítettség biztosítása érdekében 1,0-1,3 méter hosszra plasztikus, vízzáró agyaggal, bentonittal kell kitölteni. A kút felső része átvezetésénél a zárószigetelő-rendszert a **9.9. ábra** szerint kell kialakítani. A kútfej és a gyűjtőcső közötti csatlakoztatás - a várható mozgások miatt - flexibilis csővel történik.



**9.9. ábra**

**A kútfej kialakítása felső elszívású gázkútnál**  
(GDA, E 2-18, 2005b)

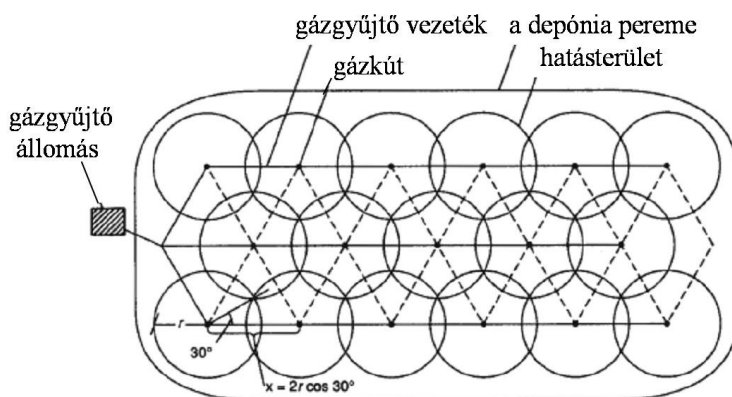
A kutak kiépítése a rekultiváció során fúrással történik, a furat többnyire béléscső nélkül kialakítható. Különböző fúrási módok alkalmazhatók: spirál-, dob-fúrás, beveréssel készített furat (**9.10. ábra**). A beverés esetében előny, hogy nincs kitermelt anyag, ugyanakkor hátrány a verés miatt fellépő tömörödés okozta permeabilitás romlás.



9.10. ábra

A gázkút fúrása, kialakítása  
(TOWNSEND (2005) nyomán)

A kutak *hatásterülete* – ugyanúgy, mint a vízbeszerző kutaknál – minden irányban kiterjed. A kutakat úgy kell elhelyezni, hogy a *hatásterületük összeérjen* (9.11. ábra). A hulladék vastagságától, a tömörítés módjától, a hulladék minőségétől, áteresztőképességétől stb. függően a gázkutak távolsága nagyon eltérő lehet. Értéke a kútmélység 2,0-2,5-szeresére becsülhető. Átlagos körülmények között a kutak távolsága 50 méter, a hatósugár átlagos értéke 20-30 méter (STACHOWITZ, 2001).



9.11. ábra

A gázkutak elrendezése és hatásterülete  
(TCHOBANOGLOUS *et al.*, 1993)

A gázkutak hatásterülete meghatározható elméleti úton is, pl. az alábbi összefüggések valamelyikével:

ROBERTSON –DUNBAR, (2005):

$$\frac{p_d^2 - p_k^2}{p_k^2} = \frac{\mu_g \cdot \rho_h \cdot Q \cdot R_h^2 \cdot \ln \frac{R_h}{r}}{M \cdot K_h \cdot \frac{l_h}{l}} \quad (9.1)$$

DILLAH *et al.*, (2004):

$$\Delta p = \frac{\mu_g \cdot Q_o \cdot p_g}{2 \cdot K_h} \left( R_h^2 \ln \frac{R_h}{r} + \frac{r^2}{2} - \frac{R_h^2}{2} \right) \quad (9.2)$$

Az összefüggésekben alkalmazott jelölések:

$p_d$  : a gáznyomás értéke a depóniában,  $\left[ \frac{N}{m^2} \right]$ ;

$p_k$  : a gáznyomás értéke a kútban,  $\left[ \frac{N}{m^2} \right]$ ;

$\Delta p$  : a depóniában és a gázkútban lévő nyomás különbsége,  $\left[ \frac{N}{m^2} \right]$ ;

$R_h$  : a kút hatásterületének sugara, hatósugár, [m];

$r$  : a kút sugara, [m];

$\rho_h$  : a hulladék térfogatsűrűsége,  $\left[ \frac{t}{m^3} \right]$ ;

$\rho_g$  : a depóniagáz sűrűsége,  $\left[ \frac{t}{m^3} \right]$ ;

$\mu_g$  : a depóniagáz abszolút viszkozitása,  $\left[ \frac{N \cdot s}{m^2} \right]$ ;

$K_h$  : a hulladék permeabilitása,  $[m^2]$ ;

$Q_o$  : a gázpotenciál nagysága,  $\left[ \frac{m^3}{t \cdot \text{év}} \right]$ ;

$Q$  : a gázhozam nagysága,  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$ ;

$M$  : a hulladék tömege [t];

$l_h$  : a hulladék vastagsága, [m];

$l$  : a gázkút hossza, [m].

A permeabilitás ( $K_h$ ) értéke a szivárgási tényező( $k_h$ ) ismeretében a következőképpen határozható meg:

$$k_h = \frac{K_h \cdot \rho_g \cdot g}{\mu_g} \quad (9.3)$$

A (9.3) összefüggésben az ismert jelöléseken túl a  $g$  a nehézségi (gravitációs) gyorsulás.

A hulladékokra jellemző szivárgási tényezők értékei a **6.15. táblázatban** és a **6.54. ábrán** találhatók.

A tervezésnél általában egy adott kútelrendezéshez, kúttávolsághoz keresik a kutakban létrehozandó gáznyomás (vákuum) értékét. A fenti összefüggések jól tükrözik, hogy elméletileg ugyan jól számítható a hatásterület, azonban az összefüggésben szereplő paraméterek ismerete nagyon bizonytalan, és a rendszer közel sem homogén.

A gázkutak kialakítása nemcsak vertikális, hanem *horizontális is lehet*. Horizontális telepítés elsősorban kis hulladékvastagság esetében jöhet szóba. A horizontális kutak telepítésének az előnye:

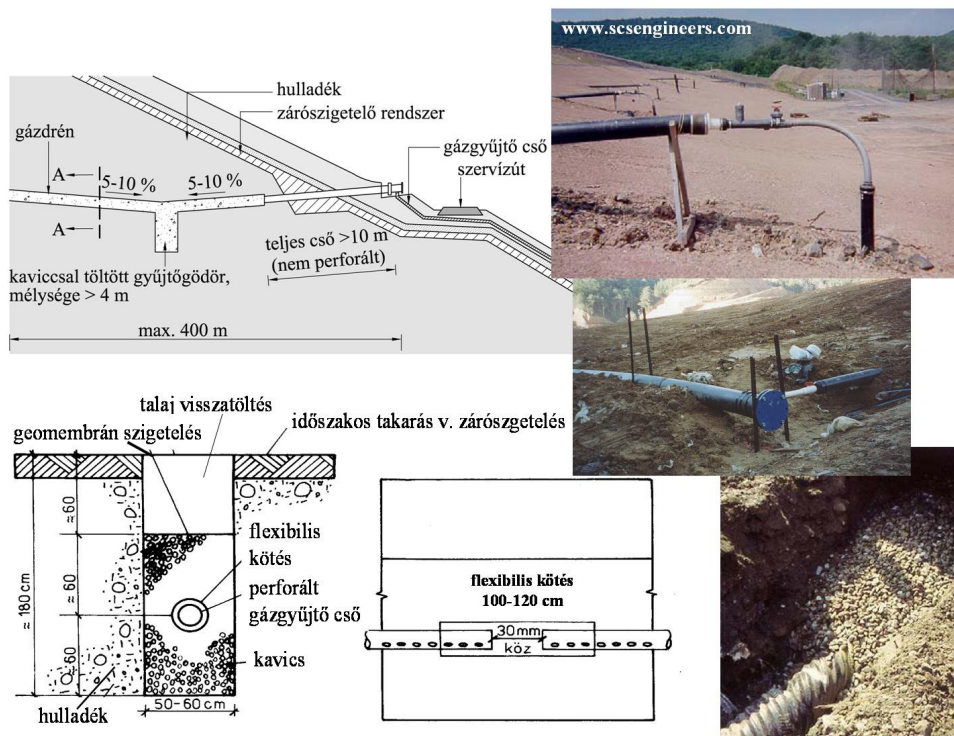
- a lerakó működése közben már telepíthető ;
- a gázmentesítés hamarabb elkezdődhet;
- kevésbé zavarja az üzemeltetést.

Ugyanakor hátrányos a horizontálisan épített kutak esetében, hogy:

- telepítésük költségigényesebb;
- kisebb a hatásterületük, mivel a hulladék vertikális permeabilitása rosszabb, mint a horizontális.

### 9.2.2. Gázgyűjtő árok, gázgyűjtő réteg

A gázmentesítő kutak mellett másik lehetőség a gázmentesítésre a többszintű *horizontális gázvezető-rendszer* kialakítása. Ekkor a hulladékban horizontális vezetésű *árkokat* kell kialakítani, kavicsal részben feltölteni, majd elhelyezni egy mindkét végén nyitott perforált csövet. A depónia peremi részén a kivezető szakaszon a csövek nincsenek perforálva. Az árkot kavicsal kell feltölteni. A kivezető cső végéhez kapcsolódik a főgyűjtővezeték (lásd **9.12. ábrát**).



9.12. ábra  
A gázgyűjtő árok

A gázdrének távolsága a helyi adottságoktól függ, vertikálisan átlagosan 6-8 (maximálisan 10), horizontálisan 20-40 méter. Elrendezésük leggyakrabban egymással párhuzamos, de lehet csillag vagy legyező formájú is, utóbbi rendszer kedvezően kombinálható a gázkutakkal. Az árkok kialakításának metszete úgyszintén a **9.12. ábrán** található.

A horizontális elrendezés következtében a csövek jelentős süllyedéskülönbségeknek vannak kitéve, s ezért a toldásoknál a csöveknek – a későbbi elmozdulásokra tekintettel – szabadon elmozdulóknak kell lenniük, toldásuk flexibilis.

Ugyanúgy, mint a vertikális elrendezésű gyűjtőkutaknál, a *zároszigetelő-rétegen való átvezetés a rendszer legérzékenyebb pontja (9.12. ábra)*. Az áttörési szakaszon mind a dréncsövet, mind a tömőrfalú (nem perforált) átvezető csövet a depónia belseje felé legalább 5-10% eséssel kell kialakítani, hogy a gázhőmérséklet csökkenése miatt kicsapódó kondenzátum a csőből biztonságosan visszajusson a depóniatestbe. Az idegen (fals) levegő bejutásának megakadályozása érdekében a nem perforált csőszakasznak legalább 10 m hosszúnak kell lennie. TABASARAN (1994) szerint a kívánatos érték 15-20 m. Az átvezetési szakaszon a szigetelőréteg vastagságát is meg kell növelni.

Az üzemi tapasztalatok és a kamerás felvételek azt mutatják, hogy a hulladék konszolidációjából adódó jelentős mozgások miatt (aminek a drénárkok különösen ki vannak téve), a drénárkokban gyakran alakulnak ki *pangóvízes szakaszok*, amelyek a

gázmentesítést akadályozzák. Ennek elkerülésére a drénárkokat kifelé 5-10% eséssel kell kialakítani.

Ahol a két cső esése előjelet vált, ott kell kialakítani a kb. 1×1m alapfelületű, legalább 4 méter mély, kavicsal kitöltött gödröt a kondenzátum tartós, biztonságos visszavezetésének és a drénárok víztelenítésének biztosítása érdekében (GDA, 2005b).

A rekultiváció során az utólag megépített gázmentesítő rendszereknél a horizontális gázvezető rendszer csak ritkán alakítható ki a hulladéktestben, de ilyen rendszer építhető ki például akkor, amikor a rekultiváció során a megszüntetendő kis lerakók a rekultiválandó központi depóniára kerülnek behordásra.

A rekultiváció során *horizontális gázmentesítő rendszer* kialakítása megvalósítható a *szigetelőrendszer alatti* kiépítéssel is, *felületi és árkos gázdrének kombinációjával* (lásd **9.3. ábrán**). Ez a rendszer elsődlegesen passzív gázmentesítést szolgál. A zárószigetelőrendszer alá épített gázgyűjtő rétegnél gyakori probléma a levegőbe való gázkijutás, vagy levegő bejutás (a külső-belső nyomástól függően). Amennyiben a lerakón aktív gázmentesítés van, a felületi gázdrén jó kiegészítés lehet, a kutakat azonban úgy kell kialakítani, hogy azok nem kommunikálhatnak a drénréteggel.

### 9.2.3. A metánoxidációs eljárás

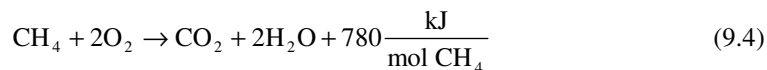
A metánoxidáció alkalmazása valójában *nem önálló gázmentesítési eljárás*, hanem valamelyik módszerrel (aktív, passzív) kombinálva alkalmazott, az elmúlt évtizedben előtérbe került megoldás. A depóniagáz környezeti veszélyeztetésének a csökkentése nemcsak a robbanásveszély és az egészségügyi kockázatok miatt fontos. Korunk egyik nagy kihívása a klímaváltozás problémájának a kezelése. Az emberi tevékenység okozta üvegházhatású gázok képződésében, a hatás erősödésében a metán mintegy 3 százaléknyi részarányt képvisel (GEBERT - STREESE-KLEEGER, 2008). Az összes antropogén gázemisszió képződésben a depóniákból az atmoszférába kijutó metángáz mennyisége sorrendben a harmadik (lásd **6.21. ábrán**), és a metán veszélyeztető potenciálja lényegesen nagyobb, mint a széndioxidé (lásd **6.7. táblázatban**). Magyarországon az üvegházhatású gázok kibocsátásában a depóniagázok részaránya közel 20% (EÖRSI-TÓTA, 2008). A fentebb elmondottakból következik, hogy a metángáz-emisszió csökkentése alapvető érdek.

A depóniák gázmentesítésének a hatékonysága aktív esetben akár a 90%-ot is meghaladhatja (SPOKAS, 2008), de általános tapasztalat szerint az átlagos hatékonyság ennél lényegesen kisebb, az 50-60%-os érték már nagyon jó eredménynek számít, és eléréséhez jól kiépített mentesítő rendszerre van szükség (SCHEUTZ *et al.*, 2009; SEYFERT, 2011). A passzív gázmentesítés hatékonysága még ennél is jóval kisebb. Az elmondottak azt jelentik, *hogy még kiépített gázmentesítés esetében is jelentős az atmoszférába távozó metángáz mennyisége.*

További probléma még a gázhasznosítás és ártalmatlanítás mellett is, hogy amikor a gáz metántartalma 25-27% alá esik, vagy hozama egy határérték alá csökken (átlagos berendezéseknél  $Q \leq 50 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  (BUWE, 2011)) már a lefáklyázás is csak támasztógáz mellett lehetséges, ami további energiafelhasználást igényel.

A fentiekben leírtakból következik, hogy mind egészségügyi, mind biztonságtechnikai, mind az üvegházhatású gázok emissziójának csökkentése érdekében *alapvető követelmény az atmoszférába jutó metán mennyiségének csökkentése*. Ezen probléma részbeni kezelésére alkalmas eljárás a *biológiai metánoxidáció*. (A lerakó utógondozási idejének csökkentése mellett ugyanezt a célt is szolgálják az ún. *in situ stabilizációs eljárások*, amelyeket részletesen a 11. fejezetben ismertetünk).

A biológiai metánoxidáció alapja a következő reakcióegyenlet:



A folyamat *metanotróf (metánfaló) baktériumok* jelenlétében megy végbe. A metanotróf baktériumok szinte mindenütt jelen vannak, ahol oxigén és metán együttesen megtalálható. A metánfalók a metánt metanol, formaldehid és hangyasav közti-termékeken keresztül szén-dioxiddá és vízzé oxidálják, életműködésükhöz a metán oxidációja során felszabaduló energiát hasznosítják.

A metánoxidáció a depóniában a még oxigénben dúsabb felső részeken, illetve a zárórétegben spontán úton is lejátszódik, ezen folyamatoknak azonban megvannak a maga korlátai (oxigénhiány, kötött, humuszszegény fedőréteg stb.). Ahhoz, hogy a metánoxidációs folyamatot optimalizálni tudjuk, a megfelelő körülményeket (*tápanyag, szervesanyag, oxigénellátás, megfelelő mennyiségű, koncentrációjú metángáz*) biztosítani kell. Ugyancsak fontos a megkívánt *nedvesség és hőmérséklettartomány, a megkívánt porozitás, gázáteresztőképesség* biztosítása. Befolyásolja a lebomlást a külső-belső nyomáskülönbség, a meteorológiai viszonyok is. A metánoxidáció körülményeit, optimális viszonyait, a megkívánt feltételeket az elmúlt évtizedben számos kutató vizsgálta mind laboratóriumban (GEBERT *et al.*, 2001; HUMER, 2004; STREESE - STEGMANN, 2005; BOGON - KÜHLE-WEIDEMEIER, 2008), mind helyszíni nagymodell kísérletekkel, min helyszíni próbaterületeken végzett mérésekkel (HUMER – LECHNER, 2001; STREESE - STEGMANN, 2003; CONTEC, 2004; ATZ, 2005; SPOKAS *et al.*, 2006; GEBERT - STREESE-KLEEGER, 2008; BOHN, 2008; EINOLA *et al.*, 2009; SPOKAS – BOGNER, 2011). Gyakorlati megvalósításra még csak korlátozott számú példa ismert, de a kapott eredmények rendkívül biztatóak (RETTENBERGER – GRÖBER, 2002; JOKSCH, 2005; GEBERT – GROENGROEFT, 2006), és joggal remélhetjük, hogy a depóniák okozta metánkibocsátás hatékony és viszonylag olcsó csökkentési lehetőségével állunk szemben. A nyilvánosságra került kísérletek, tanulmányok rendkívül átfogó összefoglalóját adja SCHEUTZ *et al.*, (2009) tanulmánya.

A következőkben csak az alkalmazás lehetőségeit mutatjuk be, szemléltetve azokat néhány megvalósult projekt adataival. Már a **9.5. ábrán** bemutatott passzív gázmentesítési példánál (JOKSCH, 2005) is találkoztunk a metánoxidációval, amikor a gázdrénből kijuttatott depóniagázt egy fakéreg (kéregmulcs) rétegen (metánoxidációs réteg) vezették át.

A metánoxidáció a depónia felső zárórétegében a depóniában lévő metángáz, a kívülről bejuttatott levegő (oxigén) és valamilyen szilárd anyagon (szűrőanyag) rögzített metánfaló mikroorganizmusok jelenlétében megy végbe a (9.4) reakcióegyenlet szerint. A lebontás

hatékonyságát számos, az előző bekezdésben felsorolt külső tényező meghatározó mértékben befolyásolja.

A depóniagáz a lerakóban rendelkezésre áll. A módszert elsősorban a passzív gázmentesítéssel párhuzamosan alkalmazzák, de folynak kísérletek az aktív gázmentesítéssel való kombinációra is, amikor a gáz metántartalma már hasznosításra nem alkalmas.

A metánoxidáció közege egy speciális tulajdonságokkal rendelkező szűrőréteg, amelyben a metán és az oxigén keveredik. A metán mozgása történhet mind diffúzió, mind nyomáskülönbség hatására. A szűrőréteg anyagaként elsősorban fakéreg (kéregmulcs), fanyesedék, gyökérnyesedék, komposzt, tőzeg jön számításba, de számos más anyaggal (pl. üveggyöngy, pernye, porózus agyag pellet stb) is történtek kísérletek. Nagyon fontos a szűrőréteg gázáteresztőképessége, ennek megfelelően a megfelelő szemszerkezete, tömörsége. Különösen kedvezőtlen, ha a szűrőrétegben fellép az eltömődés, aminek az oka gyakran az extracelluláris polimerikus vegyületek (EPS) megjelenése. A finomszemcsés, nagy fajlagos felületű szűrőrétegek esetében a kezdeti szakaszban a lebomlás intenzitása nagyobb, az idő előrehaladtával azonban az eltömődés az EPS megjelenése miatt fokozatosan csökken (STREESE - STEGMANN, 2003). A mikroroganizmusok tápanyagellátásában a C:N:O arálynak a 100:5:1 arány közelében kell lennie (FISCHER (1990) in ATZ, 2005).

A szűrőanyaggal szemben támasztott alapkövetelmények (SCHEUTZ *et al.*, 2009):

- jó gázáteresztőképesség melletti nagy víztartó kapacitás;
- legyen homogén a megkívánt gázáramlás fenntartása érdekében;
- a mikrobiológiai degradációval szemben ellenállóképesség;
- biztosítsa a metanotróf baktériumok szaporodásának környezeti feltételeit.

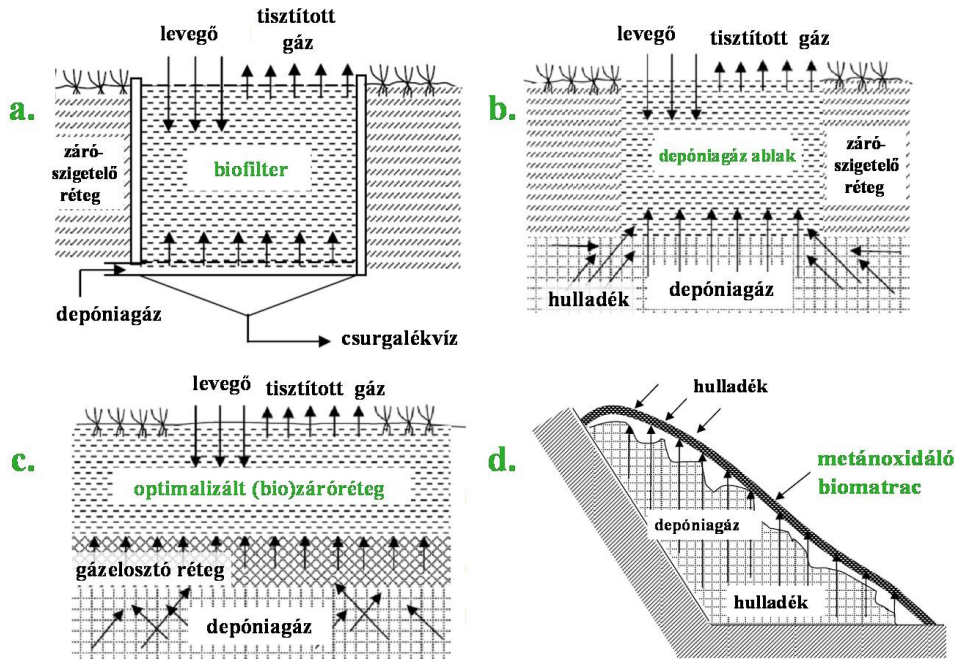
Az eddig elvégzett metánoxidációs vizsgálatok összefoglaló eredményeit, a különböző szűrőrétegek metánmegkötő-képességére, a metánoxidáció határfokára vonatkozó átfogó adatokat megtaláljuk SCHEUTZ és munkatársai (2009) munkájában. Az eddig elvégzett vizsgálatok eredményei alapján a metánoxidációhoz a következő környezeti viszonyok a kedvezőek:

- hőmérséklet: 25-35 °C
- pH érték: 5,5-8,5
- nedvességtartalom: 10-20 %

A biofilternek, a metánoxidáció rétegnek a rendszerbe történő integrálása történhet:

- a zárószigetelő-rendszerbe történő beépítéssel;
- a meglévő (ha van) gázmentesítő rendszerhez való csatlakoztatással.

Az alkalmazás módjától (ideiglenes vagy végleges lezárás), a meglévő infrastruktúrától (szigetelés, aktív-, passzív gázmentesítés, gázhasznosítás stb) függően a metánoxidációs eljárás gyakorlati megoldásának számos lehetősége lehet. Elméletileg a 9.13. ábrán látható megoldások jöhetnek számításba (GEBERT - STREESE-KLEEGER, 2008).



9.13. ábra

A metánoxidációs eljárás megoldási lehetőségei a rekultiváció során  
(GEBERT - STREESE-KLEEGER, 2008)

A *biofilterek* (9.13.a. ábra) zárt fixágyas bioreaktorok, amelyeket szag és büztelenítésre már régóta használnak. Depóniáknál elsősorban a depónián kívül, a hasznosításra már nem alkalmas kis koncentrációjú metán oxidálására, valamint egyelőre az in situ vizsgálatoknál alkalmazzák leggyakrabban, csatlakoztatva a meglévő gázmentesítő rendszerhez (pl. kutakhoz). STREESE – STEGMANN (2003) vizsgálatai szerint a metánoxidáció esetében viszonylag nagy a szűrőfelület/szűrőtér fogat igényük (0,5-1,0 m<sup>3</sup> szűrőtér fogat 1 m<sup>3</sup>/h metánhozamra).

A *depóniagáz ablak* és az *optimalizált metánoxidációs záróréteg* (9.13.b-c. ábrák) a leginkább számításba jövő megoldás, mindkettő használható önállóan és meglévő gázmentesítő rendszerhez csatlakoztatva is. A levegő oxigénjének a bejutása történhet mind diffúzív, mind konvektív úton. Önállóan történő alkalmazása elsősorban a régi, gázmentesítéssel nem rendelkező, már alacsony gázpotenciálú lerakóknál jön számításba.

Irodalmi adatok alapján a szűrőfelület szükséges nagyságát  $q_A = 50 \frac{\text{m}}{\text{h}}$  átlagos felületi

terhelés alapján határozhatjuk meg. (Felületi terhelés:  $q_A = \frac{Q_A}{A}$ , ahol  $Q_A$  a gázhozam

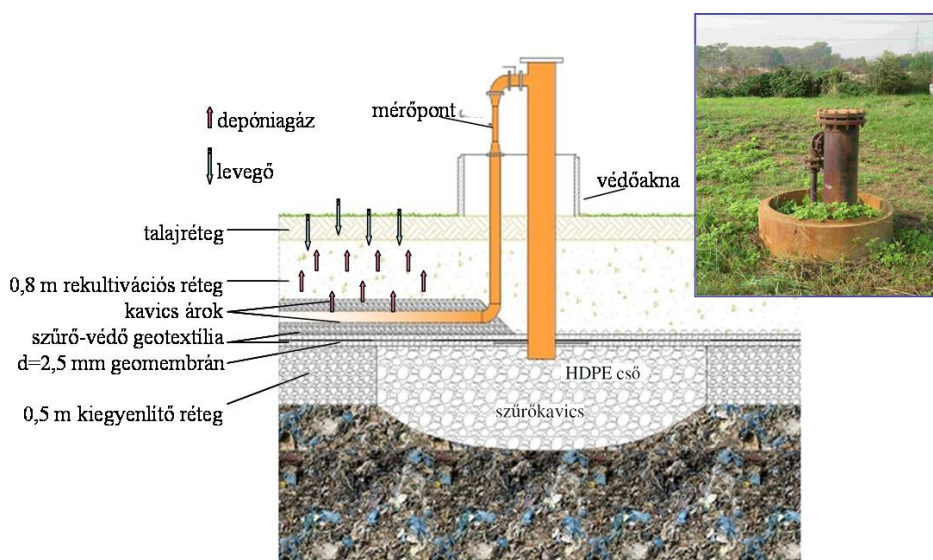
$\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$  és  $A$  a szűrőfelület nagysága  $[\text{m}^2]$ ).

A  $q_A$  értékét általában  $25 \frac{m}{h}$  (friss lerakók) és  $100 \frac{m}{h}$  (régbben működő, bezárt lerakók) között célszerű választani (BUWE, 2011).

A *biomatrac* (9.13.d. ábra) alkalmazása ma még kísérleti stádiumban van. Anyaga pl. geotextília közötti szűrőréteg. Felhasználásának elsődleges területe az üzem közbeni lefedés során történő metánoxidáció megvalósításánál lehet (GEBERT – STREESE-KLEEGER, 2008).

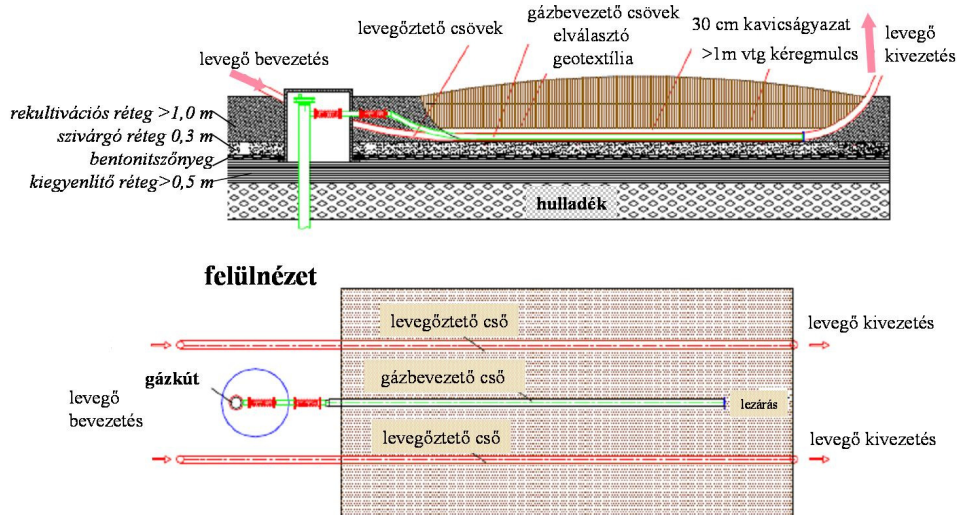
A metánoxidáció helyszíni alkalmazása előtt célszerű előzetes laboratóriumi és in situ vizsgálatokat végezni az adott szűrőanyag metánoxidáló képességének a meghatározására. Számos laboratóriumi és in situ kísérlet eredménye található SCHEUTZ *et al.*, (2009) tanulmányában.

A 9.14. ábra egy, a rekultivációs rétegben történő metánoxidációs eljárásra mutat be példát, amit egy már csak kis gázhozammal rendelkező lerakón alakítottak ki (RETTENBERGER, 2006). A lerakón gázdrénnel történik a gázmentesítés (passzív). A rekultivációs réteg alá geomembrán került, hogy a gázkilépési helyeket szabályozni tudják. A metán bevezetése a rekultivációs (metánoxidációs) rétegbe egy a drénrétegbe helyezett, geomembrán gallérral körbeszigetelt HDPE csővön keresztül történik. Az oxigén-utánpótlódás a levegő oxigénjéből történik.



**9.14. ábra**  
Passzív gázmentesítés melletti metánoxidáció  
(RETTENBERGER – GRÖBER, 2002)

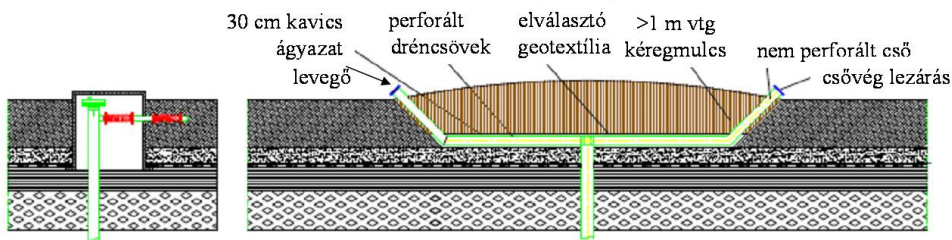
A 9.15. és 9.16. ábrák a meglévő aktív vagy passzív gázmentesítő kutakhoz csatlakoztatott metánoxidációs réteg kialakítási lehetőségére mutatnak be megoldást (BUWE, 2011). Az egyik esetben a gázkút mellett, a másik esetben a kútfej átépítése után a gázkút felett történik a szűrőréteg kialakítása. Az oxigénellátás biztosítása a levegő oxigénjének csővezetéken történő bejuttatásával, majd elosztásával történik.



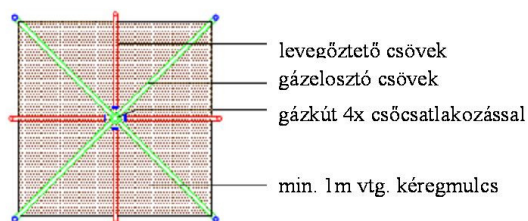
**9.15. ábra**  
Metánoxidációs réteg kialakítása gázkúthoz csatlakoztatva  
(BUWE, 2011)

**eredeti gázkút**

**átépített gázkút**

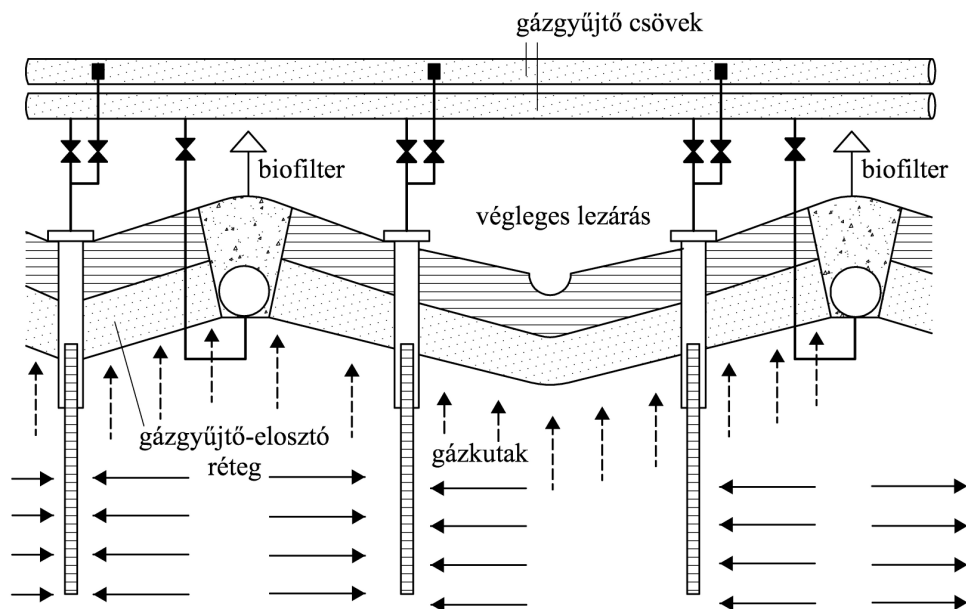


**felülnézet**



**9.16. ábra**  
Metánoxidációs réteg kialakítása a gázkút átépítésével  
(BUWE, 2011)

A **9.17. ábra** a Dreieich-Buchschatz lerakón alkalmazott módszert (RYTEC, 2005) mutatja be. A lerakó aktív gázmentesítéssel rendelkezik, de a gázmennyiség és koncentráció csökkenésének az idejére előre megépítették a metánoxidációs eljárással összekapcsolt passzív gázmentesítés lehetőségét is. A depóniagáz ablakokat a zárószigetelő-rendszer „magas” pontjaiban alakították ki. A biofilterbe a gáz mind a passzív gázmentesítés révén, mind az aktív rendszerből történő átvezetéssel (kis koncentráció esetében) bejuthat. A biofilterek összes felülete  $6000 \text{ m}^2$ , és a tervezés során  $0,6 \text{ m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$  terhelésre méretezték (RYTEC, 2005).



**9.17. ábra**  
A Dreieich-Buchschatz lerakónál alkalmazott metánoxidációs eljárás  
(RYTEC, 2005)

A metánoxidációs eljárás hatékonyságát minden esetben ellenőrizni kell. A felszínen FID mérések, a szűrőrétegben gázszondával történő gázkoncentráció mérések szükségesek (lásd **10.1.5. alfejezetben**).