

## BÁNYÁSZATI TERÜLETEK NAGY NEHÉZFÉM-TARTALMÚ TALAJÁNAK HATÁSA A NÖVÉNYVILÁGRA ÉS A NÖVÉNYEK TELEPÍTÉSÉVEL ELÉRHETŐ KÁRMENTESÍTÉSI LEHETŐSÉG VIZSGÁLATA

<sup>(1)</sup> *Kovács Helga*, <sup>(2)</sup> *Szemmelveisz Tamásné*

<sup>(1)</sup> tudományos segédmunkatárs <sup>(2)</sup> PhD, intézetigazgató helyettes, egyetemi docens

*Miskolci Egyetem, Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszék*

### Összefoglaló

Az ökoszisztéma elemei bizonyos határig képesek tolerálni egy kémiai elem többlet mennyisége okozta környezetterhelést, így a talaj összetételben bekövetkezett változásoknak, megnövekedett koncentrációknak is több terhelési szintje van. Amikor azonban a talaj elér és átlép egy szennyezettségi mértéket, akkor szennyező forrássá is válhat.

Magyarországon a különböző ipari tevékenységek eredményeként, az ipari szerkezetváltást követően számos olyan szennyezett bányaterület maradt kihasználatlanul, amelynek talajösszetétele nagymértékben eltérhet az átlagos kémiai összetételtől. Ilyen esetekben a terület kármentesítési kötelezettsége jogilag szabályozott. Vannak olyan területek is, amelyek talajösszetétele nem minősül súlyosan szennyezettnek, vagy a szennyezésről nincs információ, és természetes növénytakaró borítja. Ilyen területeken a fejlődő növény kémiai összetétele eltérhet az átlagostól, másrészt a tápanyagfelvétel közben akkumulált kémiai elemek mennyiségével csökkenhet a talaj terheltsége. A növények növekedése során a vízben oldott ásványi sók a gyökértől a levelekig vándorolnak a szállítószövetekben. A növényeket alkotó elemek nem egyenletesen oszlanak meg a növényi részekben. Kutatásaink alapján egyes fémek a lombzatban (rügy, gally), más fémek a kéregben, illetve törzsben halmozódnak fel.

Vizsgálataink során két különböző szennyezett területről származó fafaj (nyár, tölgy) növényi részeinek (rügy+gally, nagy ág, törzs és kéreg) kémiai összetételét vizsgáltuk.

### 1. BEVEZETÉS

A növényekben metabolikus zavarokat nemcsak a tápanyagok hiánya, hanem túlzott jelenléte is okozhat. Általában a növények sokkal ellenállóbbak a nyomelemek fokozott koncentrációjával, mint annak hiányával szemben. A növények kivágáskor nagy nedvességtartalommal bírnak, amely a száradás során folyamatosan csökken. A nedvességgel felvett tápanyagok – így a magas nyomelem koncentrációk is – a növény különböző részeiben halmozódnak fel.

A fa kémiai összetétele a fát felépítő elemek összességét jelenti. A fa karbon tartartalma ~50%, oxigén tartalma ~43% és hidrogén tartalma ~6%. Ez az elemi összetétel az egyes fás szárú növényeknél nem

tér el nagymértékben. A maradék 1%-ot más, nemfémes és fémes kémiai elemek alkotják - például a nitrogén, a foszfor, a kén, a klór, a szilícium, stb. -, kis mennyiségben szintén fontosak a fa anyagcsere folyamataiban.

A fémes elemek, a kálium, a nátrium, a kalcium, a magnézium, a vas, a réz, a mangán, a bór, stb., a fa természetes állapotában csak nyomokban fordulnak elő a növényekben. A nyomelemek hiánya épp úgy veszélyezteti a fa fejlődését, mint nagy koncentrációban történő felhalmozódásuk. A nyomelemek eloszlása a növényen belül energetikai szempontból is fontos, kiemelt figyelemmel a legveszélyesebb nehézfémekre, vagy a tüzelőberendezésre legnagyobb kockázatot jelentő elemekre.

A vizsgálataink célja az volt, hogy meghatározzuk egyes kémiai elemek, például egyes alkáli fémek és alkáliföldfémek eloszlását felhagyott bányászati területeken nőtt növényekben.

## 2. NEHÉZFÉMEK HATÁSA A NÖVÉNYEK NÖVEKEDÉSÉRE

A talaj és a növények egy határig képesek elviselni valamely nyomelemmel szembeni túlterhelést. Amikor a talaj szennyezőanyag tartalma elér és átlép egy határt, akkor szennyező forrássá is válhat, és a talajszennyezés mobilizálódhat. A szennyeződés tovaterjedése nagymértékben függ

- a szennyezés kémiai összetételétől, minőségétől,
- a szennyezők koncentrációjától,
- a szennyezők oldhatóságától, mobilitásától,
- az élő szervezetekre gyakorolt hatásoktól (beépülési képesség, toxicitás).

Számos vizsgálaton alapuló tanulmányban írtak már a nagy nyomelem koncentráció környezetre, közegekre, talajra gyakorolt káros hatásairól [1][2].

A nyomelemek természetes vagy mérgező koncentrációban való jelenlétének megítélése a növényekben nagyon összetett feladat. Az élő szervezetek kémiai egyensúlya alapvető feltétel a megfelelő növekedéshez és fejlődéshez. A növények nehézfém felvétele nagy mértékben függ a növénytani jellemzőktől.

A koncentráció és a toxicitás közötti összefüggést jól mutatja, hogy nagy koncentrációban a növények számára egyébként nélkülözhetetlen mikroelemek (Cu, Fe, Mo, Mn, Zn, Se) is káros hatásúak, ugyanakkor nagyon kis mennyiségben a közismerten toxikus elemek (Pb, Hg, Cr, Cd) nem gátolják a növények fejlődését. Fontos azonban megjegyezni, hogy a növényekben igen nagy mennyiségű nehézfém halmozódhat fel látható toxicitási tünetek nélkül, jelenlétük azonban ettől függetlenül veszélyt jelenthet a környezetre [3][4][5].

## 3. FÁSSZÁRÚ NÖVÉNYEK KÉMIAI ÖSSZETÉTELE, NEHÉZFÉM TARTALMA

A növényi biomassza, fitomassza összetétele változhat a nedvességtartalom, hamutartalom és biomassza típus függvényében. Mindazonáltal, ha az adatokat száraz mintára vonatkoztatjuk, akkor a

jellemzők értéke keskeny tartományban mozog [6]. A biomasszában található főbb elemek csökkenő sorrendben a C, O, H, N, Ca, K, Si, Mg, Al, S, Fe, P, Cl, Na, Mn és Ti.

Kutatások szerint a nehézfémekkel szennyezett talajon felnőtt fák esetén az Zn tartalom gyökérben meg nem kötött része a levelekben és a kéregben halmozódik fel [7][8]. Több tanulmány eredményei támasztják alá azt, hogy az akkumuláció során a „szennyezők” az aktívan növekvő szövetekben, mint például a hajtásokban és fiatal levelekben halmozódnak fel. A nyárfa vizsgálatok azt az eredményt mutatják, hogy a Zn és a Cd koncentráció a lombozatban a legnagyobb [9]. Egy fa törzsét vizsgálva is változhat a fémek eloszlása [11][12]. Ha csak a fa törzsének kémiai összetételét vizsgáljuk, nem kaphatunk pontos eredményt a növényben található kémiai elemek mennyiségéről, mert az elemek zöme a gallyakban és a rügyekben halmozódik fel [13].

#### 4. NÖVÉNYEKEL TÖRTÉNŐ TALAJTISZTÍTÁS LEHETŐSÉGEI

A bioakkumuláció az élőlények azon tulajdonsága, hogy a vegyületek környezetből történő felvétele eredményeképpen ezeket koncentrálnak, feldúsítják sejtjeikben, szöveteikben.

A szennyezettnek minősülő talajok kármentesítésének egyik módja a fitoextrakció, mely során a szennyező anyagokat akkumulálni képes növények a talajra, vízre különösen káros nehézfémeket (ólom, kadmium, cink) megkötik a talajból [14][15]. Ezek a szennyezők a növények könnyen betakarítható föld feletti szerveibe (hajtásába), illetve gyökerébe helyeződnek át.

Ez a megnevezés ugyan irányított, tervezett és monitoringozott kármentesítési technológiát jelent, azonban egy használaton kívüli bányaterületen megjelenő természetes növénytakarónál is figyelembe kell vennünk a növény akkumulációs képességét, mint a talaj összetételét megváltoztató, vagy szennyezettségi szintjét csökkentő tulajdonságát.

#### 5. VIZSGÁLATOK, MÓDSZERTAN

Kutatásaink során vizsgálatokat végeztünk annak meghatározására, hogy a kémiai összetétel hogyan változik, a fa különböző részeiben.

Vizsgálatainkhoz nehézfémekkel szennyezett területről vettünk mintákat a nyárfa és a tölgyfa populációból, és a szennyezett talajból. A növényi részek (rügy, gally, nagy ág, törzs belső rész, kéreg) és a talaj elemi összetételét kémiai analízissel állapítottuk meg.

Az összes elemet ICP spektrometriával, a Varian, 720 ES típusú szimultán, axiális plazmafigyelésű ICP spektrométerével határoztuk meg. A pontosság-ellenőrzésre az MERCK Kft által forgalmazott, tanúsítással ellátott multielemes ICP hiteles anyagminta-oldatból kalibráló oldatot használtuk. A minták oldatba-vitele zárt teflon bombában, tömény salétromsavval, 130 °C-on 120 perces időtartamú oldással történt. A lehűlt oldatot 50 cm<sup>3</sup> végtérfogatra töltöttük fel. A klórtartalom meghatározása potenciometriás módszerrel, klorid-ion szelektív elektróddal történt, többszörös standard addícióval

való kalibráció alkalmazásával. A méréshez az ICP-s vizsgálatához előkészített törzsoldatot használtuk fel.

## 6. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

### 6.1. A VIZSGÁLT BÁNYÁSZATI TERÜLET TALAJVIZSGÁLATAI

A terület szennyezettségének vizsgálatakor a talajminták kémiai összetételét – elsősorban nehézfém tartalmát – határoztuk meg. A faminták környezetéből vett talajok összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A mintául szolgáló növények környezetéből vett talajminták nehézfém tartalma, mg/kg

Minta	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Ba
A ter/1	494,7	222,7	8,41	1651	87,12	13,94	28,08	687,3
A ter/2	640,3	275,3	10,43	3542	93,85	20,02	16,68	656,9
B ter/1	2599	326,6	20,28	751,5	101,4	24,54	20,28	365,1
B ter/2	110	67,4	6,22	23,86	88,17	23,76	23,86	477,2
C ter	5028	1113	28,04	9169	66,46	18,91	11,42	404,9

A kiemelt koncentrációk a talajtani szakirodalom, és előírások [16] alapján a terület túlterheltségét, szennyezettségét mutatják.

### 6.2. NYÁRFA, ÉS TÖLGYFA NÖVÉNYI RÉSZEINEK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

Az 2. táblázatban és a 3. táblázatban feltüntetett mérési eredmények kémiai elemenként mutatják, hogy a különböző növényi részekben az adott elemnek hány százaléka található. A nehezen elkülöníthető rügy és gally részt a továbbiakban együtt kezeljük.

2. táblázat. A kémiai elemek eloszlása a nyárfa növényi részeiben, %

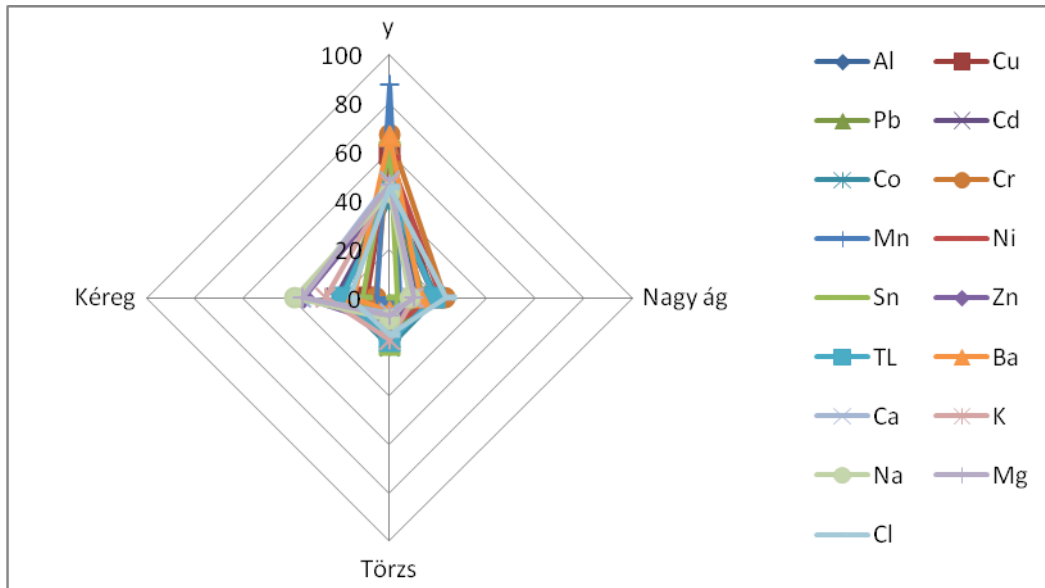
	Rügy+gally	Nagy ág	Törzs belső	Kéreg
Al	56,10	11,15	17,05	15,70
Cu	59,17	18,20	13,17	9,46
Pb	50,36	13,73	16,35	19,56
Cd	41,30	18,73	18,2	21,77
Co	40,32	19,51	19,69	20,48
Cr	67,32	22,79	4,48	5,41
Mn	87,57	4,54	2,57	5,32

	<b>Rügy+gally</b>	<b>Nagy ág</b>	<b>Törzs belső</b>	<b>Kéreg</b>
<b>Ni</b>	57,63	21,42	10,68	10,27
<b>Sn</b>	63,23	3,44	22,33	11,00
<b>Zn</b>	42,86	10,25	11,59	35,3
<b>TL</b>	44,21	18,68	17,94	19,17
<b>Ba</b>	66,74	12,83	5,77	14,66
<b>Ca</b>	48,18	9,38	6,30	36,14
<b>K</b>	46,34	10,07	17,18	26,41
<b>Na</b>	43,67	8,54	9,00	38,79
<b>Mg</b>	46,50	10,29	7,43	35,78
<b>Cl</b>	45,65	23,22	14,88	16,25

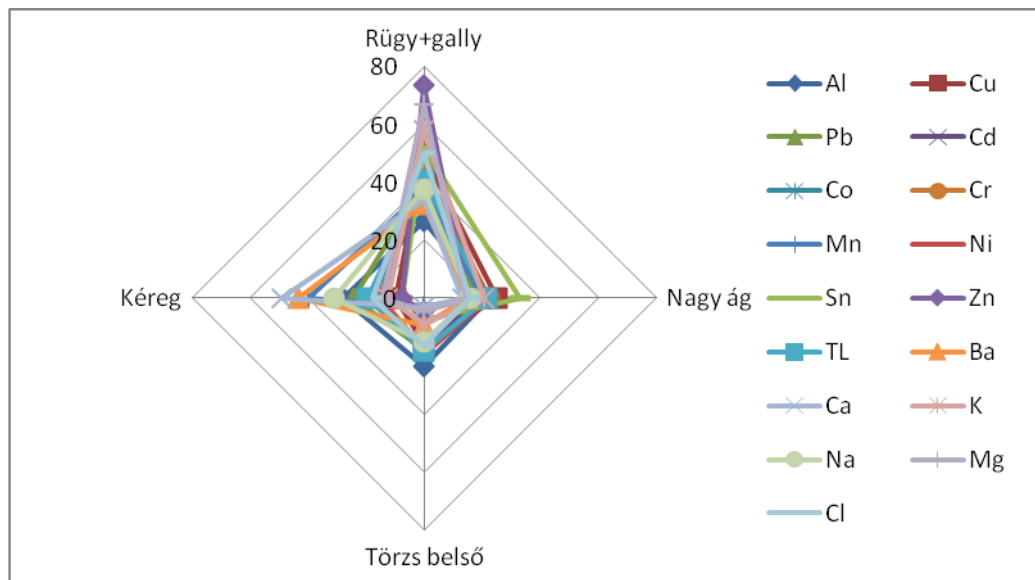
3. táblázat. Az elemtartalmak eloszlása a tölgyfa növényi részekben, %

	<b>Rügy+gally</b>	<b>Nagy ág</b>	<b>Törzs belső</b>	<b>Kéreg</b>
<b>Al</b>	26,36	22,32	23,39	27,93
<b>Cu</b>	49,56	25,15	15,29	10,00
<b>Pb</b>	39,81	18,10	17,66	24,43
<b>Cd</b>	45,92	19,82	16,87	17,39
<b>Co</b>	42,50	20,93	18,58	17,99
<b>Cr</b>	45,21	22,41	17,61	14,77
<b>Mn</b>	37,27	20,37	2,56	39,80
<b>Ni</b>	43,42	21,88	19,31	15,39
<b>Sn</b>	51,88	33,08	7,52	7,52
<b>Zn</b>	73,52	14,69	4,26	7,53
<b>TL</b>	40,58	21,47	18,32	19,63
<b>Ba</b>	32,41	14,81	9,50	43,28
<b>Ca</b>	34,24	13,26	3,07	49,43
<b>K</b>	57,85	20,51	9,04	12,60
<b>Na</b>	37,76	15,98	15,05	31,21
<b>Mg</b>	66,53	14,59	4,63	14,25
<b>Cl</b>	49,99	15,86	16,40	17,75

A táblázatban látható százalékos megoszlásokat a nyárfa esetén az 1. ábra, a tölgyfa esetén a 2. ábra szemlélteti.

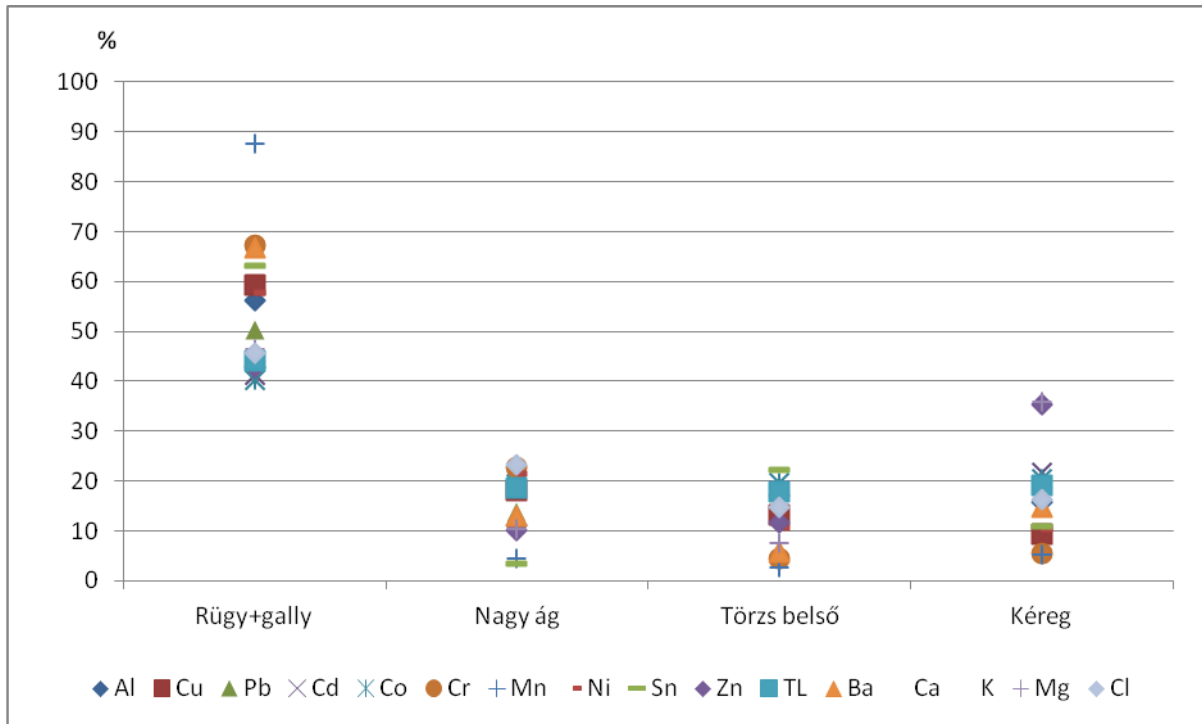


1. ábra. A nyárfa különböző növényi részeinek összetétele %-ban

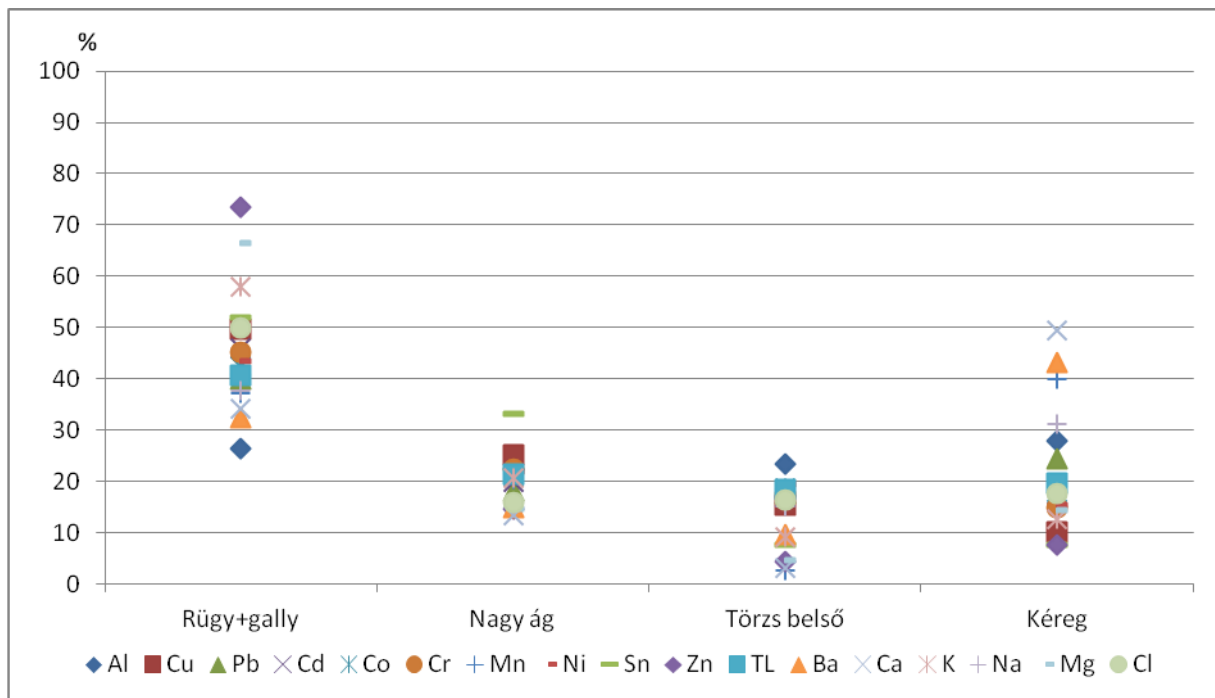


2. ábra. A tölgyfa különböző növényi részeinek összetétele %-ban

Az eredmények és a szemléltető grafikonok alapján megállapíthatjuk, a vizsgált kémiai elemek a fásszárú növényekben a hajtásban (rügy), és vékonyabb ágakban (gally) és a kéregben mutattak felhalmozódást. A kémiai összetétel alakulására vonatkozó tendenciákat a trendvonalként összekötött mérési eredmények segítségével a 3. ábra (nyárfa) és a 4. ábra (tölgyfa) szemlélteti.



3. ábra. A kémiai elemek eloszlása a nyárfa növényi részeiben, %



4. ábra. A kémiai elemek eloszlása a tölgyfa növényi részeiben, %

A két vizsgált faj összes Ba, Ca, K, Na és Mg-tartalmának 71,6 – 84 %-a az aktívan növekvő szövetekben (hajtás, kisebb ágak, kéreg) halmozódik fel. A vizsgált fásszárú növények Cl

koncentrációja is a gallyakban és hajtásokban a legnagyobb, a növény klór tartalmának átlagosan 64,8 %-a itt található.

A Pb, Cr, Mn és Zn esetén ugyanez a megállapítás tehető. Míg a Cr és Pb 66-67 %-a, addig a Zn és Mn 79,6 - 85 %-a az aktívan növekvő szövetekben (hajtás, kisebb ágak, kéreg) koncentrálódik.

Megállapítható továbbá, hogy a nyárfa törzs Cr, Mn, Ba és Fe, a tölgyfa törzse pedig Mn, Zn, Ca és Mg elemekből 6 % -nál kevesebbet halmoz fel. A tölgyfában egyenletesen oszlik meg, míg a nyárfa 56%-ban a lombzatban (gally, rügy) halmozza fel az alumíniumot.

A hajtások, kis ágak Cu, Cd, Co, Ni, Tl átlagos koncentrációja a növényben lévő teljes mennyiségükhöz viszonyítva rendre 58,4 %, 43,6 %, 41,4 %, 50,5 % és 42,4 %.

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK

A nehézfémekkel szennyezett talajok kármentesítése környezetvédelmi és jogszabályi kötelezettségek miatt is feltétele a kihasználatlan, nagy nehézfém koncentrációval jellemezhető területek gazdaságos hasznosításának. A talaj remediációjának elvégzésére több technológia is létezik, energetikai megfontolásból a kutatási eredményeink alapján az ilyen, nehézfémekkel szennyezett területek energianövényekkel történő beültetése javasolható. Növekedése során minden növény nagy mennyiségű nehézfémet képes raktározni, - ahogy eredményeink bizonyítják - elsősorban a hajtásokban és kisebb ágakban.

A növények nehézfém akkumulációjának kármentesítési hatékonyságát energianövény fajták körültekintő választásával kedvezően befolyásolhatjuk azok nagy növekedési volumenének, rövid vágásfordulójának, illetve a nagyobb hajtás, kis ág/növény arányának befolyásolásával. Így a növényi részekben megoszló nehézfém-tartalom a gyorsan növő fák esetén hatékonyabb kármentesítést tesz lehetővé. A letermelt energianövények sorsát a bennük felhalmozódott szennyezőanyag mennyisége határozza meg, annak vizsgálata minden esetben szükséges.

A növények ugyanezen tulajdonságai miatt az energetikai hasznosítás elsősorban apríték formában javasolt, ahol a fa teljes egésze elégetésre kerül, ezáltal a talajból akkumulált nehézfémek a környezetből eltávolítva, az égési maradékokban dúsulnak fel. Ez azt is jelenti, hogy a keletkező hamu deponálási lehetőségeit speciálisan kell vizsgálni, és az égetés során kiemelt figyelmet kell fordítani a tüzelőberendezés káros emisszióira.

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



## 1. IRODALOM

- [1] Xiangdong Li, Chi-sun Poon, Pui Sum Liu: Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong, *Applied Geochemistry*, Volume 16, Issues 11-12, August-September 2001, Pages 1361-1368.
- [2] J.L. Hall: Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance, *Journal of Experimental Botany*, Volume 53, Issue 366, pp. 1-11.
- [3] Lehoczky, É., Szabados, I., Marth, P.: Cd content of plants as affected by soil Cd concentration. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*. 27 (5-8) 1765-1777.
- [4] Lehoczky, É., Szabó, L., Horváth, Sz.: Cadmium uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in different soils. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*, 29 (11-14) 1903-1912.
- [5] Lehoczky, É., Marth, P., Szabados, I., Palkovics, M., Lukács, P: Influence of soil factors on the accumulation of cadmium by lettuce. *Commun. of Soil Sci. and Plant Anal.* 31 (11-14) 2425-2431.
- [6] Stanislav V. Vassilev, David Baxter, Lars K. Andersen and Christina G. Vassilev: An overview of the chemical composition of biomass, *Fuel* Volume 89, Issue 5, May 2010, Pages 913-933
- [7] Turner AP, Dickinson NM. Survival of *Acer pseudoplatanus* L. (sycamore) seedlings on metalliferous soils. *New Phytol* 1993;123:509-21.
- [8] McGregor SD, Duncan HJ, Pulford ID, Wheeler CT. Uptake of heavy metals from contaminated soil by trees. Glimmerveen I, editor. *Heavy metals and trees. Proceedings of a Discussion Meeting*, Glasgow. Edinburgh: Institute of Chartered Foresters; 1996. p. 171–6.
- [9] Drew AP, Guth RL, Greatbatch W. Variation in heavy metal accumulation by hybrid poplar clones on sludge amended soil. *Poplar culture to the year 2000. Proceedings of the Poplar Councils of the USA and Canada Joint Meeting*; 1987. p. 109–17.
- [10] Riddell-Black D. Heavy metal uptake by fast growing willow species. Aronsson P, Perttu K, editors. *Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. A biological purification system*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences; 1994. p. 145–51.
- [11] Punshon T, Dickinson NM, Lepp NW. The potential of *Salix* clones for bioremediating metal polluted soil. In: Glimmerveen I, editor. *Heavy metals and trees. Proceedings of a Discussion Meeting*, Glasgow. Edinburgh: Institute of Chartered Foresters; 1996. p. 93–104.
- [12] Pulford ID, Riddell-Black D, Stewart C. Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. *Int J Phytoremediat* 2002;4:59–72.
- [13] Dickinson NM, Lepp NW. Metals and trees: impacts, responses to exposure and exploitation of resistance traits. In: Prost R, editor. *Contaminated soils: the 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*. Paris: INRA; 1997. p. 247–54.

- [14] Muhammad Nazmin Bin Yaapar, Intan nNdhirah Binti Masri, Nuradliza Binti Baharom, Yeow Jiing Shyi, Hanafi B Mohd Ali, *Biology-Online.org*, Article published on 23 June 2008. in <http://www.biology-online.org/articles/phytoremediation-a-lecture/phytoextraction.html>, Ellenőrizve: 2012.03.07.
- [15] E. Meers, A. Ruttens, M.J. Hopgood, D. Samson, F.M.G. Tack: Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals, E. Meers et al. / *Chemosphere* 58 (2005) 1011–1022.
- [16] 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet

## IPARI HULLADÉKTÁROZÓK KOCCÁZATÁNAK VIZSGÁLATA

**Dr. Elek Barbara<sup>1</sup>, Hák Viktor<sup>2</sup>, Kovács Gábor<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> PhD, tudományos munkatárs, <sup>2,3</sup> ügyvezető

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, <sup>2</sup>DISASTER Bt., <sup>3</sup>Geo-Kovács Kft.

### ABSTRACT

In our vicinity there were two severe tailing dam disasters in the last decade. In the light of these accidents some questions must be asked: if these operational tailing dams are safe or not, what the possibilities are to assess the vulnerability and the risks and how the operation can be safer. In most countries the operation of the tailing dams are regulated by strict magisterial protocols. The requirements of the operation are an internal and an external emergency plan, which can measure the risks and provide possible response actions. Nonetheless, tailing dam accidents have been happened until now. In this article the prevention methodes like dam risk analysis, an effective monitoring and early warning dam control system will be presented.

### BEVEZETÉS, TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A gátszakadások és az ezzel járó súlyos balesetek nem ritkák, az elmúlt fél évszázadban átlagban évente két alkalommal történt jelentős anyagkibocsátással járó tározó baleset a világban. Az átlagosan évi két alkalommal bekövetkező gát baleset szám azonban nagy szórást mutat, mivel voltak olyan évek, amikor egyetlen esemény sem történt, ám ezeket a nyugodt időszakokat követték az úgynevezett „fekete évek”, amikor az esetszám jelentősen megugrott. 1965. évben 5 baleset, 1966-ban 4 baleset, 1985-ben 4 baleset, 1994-ben 6 baleset, míg 2000. esztendőben 5 baleset következett be, köztük a Romániából eredő ciánszennyezéssel. A legutolsó, bejelentett tározóbaleset 2011. július 21-én történt Kínában (Szecsuan tartomány, Mianyang City), ahol egy mangán elektrolízis üzemben a meddőtározó gátja a heves esőzés miatt megcsúszott. 272 helyi lakost menekítettek ki az iszapár elől és körülbelül 200.000 ember vízforrását szennyezte el a kiömlő mérgező anyag.

A fél évszázad alatt közel 2000 ember vált az iszapár áldozatává, ezen balesetek közvetlenül (a pusztítás révén), illetve közvetve (a környezetszennyezés miatt) mintegy 20.000.000 ember életét befolyásolták kisebb-nagyobb mértékben. Az áldozatok között egyaránt megtalálhatók az egyes cégek munkavállalói, illetve a tározók környezetében élő lakosság. A legsúlyosabb balesetek az alábbiak voltak:

➤ 1965. március 28. El Cobre, Chile – a helyi rézbánya és feldolgozó 2 zagyttározójának a gátja földrengés miatt megsérült. A 2,25 millió köbméter iszap 12 kilométerre hatolt be a völgybe, elsodorva El Cobre városát, 200 fő halálát okozva.

- 1966. május 1., Sgorigrad, Bulgária – a rézbánya meddőiszap tároló gátja a heves esőzések és a rossz vízelvezetés miatt átszakadt, az árhullám az 1 kilométerre lévő falu felét letarolta, 488 ember halálát okozva;
- 1966. október 21. Aberfan, Egyesült Királyság – szénbánya iszaptározójának gátja a heves esőzések miatt átszakadt, 141 ember halálát okozva.
- 1985. július 19. – a Prealpi Mineraria fluorit bányájában gátszakadás történt, melynek oka a vizsgálatok alapján a műszaki előírások elmulasztása és a vízelvezetés hibás kialakítása voltak. A 200.000 m<sup>3</sup> iszap 90 km/órás sebességgel zúdult le a völgyben, kb. 4,2 kilométerre jutott el és eközben 268 ember halálát okozta. Ez volt az első olyan eset, ahol bizonyítottan nem természetes folyamat volt a baleset kiváltó oka.

A tározóbalesetek vizsgálatai alapján az alábbi tapasztalatok állapíthatók meg:

- A balesetek elsősorban a bányászati tevékenységhez, illetve a bányászott ércek feldolgozásához kapcsolódnak – az összes baleset 24%-a a réz, 14%-a az arany, valamint 13-13%-a a foszfát és a szén bányászatához és elsődleges feldolgozásához köthető.
- Az események hatása nagy területre terjedt ki, ennek oka az, hogy jelentős mennyiségű iszap, illetve víz szabadult ki a gátak mögül, rövid idő alatt. A kijutott folyékony szennyezők mennyisége az esetek 37%-ában a 100.000 m<sup>3</sup> alatt maradt, az esetek 40%-ában 100.000 – 1.000.000 m<sup>3</sup> között volt és 23%-ban az 1.000.000 m<sup>3</sup>-t is meghaladta.
- Sík vidéken telepített tározók esetében az elöntött terület mérete a kijutó anyagmennyiségtől kevésbé függött, illetve ekkor volt idő a munkavállalók és a lakosság riasztására és kimenekítésére.
- A súlyos, sok halálos áldozattal járó balesetek olyan tározókra voltak jellemzők, ahol a gát alatti terület lejtős volt, esetleg a tározóteret völgyzárógát létesítésével alakították ki. Ezeket a baleseteket nagy áramlási sebesség, jelentős rombolóerő és nagy völgyirányú hatótávolság jellemezte.
- Az áldozatok nagyobb részben a tározó környezetében élő emberek, kisebb részben az üzemeltető cég munkavállalói közül kerültek ki. A halálos áldozatok számát egy nagyságrenddel meghaladta a sérültek száma, hasonló megoszlásban.
- A súlyos balesetek minden esetben a gátakkal kapcsolatos eseményhez köthetők. A gát sérülését az esetek felében valamilyen természeti okkal lehet magyarázni, például földrengés, heves esőzések miatti földcsuszamlás. Az esetek mintegy 30%-ának a bekövetkezése valamilyen műszaki problémára vezethető vissza, mint túltöltés, hibás tervezés, illetve kivitelezés, a karbantartások elmulasztása, nem üzemeltettek előrejelző rendszereket, míg a többi esetben az ok ismeretlen (vagy elmaradt a részletes kivizsgálás).
- A hatások felszámolása rendkívül nagy költségekkel járt, melyet a szennyezést okozó vállalatok nem tudtak megfizetni. A tárolt iszapok jelentős része az emberi szervezetre káros hatást gyakorolt (mérgező, savas, lúgos) emellett ökotoxikus volt, így másodlagos hatásként jelentkezett az élőszervezetek mérgezése, ami nagy területre kiterjedő mentesítési munkálatokat igényelt. Emellett a

táplálékláncba kerültek a mérgezőanyagok, így hatóságilag tiltani kellett az ivóvíz és élelmiszerfogyasztást az érintett területen, illetve a hajléktalanná vált lakosok részére szállást kellett biztosítani és a lerombolt területeken az infrastruktúrát újjá kellett építeni.

➤ A balesetek nagyobb része (egyres források szerint 90, más források szerint legalább 70%-a), illetve a nagyszámú áldozat elkerülhető lett volna, ha a megfelelő biztonsági rendszerek működnek, illetve a munkavédelmi szabályokat betartják és a lakosságvédelmi tervek rendelkezésre állnak. Az 1980-as évekig egységes hatósági szabályozás sem volt egyes országokban, az előírásokat a balesetek tanulságai alapján alakították ki.

➤ Egy megfelelően elvégzett kockázatértékelés és az ez alapján bevezetett – munka és lakosság - védelmi rendszabályok birtokában a nem környezeti eredetű okokra visszavezethető káresemények nagy valószínűséggel nem történnek meg, illetve a természeti katasztrófhelyzetek nyomán bekövetkező káresemények súlyossága is kisebb lett volna. [Cimer, 2011]

A kockázatos ipari folyamatok egyik tényezője az ipari tározók, illetve ipari hulladéktározók potenciális (várható, esetlegesen bekövetkező) környezeti és társadalmi hatásai. A kockázatvizsgálat, elemzés és kockázatcsökkentés folyamata több egymásra épülő elemet tartalmaz, amelyet a továbbiakban röviden összefoglalunk. Jelen tanulmányban kizárólag a műszaki és az ökológiai, valamint a társadalmi kockázatok vizsgálatával foglalkozunk, eltekintve a humán egészségügyi kockázatok feltárásától.

## A TÁROZÓK KOCKÁZATI VIZSGÁLATA, ELEMZÉSE

Egy tározó térben és időben változó erősségű kapcsolatban áll a természetes és a mesterséges környezetével. A kapcsolati rendszer elemei közötti hatások különböző szintű kockázatot jelentenek az egyes rendszerelemekre, köztük az emberre. A kockázatelemzések célja elsősorban az emberre, embercsoportokra, valamint a társadalomra irányuló kockázatok azonosítása és minősítése. A humán egészségügyi kockázatelemzéssel párhuzamosan a vizsgálatot el kell végezni az ökológiai és a műszaki (termelő, szolgáltató) rendszerekre is.

Az ipari tározók kockázatának vizsgálata az alábbi lépéseket foglalja magában:

- A célok definiálása;
- Az elemzés követelményeinek meghatározása;
- A tározó és a gátak mérnöki felülvizsgálatának végrehajtása;
- A tározóra és környezetére vonatkozó kockázatbecslés elkészítése;
- Az alternatív kockázat csökkentő módszerek kockázatértékelése;
- A vizsgálati eredmények kockázatainak értékelése.

## KOCKÁZATI ELEMEL

A tározóra vonatkozóan a kockázati tényezőket (lásd 2. táblázat) az alábbiakban adhatjuk meg:

### ➤ Veszélytípusok

- anyag – energia, a tárolt víz környezetbe kerülési módja (kiáramlása);
- a tározó, mint műszaki létesítmény sérülése;
- üzemelési hiba, ebből fakadó szolgáltatási elégtelenség;
- ellenőrzési hiba;
- másodlagos környezeti és szennyeződési hatások - károk;
- közvetlen emberi károkozás (egészségügyi, anyagi, nem anyagi természetű, terror-szabotázs, bosszú).

### ➤ Veszélyeztetettek, érintettek

Elsődlegesen veszélyeztetettek, érintettek:

- a víztermelő technológiai rendszer,
- a munkavállalók,
- a tározó környezetében élők, az ott dolgozók és az átmenetileg ott tartózkodó polgárok;
- épületek – építmények – épített környezet;
- infrastrukturális elemek és a szolgáltatást igénybevevők;

Másodlagosan veszélyeztetettek, érintettek:

- készletek, anyagi javak, mezőgazdaság (a termőföld);
- a termelő eszközök, közlekedési, szállítási eszközök;
- környezeti elemek (levegő – vizek – talaj és földtani közeg);
- környezeti rendszerek (ökoszisztémák).

### ➤ Veszélyek (becsült) mértéke

Általában a tározók meghibásodása, erős rongálódása ritka esemény, de az okozott hatás és a kár általában jelentős mértékű az érintettek számára.

Egy új tározó létesítmény kialakításánál a kockázat alapú szemlélet érvényesítése egyszerűbb, mint egy már meglévő esetében, amely nem a jelen kor technikai-technológiai színvonalán épült meg. Ennek szemléletnek megfelelően már a tervezés folyamán figyelembe kell venni az alábbi elemeket:

- Tervezés/létesítés: meglévő műtárgy esetén a biztonságnövelésre, illetve a robosztusságra kell törekedni.
- Biztonság: magába foglalhat minden olyan passzív és aktív biztonsági elemet, ami a munkavállalók és a lakosság/közvélemény számára a biztonságérzet növelését jelenti
- Monitoring és ellenőrző rendszer: lehetővé teszi a korai riasztást, vagyis azt, hogy a rendellenes, veszélyhelyzethez vezető hatásokat és állapotokat időben felismerjék.
- Karbantartási program: magába foglalja a gátak, víztelenítő és vízelvezető rendszerek, berendezések, megközelítési útvonalak időszakos felülvizsgálatát és javítását.

➤ Irányítási rendszer: magába foglalja a rendszeres felülvizsgálatokat, a munkavállalók felkészítését, továbbképzését, a hatóságok felé történő adatszolgáltatást, illetve a biztosításokat.

Egy ipari tározónak életciklusa van, amely tervezés – építés – üzemelés – bezárás – rekultiválás (helyreállítás) és az ehhez kapcsolódó ellenőrzési folyamatokból áll (lásd 1. táblázat).

A tározók létükkel hatást gyakorolnak környezetükre. A tervezés kivételével életciklusuk mindene eleme hatással van a környezetre. Környezet alatt a környezeti elemeket (levegő – vizek – földtani közeg, a talaj és a kőzetek), a környezeti rendszereket (ökoszisztéma, a táj), az épített környezetet, valamint kiemelten az embert (az érintett közösségeket) értjük.

### KOCKÁZATVIZSGÁLAT ÉS KOCKÁZATÉRTÉKELÉS

A kockázatok pontos azonosításához feltétlenül szükséges a rendszer működési, kapcsolati sémája, melyhez általában több térkép, terv és részletrajz is tartozik. A tározók kockázat alapú szemlélet szerinti vizsgálatára többféle módszer létezik, melyek eltérő kockázatértékelési és kezelési módszereket használnak. Ezeket a módszereket alapvetően két csoportba lehet besorolni. Az első csoportba azok a módszerek tartoznak, amikor részletes kockázat elemzést készítenek (pl. biztonsági elemzések, sérülékenységi elemzések), a másik csoportba pedig a kockázat indexáláson alapuló módszerek sorolhatók (pl. biztonsági prioritás szerinti indexelés). [Cimer, 2011]

A részletes kockázat elemzésen alapuló módszert speciálisan gátakra fejlesztették ki, azok tulajdonosainak, üzemeltetőinek, illetve a biztonsági szakembereknek szolgál útmutatással. Egy ilyen módszer a PRA (Portfolio Risk Assessment) módszer.

Kevésbé objektív módszer, de annál gyorsabb eredményt ad az ügynevezett kockázat indexálási módszer. Ennek lényege, hogy a létesítmény fizikai állapotára koncentrál és a kockázatokat ebből vezeti le (ez az előzőekben leírt módszernek az ellentéte, ahol a kockázatokhoz rendelték hozzá a létesítmény állapotát). Andersen és Torrey módszere szerint a sérülékenységet egy indexálási módszerrel lehet meghatározni. [Elek, 2012]

A kockázatelemzési módszerek felméri és osztályozzák a létesítmény gyenge pontjait, értékeli az egyes hatásokat, és azok következményeit, definiálja a hibamódok okát, méri a kockázatot, részletesen elemzi a sérülékenységet és számítási módszereket adnak a biztonsági fejlesztések költséghatékonyságára.

A módszer arra is alkalmazható, hogy az előrejelző műszerek, szenzorok, kamerák, illetve mérnöki gátak helyét, szükséges mennyiségét és a védelem hatékonyságát megadja.

A vizsgálat során a különböző okokból bekövetkező tározó sérülések kockázatát az alábbi egyenlettel lehet megadni:

$$R = P * C \quad (1)$$

ahol R: kockázat;

P: valószínűség (a legsúlyosabb esemény valószínűsége);

C: következmény súlyossága.

A kockázat egy másik definíciója szerint:

$$R = V * Th * (C_S + C_L) \quad (2)$$

ahol V: sérülékenység;

Th: fenyegetettség;

C<sub>S</sub>: rövid távú hatások súlyossága;

C<sub>L</sub>: hosszú távú hatások súlyossága.

A kockázati tényezők száma nagy és ezek komplex, összefüggő rendszert alkotnak. A kockázat számító függvények jellemzőit nehéz meghatározni, megbecsülni. Az egyes események bekövetkezési valószínűségének meghatározása kritikus lehet a kockázatszámításnál. A folyamatelmzés során az ok-okozati kapcsolatokat fel kell tárni, az és – vagy kapcsolatok megállapítása (például a hibafa elemzésnél) a számítások fontos tényezője. A kockázati elemek hatásait célszerű – a hatás várható térbeli kiterjedésének függvényében eltérő léptékű - térképeken ábrázolni, ezeken a térképeken kell bemutatni a biztonsági és kockázati zónákat, a veszélyeztetett objektumokat, infrastruktúra elemeit, a várható károk mértékét és helyét, esetleg itt lehet ábrázolni bizonyos előre tervezett organizációs, védelmi objektumokat, útvonalakat. [Cimer, 2011]

### 1. táblázat: Kockázatelemzési szempontok a tározók teljes életciklusára

Az egyes tározók életciklusa elemei	A tényező élettartamon belüli részaránya	Elemzési, vizsgálati szempontok
Helykijelölés, előkészítés - tervezés	1-2 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ megfelelő számú alternatíva vizsgálata, a kijelölési szempontok teljessége,</li> <li>○ gondos helykijelölési vizsgálatok;</li> <li>○ alapos terület-előkészítés (a környezeti – társadalmi szempontok teljes körű számbavétele);</li> <li>○ a tervek folyamatos ellenőrzése, szükség szerinti átdolgozása;</li> <li>○ tervezői felelősség, minőségbiztosítási előírások;</li> <li>○ biztonságtechnikai – munkavédelmi előírások elkészítése;</li> <li>○ a tervek engedélyeztetése;</li> </ul>
Építés, a műtárgyak kivitelezése	2-5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ a kivitelezés folyamatos műszaki ellenőrzése;</li> <li>○ a felelős mérnök szerepe, a dokumentációs rend és a kivitelezési előírások betartása – betartatása, minőségi tanúsítványok;</li> <li>○ a műtárgyról műbizonylat kiadása;</li> <li>○ megvalósulási tervek, dokumentációk és azok megfelelő számú és elérhető helyű tárolása;</li> <li>○ a védelmi tervek elkészítése;</li> <li>○ az üzemeltetési engedélyek beszerzése;</li> </ul>
Üzemelés (esetleges bővítés)	60-75 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ az üzemeltetési – technológiai előírások, betartása pontosítása;</li> <li>○ a biztonságtechnikai – munkavédelmi előírások betartatása;</li> <li>○ folyamatos ellenőrzés, a biztonságtechnikai rendszer üzemeltetése (monitoring hálózat);</li> <li>○ a dokumentáltság biztosítása (ellenőrizhetőség, bizonyító erő);</li> </ul>
Felszámolás,	25-35 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ a bezárás előkészítése;</li> </ul>



bezárás, rekultiválás	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ a hatósági előírások szerinti lezárás, rekultiváció;</li> <li>○ esetleges újrahasznosítás vagy elbontás;</li> <li>○ a monitoring rendszer üzemeltetése.</li> </ul>
--------------------------	---

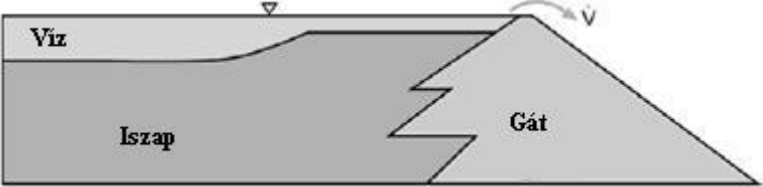
2. táblázat: Az egyes tározótípusok kockázatai

Tározó típusok	Kockázatok	Veszélyeztetettek, érintettek	Speciális kockázatok
Bányászati tározók meddő, letakarítási anyagok (külfejtésnél), széniszap, érces iszapok, flotációs iszap (az urán radioaktív iszapja is), vörösiszap, szénmosó iszap, fűrőiszapok stb.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Anyag, energia környezetbe kerülése (kiáramlása);</li> <li>○ üzemelési hiba;</li> <li>○ ellenőrzési hiba;</li> <li>○ a tározó sérülése;</li> <li>○ környezeti és szennyeződési hatások - károk;</li> <li>○ közvetlen károkozás.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ A munkavállalók,</li> <li>○ a tározó közvetlen környezetében élők, dolgozók és az átmenetileg ott tartózkodó polgárok;</li> <li>○ épületek – építmények – épített környezet;</li> <li>○ infrastrukturális elemek;</li> <li>○ készletek, anyagi javak, mezőgazdaság;</li> <li>○ környezeti elemek</li> <li>○ levegő – vizek – talaj és földtani közeg;</li> <li>○ környezeti rendszerek (ökoszisztéma, táj).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Anyagáramlások;</li> <li>○ Kémiai egészségügyi kockázat (rövid és hosszú távú expozíció);</li> <li>○ Energia sugárzások (radioaktivitás);</li> <li>○ Maró hatású, toxikus oldatokkal való érintkezés;</li> <li>○ Omlások, csúszások okozta mechanikai sérülések;</li> <li>○ Nehéz munkagépekkel, berendezésekkel kapcsolatos balesetek;</li> <li>○ Emberi hiba (pl. elmerülés iszapban).</li> </ul>
Energiatermelési tározók erőművi pernye - salak, korom, koksizolók gázmasszája, füstgáztisztítási maradékok, kőolaj tározótavak, pakura tározótavak stb.;	Lásd első pont.	Lásd első pont.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Az első pontban felsoroltak, továbbá:</li> <li>○ Energia sugárzások (radioaktivitás, hő);</li> <li>○ Tűz- és robbanásveszély (pl. pakura tavaknál).</li> </ul>
Kohászati, vegyipari, finomítói, ipari tározók különböző salakok (vaskohászati – színesfém kohászati), vegyi üzemek iszapszerű hulladékai, kőolaj finomítás, savgyanta, különböző sók, galván iszapok, papíriszap, bőrgyári nyesedék stb.;	Lásd első pont.	Lásd első pont.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Az első pontban felsoroltak, továbbá:</li> <li>○ Tűz- és robbanásveszély (pl. pakura tavaknál).</li> </ul>
Élelmiszeripari, mezőgazdasági tározók cukorgyári mosóiszap, olajiszapok, hígtrágya, komposzt stb.	Lásd első pont.	Lásd első pont.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Omlások, csúszások okozta mechanikai sérülések;</li> <li>○ Nehéz munkagépekkel, berendezésekkel kapcsolatos balesetek;</li> <li>○ Emberi hiba (pl. elmerülés iszapban).</li> <li>○ Biológiai egészségügyi kockázat (fertőzés – baktériumok, gombák, rovarok, egyéb járvány vektorok).</li> </ul>
Egyéb tevékenységek hulladéktározói inert hulladék, kommunális hulladék, veszélyes hulladék, szennyvíziszapok stb.	Lásd első pont.	Lásd első pont.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Omlások, csúszások okozta mechanikai sérülések;</li> <li>○ Nehéz munkagépekkel, berendezésekkel kapcsolatos balesetek;</li> <li>○ Emberi hiba (pl. elmerülés iszapban).</li> <li>○ Vegyi összeférhetlenségből eredő károk (tűz- és robbanásveszély).</li> </ul>

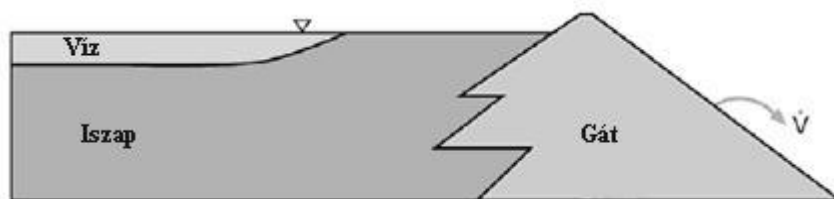
## ELLENŐRZŐ (MONITORING) RENDSZEREK

A tározó gátak, különös tekintettel a zagytározó, illetve folyékony hulladéktározó gátakra folyamatos ellenőrzést igényelnek, ez különböző indikátorjellemzők folytonos és időszakos mérésével oldható meg. Ez a rendszer biztosítja a gát környezeti hatásainak minimalizálását és a katasztrófa állapotok elkerülését, azaz a mért jellemzők elemzése alapján van idő az eredményes beavatkozásra a vészhelyzet elhárításához (lásd 3. táblázat). Az ellenőrzőrendszert mind a felhagyott (rekultiváció alatti), mind a még üzemelő tározóknál célszerű alkalmazni. A nemzetközi tapasztalatok alapján a következő elemekből álló ellenőrző rendszert javasolt üzemeltetni, az érzékelőket célszerű a diszpécierszolgálathoz bekötni. [Coldewey, 2007]

3. táblázat: A javasolt monitoring rendszer alap elemei

A MÉRT INDIKÁTOR ÉS FELADATA	Ellenőrzési gyakoriság
<b>1. Szemrevételezéses ellenőrzés</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ a kazetták töltetfelületének ellenőrzése, káros jelenségek regisztrálása;</li> <li>○ a gát felületének ellenőrzése;</li> <li>○ szükség esetén csurgalékvíz és hordalék minták vétele laboratóriumi vizsgálatokhoz;</li> <li>○ jelentés az észlelt helyzetről.</li> </ul>	<b>Minden nap 1 alkalommal</b>
<b>2. Vizekkel kapcsolatos megfigyelések</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ vízszint megfigyelő kutak mérése (felszín alatti víz és a csurgalékvíz szintjének ellenőrzése);</li> <li>○ a gáttesten keresztül rendszeresen kilépő és a vízminőség megfigyelő kutakból vízminta vétele előírt időközönként vagy szükség szerint;</li> <li>○ a gáttesten rendszeresen kilépő vízforrások (csurgások) hozamának mérése és esetleges beavatkozás elrendelése.</li> </ul>	<b>Negyedévente</b>
<p><b>Túlfolyás a gáttest felett:</b></p> 	

Kifolyás a gáttesten keresztül:

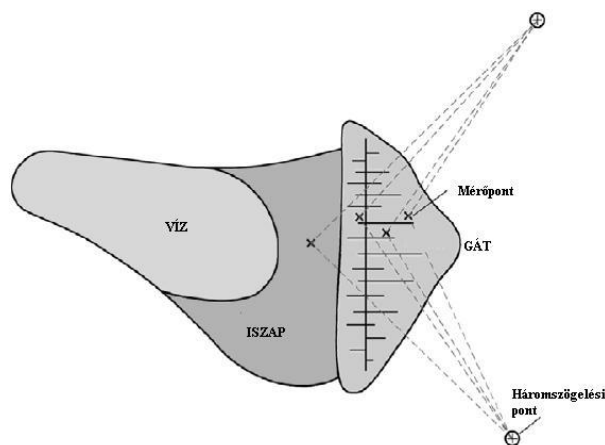


**3. A gáttest és a töltet rendszeres geodéziai és geotechnikai mozgásvizsgálata (deformációs mérések)**

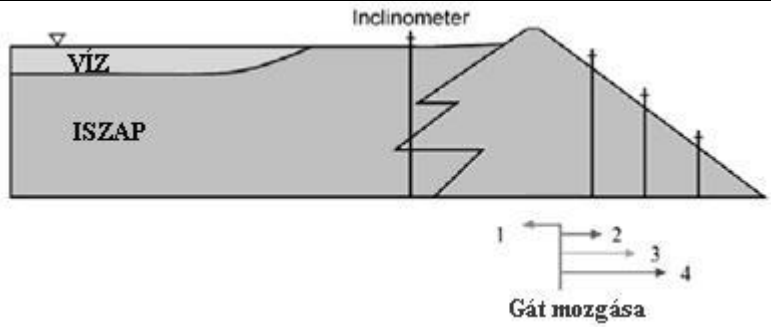
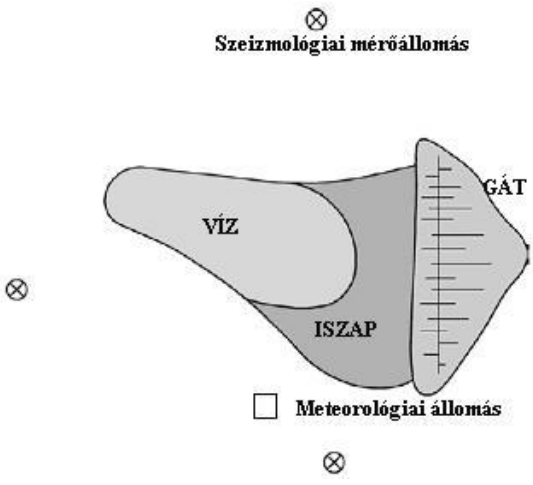
- rendszeres időközönként, a megtervezett mérési hálózaton, geodéziai koordináta-meghatározások és az adatok kiértékelése mozgásvizsgálati szempontok szerint;
- rendszeres mérések végzése inklinométerrel a telepített mérőhálózaton és az adatok értékelése (esetleg a kritikus helyeken automata elmozdulásmérők elhelyezése);
- rendszeresen pórusvíznyomási értékek regisztrálása (a folyamatosan regisztráló automata mérőberendezésekkel) a telepített mérőhálózaton és az adatok értékelése.

Negyedévente

Méreték, geometria ellenőrzése geodéziai mérésekkel:



Méreték, geometria ellenőrzése dőlésmérőkkel:

	
<p><b>4. A meteorológiai elemek mérése</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ automata mérőállomással, amely a kritikus meteorológiai elemeket méri (hőmérséklet, csapadékmennyiség, csapadék intenzitás, széljellemzők stb.).</li> </ul>	<p><b>Minden nap folyamatosan</b></p>
<p><b>5. Szeizmikus (dinamikus és szeizmikus eredetű rezgések) jelenségek regisztrálása</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ automata mérőállomással, a kritikus helyeken a dinamikus hatások (közlekedés, szállítás, különböző anyagátrendeződések hatásai stb.) és a mikro-szeizmikus jelenségek regisztrálása.</li> </ul>	<p><b>Minden nap folyamatosan</b></p>
<p><b>Szeizmikus tevékenység és meteorológiai helyzet ellenőrzése:</b></p>	
	

Ábrák forrása: I. Apostol et al.: *Optimalisation of Disaster and Prevention Measures in the Context of Human and social Dynamics*, IOS Press, 2009.

### KOCKÁZATKEZELÉS

A tározók sérüléséből adódó kontrollálatlan folyamatok egy komplex veszélyhelyzetet eredményezhetnek, amelyeket kezelni kell, hatásukat csökkenteni, minimalizálni célszerű.

A kezelendő hatások:

- Gazdasági hatások: ide tartoznak a kialakuló veszélyhelyzet felszámolásának, a tározó helyreállításának a költségei, az újjáépítési költségek, a hatóságok által kiszabott büntetések és a kártérítési igények.
- Környezeti hatások: a tározóból kijutó anyag nagy területen szétterül, rombol, tartós környezeti hatást okozva. További problémát jelenthetnek a hosszú távú hatások, mint a földcsuszamlások és a talaj instabilitás (beleértve az eróziót is).
- Társadalmi hatások: a közvélemény könnyebben elfogadja a folyamatos, egyszeri kisebb, de összességében nagy kárt okozó kockázatokat (pl. balesetek), mint az egyszeri, jelentősebb, de összességében mégis kisebb károkat. Számolni kell tehát egy baleset esetén a negatív kritikával, illetve a társadalom és a politika felől eredő nyomással.

Az előzőekben a tározók fizikai állapotának romlásával, az ebből adódó balesetek, elsősorban a legnagyobb horderejű gátszakadások kialakulásának lehetőségeivel, illetve ezen események kockázatával foglalkoztunk. Emlékeztetőül, egy tározó üzemeltetésekor számítani lehet az üzemi területen belülről koncentrálódó, illetve az azon túlterjedő eseményekkel, hatásokkal mint:

- Üzemi, üzemviteli események (általában csak belső védelmet igényelnek)
  - Zagy kijuttató gépek, berendezések meghibásodása;
  - Tározó víztelenítő rendszerének meghibásodása;
  - Gátak kisebb, anyagkibocsátással nem járó, de helyreállítást igénylő sérülése;
  - Vízkezelő berendezések meghibásodása;
  - Az előzőekből következő munkabalesetek.
- Havária események (általában a hatásuk miatt külső védelmi tevékenységet is igényelnek)
  - Anyagátbukás a gátkoronán;
  - Gát megcsúszása;
  - Gát törése;
  - Kezeletlen víz kijutása a vízbefogadóba, illetve a talajvízbe (környezetszennyezés);
  - Következésképp: súlyos munkabalesetek, tömeges sérülés, halálesetek, lakosság anyagi javai, infrastruktúra rombolódása.

A kétféle hatás kezelésére dolgozzák ki az úgynevezett belső és külső védelmi terveket, amelyeket a katasztrófavédelmi hatóságok felülvizsgálhatnak, jóváhagynak és rendszeresen megújítatnak.

A kockázatok, illetve veszélyek ismeretében dolgozzák ki a kockázatcsökkentő lépéseket, amelyek lehetnek mérnöki – technikai, polgári védelmi, illetve adminisztratív jellegűek. Ezt követően határozzák meg a tervezett lépések költséghatékonyosságát és amennyiben azok megvalósíthatók, beépítésre kerülnek a tározó tulajdonosának vagy üzemeltetőjének üzleti tervébe.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Környezetünkben két súlyosabb ipari tározó, hulladéktározó baleset is bekövetkezett az elmúlt időszakban. Ezen balesetek fényében felmerült a kérdés, hogy biztonságosak-e a jelenleg is létező ipari tározók, illetve milyen lehetőségek vannak a veszélyeztetettség, kockázat felmérésére, a biztonság fokozására. Az ipari hulladéktározók üzemeltetését a legtöbb országban szigorú hatósági előírások szabályozzák, melyben az üzemeltetés feltétele egy, a kockázatokkal számoló belső, illetve az üzemterületen túlterjedő veszélyhelyzet felszámolására készített külső védelmi terv megléte. Ennek ellenére a mai napig történnek tározóbalesetek. Ezek megelőzésének módszereit, a kockázatértékelést, illetve egy hatékony monitoring, előrejelző biztonsági rendszer elemeit igyekeztünk bemutatni cikkünkben.

"A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

### *Irodalomjegyzék:*

1. Andersen, G. R. and Torrey, V. H.: **Function-based condition indexing for embankment dams. *J. Geotech. Engrg.*, ASCE, 121 (8). (1995) p. 579–588.**
2. Cimer Zsolt, Hák Viktor és Kovács Gábor: **Ipari iszaptározók biztonságtechnikája I-II, Munkavédelem és Biztonságtechnika. 3. és 4. szám. (2011) p. 20-26. és p.31-36.**
3. Elek Barbara és Kovács Gábor: **Felszíni víztározók üzemelési kockázatainak vizsgálata. MaSzeSz HÍRCSATORNA. Szeptember – októberi szám. (2012) p. 10-15.**
4. Wilhelm G. Coldewey: **Emergency planning for tailing dams. UNECE Workshop on the safety of tailing management facilities. Workshop presentations, session I. 12-14. november 2007. Jerevan.**

## **Szennyezett adszorbens termikus regenerálása**

Thermal Regeneration of Contaminated Adsorbent

Thermische Regenerierungsprozess von sättigen Adsorbent

**Dr. Kapros Tibor.**

### **Abstract**

The paper summarizes the technologies for reactivation of saturated solid adsorbents. Generally is it about dangerous waste materials, and their recycling or elimination is very important task of environmental protection. Because of the small quantities, the applied methods are not economical for SME's. In the frame of GOP supporting program TÜKI and MTA AKI developed a new active carbon reactivating process by using of thermo-catalytic technology. The air for driving the burnable contamination in the desorptions phase is used as combustion air for covering the heat necessity of the technology. The pilot equipment, established with capacity of 300 kg. On the base of the results of trials the optimal parameters of process were defined. Its application is economical at small capacities too.

### **Bevezetés, előzmények**

Az ipari és kommunális létesítményekben alkalmazott számos technológia káros mellékhatásként a levegő szennyezettségét eredményezi. A megengedhető határértékeket meghaladó szennyezőanyag koncentráció jelentkezik a vegyipar és élelmiszeripar számos folyamatánál, de a környezetet káros mértékben terhelő kibocsátási paraméterek mutatkoznak elszívó rendszerek alkalmazásánál, nagykonyhai tűzhelyek üzemeltetésénél vagy egyes hőkezelési technológiák leégetési fázisaiban is. A levegő tisztításának legáltalánosabban alkalmazott módszerét az adszorbens anyagok alkalmazása jelenti.

Az adszorbciónal történő szennyezőanyag leválasztási technológia alkalmazása ugyanakkor a ciklikusan telítődő adszorbens rendszeres cseréjét teszi szükségessé. Az üzemeltető kénytelen a töltet utánpótlás jelentős költsége mellett a veszélyes hulladék kategóriát képviselő szennyezett anyag koncentrált kezelésével - megsemmisítésével vagy regenerálásával - kapcsolatos folyamatosan jelentkező további költséges (import) szolgáltatásokat igénybe venni.

A dolgozat összefoglalja az általánosan használatos regenerálási megoldásokat és bemutat egy új, kis kapacitásigény esetén is gazdaságosan működtethető hazai fejlesztési eredményt. A

berendezés alkalmas a kis és középvállalkozások lokális adszorbens újrahasznosítási feladatainak megoldására.

## Adszorbensek regenerálási műveletei

Gázelegyek tisztításánál, egyes komponensek leválasztásánál alkalmazott adszorbensek porózus szerkezetű, ultramikroporózus szerkezetükből adódóan nagy belső felületű anyagok. Az adszorpció jelensége fizikai vagy kémiai hatáson alapul. Előző esetben az elnyeletendő gáz vagy gőz részecskék fizikai erők hatására nyelődnek el az adszorbens pórusaiban. A kémiai adszorpciban a fizikai hatás mellett kémiai kötés is létrejön. Leggyakrabban alkalmazott adszorbens típusok az aktív szén vagy koks, a szilikagél, az aktív alumínium-oxid, és a zeolit alapú molekulaszűrők [1].

Az adszorbens gőz (gáz) elnyelő képessége a belső kapillárisok mennyiségétől és átmérőjétől függ. Az adszorpciós folyamatot hőfejlődés kíséri.

Amikor a kapillárisokon belüli gőznyomás és az eltávolítandó gáz parciális nyomása egyensúlyi állapotba kerül, az adszorbens telítődik. Regenerálása a megkötött gáznak az adszorbens felületéről történő eltávolítással deszorpciós folyamatban történik. Ekkor a pórusok szabaddá válnak és az adszorbens újabb gázzészecskék megkötésére válik alkalmassá.

A deszorbcio műveletének megvalósítására több eljárás típus került kifejlesztésre. A gőzzel történő regenerálást kismennyiségű, illékony anyagok adszorbcioja esetén alkalmazzák [2]. A kevés referenciával rendelkező biológiai regenerálási folyamatot textilüzemek vagy olajfinomítói szennyvízkezelők aktív-szén adszorbenseinek regenerálásánál használják. Kifejlesztésre került az ultrahanggal végzett deszorbciois technológia is.

A kémiai úton történő regenerálásra szerves savakat vagy lúgokat megkötő adszorbereknél kerül sor. Semleges kémhatású anyagok eltávolítására nem alkalmas. Lényeges elvárás, hogy az adszorbeált anyag homogén legyen. Ellenkező esetben az adszorbens csak részben aktiválódik. A deszorbcio a pórusokban lévő vegyületek és a tölteten átáramoltatott mintegy 100C° hőmérsékletű, nátrium- vagy káliumhidroxid ill. sósav közötti reakció hatására valósul meg. A kémiai affinitás nagyobb, mint a pórusok visszatartó ereje és az áramló közeg a képződött új vegyületeket magával ragadja.



Az adszorbens gázmegkötő képessége erősen függ a nyomástól. Gyakran alkalmaznak a magas nyomású adszorbcíót követően alacsony nyomáson (vákuumban) végrehajtott, öblítéssel kombinált deszorbcíót. A regenerálásnak ezt a típusát elsősorban folyamatos üzemeltetésű gáztisztítási és gázelegy szétválasztási technológiáknál alkalmazzák. Az adszorbens anyag többnyire szilikagél vagy molekulaszűrő. Itt a regenerált töltet egy nyomás növelést eredményező szelepváltást követően ismét alkalmazható az adszorbcíós fázisban.

A deszorpció eljárások közül legszélesebb körben a termikus folyamatok terjedtek el. Az eljárás alapja az adszorbens megkötő képességének magasabb hőmérsékleten történő rohamos csökkenése. A technológia alkalmazható folyamatos üzemben is. Ekkor két párhuzamosan kapcsolt készülék üzemel. Az elnyelést az adszorbcíó hőmérsékletén működtetett egység végzi, a másik adszorberen a forró regeneráló közeg áramlik át eltávolítva a megkötött gázrészecskéket. A váltási időket és a töltet mennyiségeket annak figyelembe vételével állapítják meg, hogy a deszorpció ütemben a töltetet vissza kell hűteni az adszorbcíós fázis hőmérsékletére.

A fenti eljárások elsősorban a folyamatosan üzemelő technológiáknál valósulnak meg. A levegő vagy víz szennyezettségét csökkentő adszorbcíós eljárásoknál a töltet telítődése általában több hetes (hónapos) üzemidő után következik be. A folyamatos regenerálás alkalmazása itt indokolatlan. Az üzemeltető számára a megoldást az adszorbens időszakonkénti cseréje jelenti. A telítődött adszorbenst a cserét követő regenerálással, vagy termikus megsemmisítéssel lehet ártalmatlanítani.

A környezetvédelemben alkalmazott adszorbcíós folyamatoknál a töltet jelentős részben magas forrponú, a pórusokhoz erősen kötődő szerves vegyületekkel – pl. aromás szénhidrogénekkal - telítődik. Ezek eltávolítására a termikus regenerálási technológia alkalmas. A környezeti szennyezők vonatkozásában kimutatott kedvező adszorbcíós tulajdonságai és viszonylag könnyű kezelhetősége miatt egyik gyakran alkalmazott töltetanyagként többnyire granulált állapotú aktív szenet (GAC) alkalmaznak.

Az alkalmazott termikus technológiák általában három fázisra különíthetők [3]. Első lépésben az aktív szén szárítására kerül sor  $105\text{C}^\circ$  hőmérsékleten. Ezt követi egy inert gáz atmoszférában magasabb hőmérsékleten elvégzett deszorpció és lebontási fázis. Az  $500\text{-}900\text{C}^\circ$  hőmérsékleten lejátszódó folyamatban az adszorbens pórusaiból távozó vegyületek lebomlanak. Az utolsó fázisban  $800\text{C}^\circ$  körüli hőmérsékleten oxidáló hatású gáz - vízgőz vagy széndioxid – átáramoltatásának hatására az előző fázisban deszorbeált és ártalmatlanított

vegyületek távoznak a rendszerből és az aktív szén visszanyeri eredeti porózus felületű állapotát.

Az eljárásban a karbon kiegészi és eróziós vesztesége mintegy 5-15%. A magas hőmérséklet okozta jelentős energiaköltség miatt az eljárás alkalmazása csak egy bizonyos kapacitás felett válhat gazdaságossá. Az egyesült államokbeli vizsgálat a határértéket mintegy 180 t/év határértékben állapította meg [4]. Kisebb mennyiség felhasználása esetén az üzemeltetők szennyezett adszorbens töltetüket központi regeneráló rendszernek adják át deszorbcio céljából. Bizonyos adszorbcios technológiákból származó töltetek elegyítetten is regenerálhatók növelve az üzemeltetés gazdaságosságát, azonban ekkor az üzemeltetőnek visszajuttatott aktív szén minőségére vonatkozó felelősség kérdése okozhat problémát.

A termikus regenerálási technológiát tehát általában központi aktívszén kezelő üzemekben alkalmazzák. A cégek vállalják a szennyezett adszorbens termikus megsemmisítését, ill. forgalmazzák a regenerált aktívszén töltetet. Egyesült Államokbeli jellemzőnek tekintett üzemeltetési feltételek mellett 2004-ben az új adszorbens ára kilogrammonként 2,2\$, a regenerálté a beszállított mennyiségre vonatkoztatottan 1,44\$ [4]. Ez utóbbi tartalmazza az aktiválási folyamatban keletkezett kb. 15% karbon veszteséget pótló friss töltet árát is. A termikus megsemmisítés 1,32 \$/kg átlagárát képviselt. A szállítási költségek a felhasználót terhelik. A számértékek ma már magasabbak, de az arányokat a korábbi értékek is jól érzékeltetik. A 15% friss töltetet tartalmazó regenerált adszorbens ára a teljes csere aktívszén árának mintegy 65%-a.

Az adszorbens regenerálásánál kiemelt prioritású hulladék újrahasznosítási folyamat valósul meg. A folyamat gazdasági előnyt is eredményez, erre a fenti szám adatok hívják fel a figyelmet.

## **Hazai fejlesztési célkitűzés**

A környezetvédelmi célú levegő ill. víz tisztítására szolgáló adszorbensek szennyezett állapotban veszélyes hulladéknak minősülnek. Nemcsak kezelésük, de szállításuk is szigorú feltételeket megfogalmazó hatósági engedélyhez van kötve. A telített anyag regenerálása, vagy a veszélyes adszorbens anyag termikus megsemmisítése általában az aktív szén forgalmazó cégek közvetítésével történik a folyamatra specializálódott külföldi üzemekben. A

felhasználót a regenerálás vagy égetés és a kapcsolódó szállítási kiadások mellett a közvetítő cégek költségei is terhelik.

A TÜKI Zrt. által kifejlesztett rendszer segítségével az adszorbens felhasználási helyszínén telepíthető és működtethető regenerálási folyamat valósítható meg. A deszorpciós fázis alacsony hőmérsékleten játszódik le. A folyamat kis energia ráfordítást igényel, ennek eredményeként kis mennyiségeknél is gazdaságosan működtethető. A technológia a töltetanyag telítődési ütemének megfelelő időszakos működtetésre került kidolgozásra. Üzemeltetésének élőmunka és költségigénye kis és középvállalkozások számára is biztosítja az autonóm adszorbens regenerálási folyamat megvalósítását.

A kifejlesztett regenerálási folyamat a szennyezett adszorbens töltet forrólevegős deszorpcióján alapul. A felszabaduló komponenseket magával ragadó közeg égéslevegőként kerül egy utóégető egységben felhasználásra. A berendezésben a szennyezőanyagok elégnék, az esetlegesen még megmaradt magasabb rendű szénhidrogén származékok katalizátoros tölteten történő átáramlás során bomlanak le. Az éghető komponensek kémiai hőtartalma a deszorpció hőigényének kielégítésénél hasznosul, csökkentve a rendszer földgáz felhasználását.

A rendszer ipari feltételek melletti üzemszerű működtetése a szükséges laboratóriumi vizsgálatok elvégzése mellett a berendezéssel szemben az alábbi igényeket támasztja;

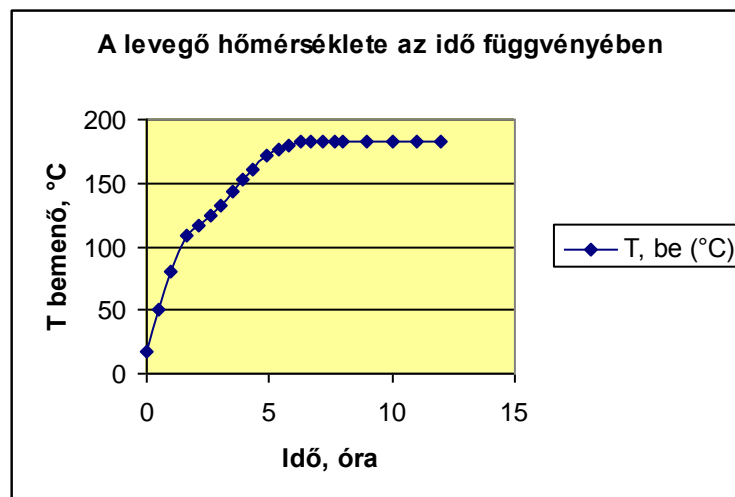
- Az ömlesztett anyagként megjelenő adszorbens tartályokban (kapszulákban) elhelyezve vesz részt a deszorpciós folyamatban. A berendezésnek biztosítani kell a tartályok egyszerű ki- és berakodásának lehetőségét a deszorber gáztömör zárása mellett.
- Biztosítani kell az utóégető berendezésben felszabaduló hőmennyiségnek a deszorpciós folyamatban történő hasznosulását.
- A technológia alkalmazhatósága a különböző anyagú és szennyezettségű adszorbensek széles körére kell, hogy kiterjedjen. A folyamat vezérlésének biztosítani kell a térfogatáramok és hőmérsékletek független szabályozási lehetőségét.
- Ki kell alakítani a legrövidebb regenerálási idő megvalósulását eredményező üzemeltetési feltételt.

A továbbiakban a hazai fejlesztésű termikus-katalitikus rendszer kerül bemutatásra.

## A regenerálási technológia kialakítása

Az aktív szén regenerálás kifejlesztésre került folyamata anyag- és hőátadási fázisok kapcsolódásával kialakított összetett technológiai rendszer. Ennek központi művelete a deszorpciós fázis, amelyet alapvetően a regenerálásra kerülő aktív szén anyaga, mennyisége és szennyezettsége határoz meg. Döntő kérdés volt tehát a regenerálásra kerülő adszorbens rendelkezésre állása.

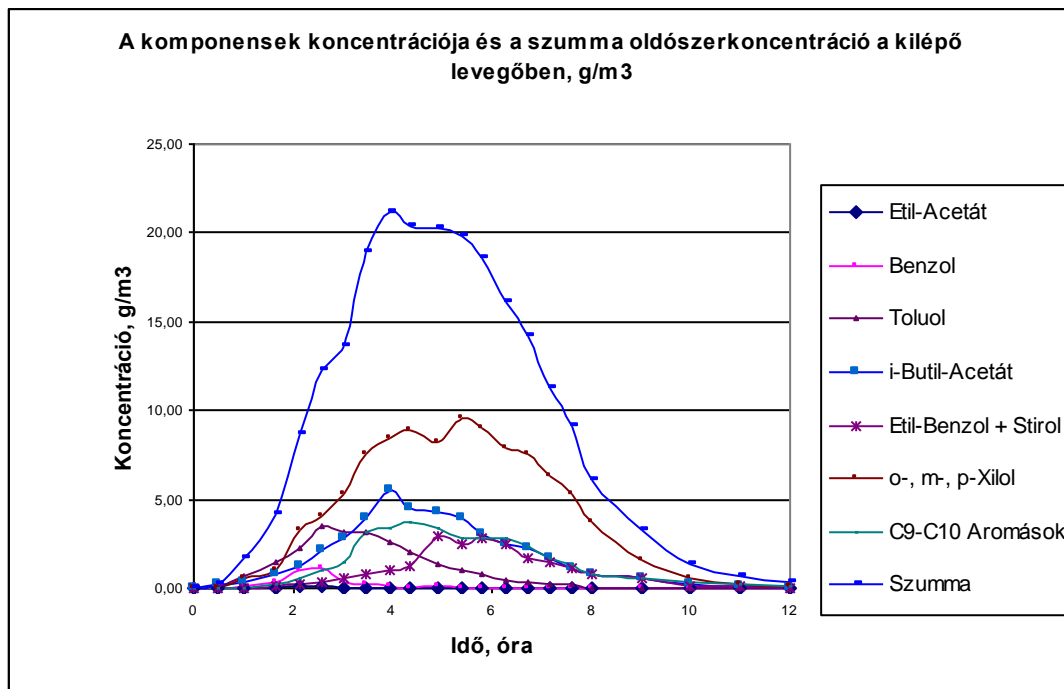
Az üzemi kísérletek elvégzésének céljaira 2x300 kg festőüzemi szerves oldószerekkel szennyezett aktív szén adszorbens granulátum állt rendelkezésre. Az elkészült prototípus geometriai méretei ennek a mennyiségnek egyidejű regenerálásához illeszkedtek. Figyelembe véve az elhasznált töltet keletkezésének körülményeit, ez a mennyiség tipikusnak volt tekinthető.



1. sz. ábra A deszorbeáló levegő hőmérséklete

Az MTA AKI munkatársai laboratóriumi vizsgálatok során beazonosították az oldószer komponenseit és meghatározták ezek deszorpciós tulajdonságait a robbanásveszély elkerülésének prioritását véve figyelembe [5].

Az 1. és 2. sz. ábrák a laboratóriumi vizsgálatok eredményét mutatják be. Eszerint maximálisan 190 C° levegő hőmérséklet mellett néhány óra alatt gyakorlatilag a teljes szennyezőanyag mennyiség eltávozott a rendszerből. A kísérleteknél alkalmazott öblítési térfogatáram extrapolálása alapján a 300 kg töltet regenerálása mintegy 300 Nm<sup>3</sup>/h deszorbeáló levegő térfogatáramot igényel (tervezési adat). A felfűtés sebessége az egyes szennyezőanyag típusok kísérletileg meghatározott deszorpciós diagrammjai alapján 80 C°-ig 30 C°/h, ezt követően 10C°/h értékben nyert meghatározást.



2. sz. ábra A kilépő levegő oldószer tartalma

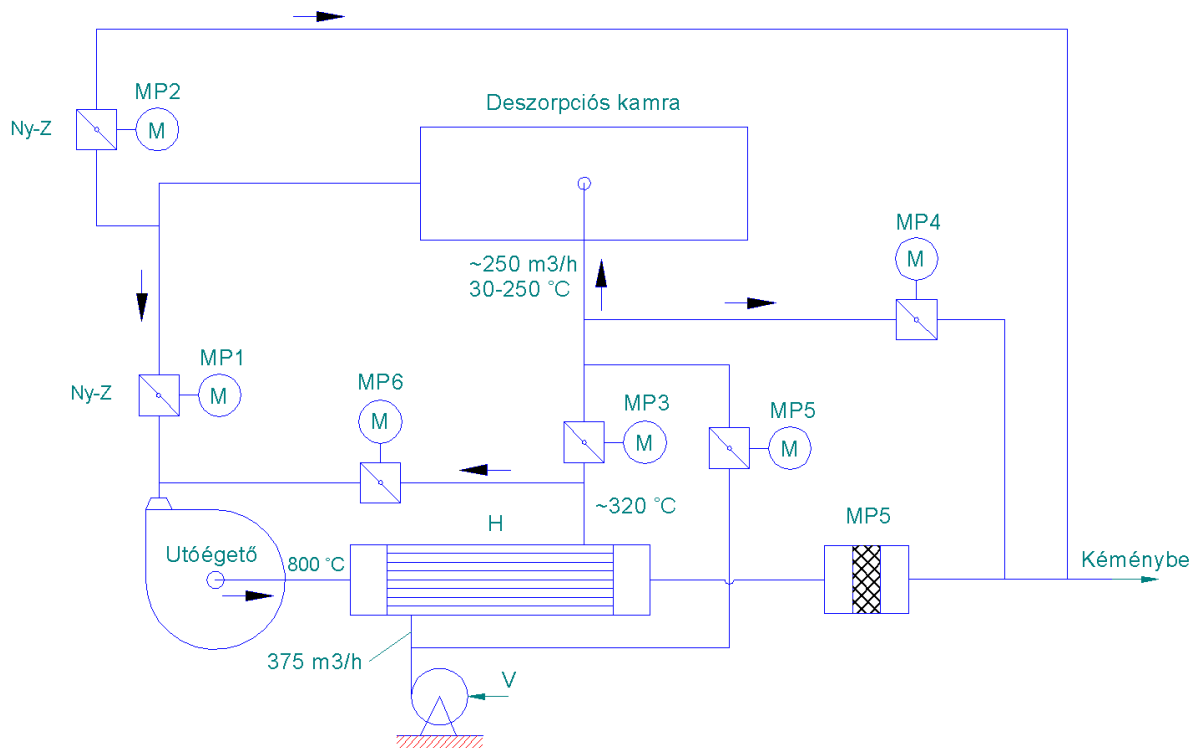
A fenti alapadatokra építve készültek el a prototípus regeneráló berendezés tervei és került sor a megvalósításra. Az üzemeltetés során 195 °C maximális deszorpciós hőmérséklet mellett az adszorbens anyagnak mintegy 68% -os tisztítása volt elérhető.

## A regeneráló rendszer és elemeinek továbbfejlesztése

A kísérleti üzemi tapasztalatok alapján a prototípusnál alkalmazott megoldások és üzemeltetési paramétereik néhány módosítására volt szükség [2]. Mindenekelőtt a rendszer termikus adottságait kellett módosítani. A tisztítás mértékének növelése magasabb deszorpciós kamra hőmérsékletet igényel. Szükség volt a kezelést könnyítő és a meghibásodási lehetőségeket csökkentő néhány egyszerűsítő megoldás alkalmazására is. A véglegesített technológiai vázlatot a 3. sz. ábra mutatja be.

Az adszorbens regenerálási folyamat központi fázisát jelentő deszorpciót a V jelű ventilátor által szállított levegő végzi. Mérő és szabályozó elemeken átáramolva a közeget a H hőcserélőben az utóégetőből származó füstgáz fokozatosan melegíti fel a szükséges hőmérsékletre (ld. 1. sz. ábra). A forró levegő a telített aktívszénrel töltött tartályokat magában foglaló sisakkemencébe – a deszorpciós kamrába - áramlik. Az éghető

szennyezőanyagokat tartalmazó közeg innen a tüzelési folyamat égéslevegőjeként kerül az utóégető egység tüzelőberendezésébe.



3. sz. ábra: A prototípus berendezés technológiai vázlata

A levegő éghető szennyezőanyag tartalma az utóégetőbe jutva földgáz póttüzelés alkalmazásával 800 C°-on termikus folyamatban válik ártalmatlanná. A füstgáz a hőcserélőn keresztül mintegy 370 C°-ra lehűlve jut a katalitikus reaktorba. A készülék végtisztítóként működve a maradék szerves oldószer gőzökön kívül lebontja ill. semleges anyaggá konvertálja a tüzelés során képződött NO<sub>x</sub> tartalmat is. A tisztított gáz a kéményen keresztül távozik a szabadba.

A deszorpciós kamra kb. 3,0x1,2x1,7 m<sup>3</sup> befoglaló méretű téglatest alakú gáztömör kialakítású berendezés. A belső teret az alsó részen beépített vízszintes lemez két térrészre osztja. A felső térrészben függőleges helyzetben a lemezre állítva nyer elhelyezést a töltetet tartalmazó 2x6 db Ø315x1200 méretű kapszula. A beáramló forró levegő ezeken keresztül áramlik az alsó térrészbe, ahonnan a deszorpciós gőzöket tartalmazó forró levegő központi kivezető csövön át hagyja el a berendezést. A töltettartó hengerek elrendezése meg kell, hogy feleljen a homogén anyag és hőátadás követelményének. A próbaüzemi tapasztalatok szerint az

egyed-kapszulák regenerálódása közötti különbség nem haladta meg a 15%-t. Ez a hatás a hőntartási idő minimális növelésével eliminálható.

A töltettartó kapszulák gyűrű keresztmetszetű hengeres edények, melyek külső és belső palástját perforált lemez borítja, tetejük zárt. A forró levegő a külső paláston lép be az edénybe, az adszorpciós folyamathoz képest ellenáramban keresztül halad a tölteten, majd a belső perforált lemez paláston lép a belső hengeres térbe. A közeg innen az elválasztó lemez átvezető nyílásain át áramlik az alsó térrészbe.

A kamra felső lapja és oldallapjai alkotják a „sisakot”. Ennek függőleges irányban történő mozgatását pneumatikus hengerek végzik. Az emelési magasság megfelel a térelválasztó lemezre helyezett kapszulák magassági méretének. A töltettartó egységek alatti szálderámiából készült tömítés a belső gáztömörséget, az aljzatban végighúzódo fészekbe épített tömítő zsinór a készülék külső szivárgás mentességét biztosítja. A felső térrészt a beáramló regeneráló közeg tölti ki, az alsó térrészben a kapszulákból kiáramló, deszorbeált oldószert gőzöket tartalmazó levegő gyűlik össze.

**Az utóégető berendezés** függőleges elrendezésű hengeres falazott készülék. A tüztér mérete Ø980x1200 mm. Felső részén tangenciális beépítésű, szabályozó és biztonsági szerelvényekkel ellátott földgázégető nyer elhelyezést. A tüzelőberendezésből kilépő spirálszerűen lefelé áramló füstgáz alul lép a berendezés függőleges tengelyében lévő Ø280 mm belső átmérőjű hőálló acélcsőbe és ezen keresztül távozik a boltozati nyíláson át a hűtőegységbe.

A tüzelési folyamat égéslevegőjeként a deszorpciós kamrából távozó, éghető anyagokat tartalmazó technológiai levegő kerül felhasználásra. Az utóégető 800 C°-t meghaladó térhőmérséklete biztosítja ezek termikus megsemmisítését, ill. a szennyezők kiégésének exoterm reakciója csökkenti a földgáz tüzelőanyag felhasználást. A deszorbcio egyes fázisaiban a folyamat teljes mértékben önfenntartóvá válik.

A tüzelőberendezés széles levegőtényező tartományban működtethető. Ez lényeges feltétel, mivel az égéslevegő technológiai szerepe miatt a hőteljesítmény változtatására csak a tüzelőanyag térfogatáramának szabályozásával van lehetőség. Az égő változó levegőtényezővel történő üzemeltetése nyújt lehetőséget a földgáz felhasználásnak az égéslevegő változó energiatartalma szerinti folyamatos korrekciójára. Amennyiben a katalizátoros tisztítóba belépő füstgáz előírt hőmérsékletét a hőcserélő és a szabályozó

egységek nem tudják biztosítani, biztosítva van az utóégető térhőmérsékletének módosítási lehetősége is.

**A katalizátoros tisztító** hengeres készülékben mintegy 250 mm vastag speciális katalizátor töltet rácsozaton nyer elhelyezést. A beérkező füstgáz hőmérsékletét egy rögzített intervallumon belül kell biztosítani. Az alsó 350 C° hőmérsékleti határt a katalizátor üzemeltetési hőmérséklete jelentette. A 400 C° felső határt az érzékeny töltetanyag túlhevülés elleni védelme és a füstgáz hőemissziójának korlátozása indokolta. A katalitikus tisztítóból kilépő füstgáz összetételét koncentrációmérő ellenőrzi. Az érzékelő szükség esetén figyelmezteti a kezelő személyzetet, illetve automatikus leállásra ad ki jelet a kilépő levegő határértéket meghaladó mértékű oldószer szennyezettségének megakadályozására.

A prototípus üzemeltetési tapasztalatai azt igazolták, hogy a katalizátor hatására a szénhidrogén kibocsátás néhány ppm és az NO<sub>x</sub> tartalom 45-50 ppm értékre csökken.

**A hőcserélő berendezés egyjáratú csöves hőátadó egység.** A készülékben 55 db Ø30x2.5-1500 mm méretű cső nyert elhelyezést. A hőátadó felület kb. 7,8 m<sup>2</sup>. A gáz-gáz típusú hőcserélőben a kísérleti üzem hőmérséklet és térfogatáram paraméterei mellett

$$k \sim 32 \text{ W/m}^2\text{K}$$

átlagos hőátviteli tényező volt mérhető. Ennek figyelembe vételével a véglegesített technológiában a megnövelt hőmérsékletek miatti magasabb hőteljesítmény biztosítása érdekében 1850 mm hosszúságú csövek kerülnek beépítésre kb. 9,6 m<sup>2</sup> hőátadó felületet képezve. A berendezésben 700 C°-t is meghaladó hőmérséklet különbség mechanikai hatásának kiegyenlítésére a tengelyirányú elmozdulást lehetővé tevő csúszótömítés került alkalmazásra.

A berendezés működését **folyamatvezérlés** biztosítja. Központi egysége a mérő- adatgyűjtő és riasztó rendszer, amely az üzemi adatok regisztrálásához, feldolgozásához és a szabályozó körök működtetéséhez szükséges hardver és szoftver elemeket tartalmazza. A kezelőszemélyzet a számítógépen keresztül tudja a regenerálási folyamatot elindítani, leállítani és a rendszer működési paramétereit ellenőrizni. A számítógép RS-485 jelű ipari hálózaton keresztül kommunikál a regeneráló berendezés mellé telepített hálózati modullal. Ez utóbbi saját busz rendszerén keresztül kommunikál a közvetlenül hozzá csatlakozó input/output modulokkal. A berendezésről érkező és oda továbbított valamennyi jel az input/output modulokon keresztül csatlakozik a vezérlő rendszerhez. A tüzelésvezérlés önálló egységet alkotva kölcsönös reteszkapcsolatban áll a folyamatvezérlő berendezéssel.



A rendszer felépítésének és az üzemeltetési paraméterek változtatása következtében a végleges változat a kísérleti üzemi hardver néhány elemének és a szoftver jelentős részének módosításával került kialakításra.

## Térfogatáramok és hőmérsékletek

A termikus egyensúlyok üzemi viszonyok melletti kialakulására vonatkozó kísérleti tapasztalatok több helyen a térfogatáramok és hőmérséklet értékek változtatást igényelték.

**A deszorpciós kamra** hőmérséklete és ennek időfüggvénye – a felfűtés sebessége - a regenerálási folyamat legkritikusabb paraméterei. A regenerálódási folyamat a kifejlesztett technológiát jellemző szennyezőanyagok esetében már 100 C° felett megkezdődött az illékonyabb komponensek felszabadulásával. Különböző vegyületek eltérő deszorpciós görbékkel rendelkeznek, így a művelet során a regenerált gőzök változó összetételben és koncentrációban - deszorpciós hullámokban - jelentek meg.

Alacsonyabb hőmérsékleten az adszorbens regenerálása nem éri el a megkívánt mértéket. A próbaüzem tapasztalatai szerint az adott szennyeződés típus esetében kb. 175 C° alatt a szennyezőanyag eltávolítás alacsonyabb volt mint 50 %. A folyamat 185 C° felett ismét felgyorsult és 195 C° közelében már közelítette a 70%-t [6]. A teljes körű regenerálás és a folyamat időszükségletének csökkentése érdekében a befejező szakaszban 220-230 C°-os közegre van szükség. A laboratóriumi és korábbi félüzemi vizsgálati eredményeket véve figyelembe, ezen a hőmérsékleten már ipari feltételek mellett is várható a 90%-t meghaladó tisztítási mérték.

A szennyezőanyag általában több vegyület keveréke és ezeknél a deszorpciós folyamatot jellemző hőmérséklet – tömegáram – idő függvények azonos öblítő térfogatáramok esetében is különbözőek. A deszorbeáló levegőben tehát a felfűtés során különböző hőmérsékleteken különböző összetételű és mennyiségű szennyezőanyag gőz jelenik meg. Természetesen ezek robbanási határa is eltérő. A felfűtési sebességet és a vészjel határértéket úgy kell meghatározni, hogy a koncentráció minden hőmérsékleti pontban biztonsággal az alsó robbanási határ alatt maradjon.

A kidolgozott technológiában a deszorberből történő kilépésnél koncentrációt figyelő műszer kerül beépítésre. A műszer a kifejlesztett prototípusnál a vegyület keverékben előforduló legalacsonyabb alsó robbanási határ 40%-nak elérésénél ad ki vészjelet. Ekkor a vezérlő

program az MP1 és az MP2 jelű kétállású motoros működtetésű csappantyúk zárásával ill. nyitásával ad ki szellőztetési parancsot.

A prototípusnál alkalmazott műszer a szennyezettség típusának megfelelően a szénhidrogén koncentrációkat érzékeli. Monitorán ezek pillanatnyi értékeinek metán egyenértéke jelenik meg. Az adat tehát csak tájékoztató jellegű, a pontos összetétel meghatározásánál kromatográfias elemzést célszerű használni. A felhasználóknál a szennyezők mennyisége és összetétele gyakorlatilag azonos, így elegendő a részletes elemzést az üzembeállításakor elvégezni. Új anyagok esetén azonban a felfűtési program felső határhőmérséklete, a felfűtési sebesség és a szellőztetési parancshoz tartozó koncentráció meghatározása előzetes laboratóriumi vizsgálatot igényel.

**Az utóégető berendezés** üzemeltetési hőmérsékletének meghatározásánál lényeges adat volt, hogy a laboratóriumi vizsgálatok a szennyezőanyagban halogén vegyületeket nem mutattak ki. A berendezésnél tehát alsó határértékként 2 másodperces tartózkodási időt és 800 C° hőmérsékletet kellett biztosítani. A füstgáz elemzések adatai szerint ez utóbbi érték már elegendő volt a vegyületek termikus bomlásához. A rendszer felfűtése és az adszorbens töltének 90-100 C°-ra történő felmelegítése mintegy 6 órát vesz igénybe. Ezt követően a folyamat fenntartásának hőigényét a felszabaduló gőzök elégéséből származó hőmennyiség egyre nagyobb arányban, majd egyes szakaszokban teljes mértékben tudta biztosítani. 180 C° felett a földgáz póttüzelés alkalmazása csak a tüztéri hőmérséklet növelésének igénye esetén vált szükségessé.

A termikus folyamatokra épülő technológia eredményes alkalmazásának alapfeltétele a rendszer három technológiai alapegységének – deszorpciós kamrának, az utóégetőnek és a katalizátoros tisztító berendezésnek - előírt hőmérsékleti értékeken történő üzemeltetése. A prototípus berendezésen szerzett tapasztalatok értelmében az üzemi mérő és szabályozó egységeknek az alábbi hőmérséklet határok figyelembe vételével kell a folyamat működtetését biztosítani;

- Deszorpciós kamrában a hőmérséklet gyors szabályozhatóságának biztosítása hőmérsékleti vagy koncentráció jelről a 30-250 C° tartományban.
- Utóégető tér hőmérsékletének szabályozhatósága a 800 - 900 C° tartományban és a beállított érték állandóságának biztosítása  $\pm 10$  C° pontossággal.
- A katalizátorba áramló füstgáz hőmérséklet tartása  $370 \pm 10$  C° értéken.

A termikus feltételek megvalósulásának további kritériuma az utóégetőből kilépő térfogatáram. Ezt a technológiai folyamatból érkező égéslevegő mennyisége határozza meg. Optimális értékének alsó korlátját a megnövekedett oldószer koncentráció, felső határát a rendszer fenntartásának növekvő hőigénye jelenti.  $250 \text{ Nm}^3/\text{ó}$  égéslevegő térfogatáram a két hatás optimumaként elfogadható. Ezt a mennyiséget kell a deszorpciós kamrába juttatni – a prototípus esetében rögzített felfűtési program szerinti hőmérsékleten.

A hőcserélőnek tehát füstgáz oldalról biztosítani kell az utóégetőből érkező,  $800\text{-}900\text{C}^\circ$  hőmérsékletű égéstermék  $370\text{C}^\circ$ -ra történő lehűlését. Átlagosan  $320\text{C}^\circ$  hűtőlevegő kilépési hőmérsékletet és 10% levegő átszivárgást tételezve fel, ez mintegy  $375 \text{ Nm}^3/\text{ó}$  térfogatáramot jelent. A deszorpciós kamrába belépő levegőnek a felfűtési programnak megfelelő pillanatnyi értékét hideg levegő bekeverés biztosítja. A hideg és meleg levegő térfogatáramok aránya az MP3 és MP5 jelű motoros csappantyúkkal állítható be.

A deszorpciós kamrába belépő levegő hőmérséklete a  $30\text{-}250\text{C}^\circ$  tartományban változik.  $100\text{C}^\circ$  felett már feltételezhető a hőcserélő hőmérsékleti egyensúlyi állapota. Ekkor a kamrába a térfogatáram veszteségeket is figyelembe véve kb.  $110 \text{ Nm}^3/\text{ó}$  meleg és  $350 \text{ Nm}^3/\text{ó}$  hideg levegő keverékét kell beáramoltatni.  $250\text{C}^\circ$  belépési levegő hőmérsékletéhez azonos meleg levegő térfogatára mellett mindössze  $40 \text{ Nm}^3/\text{ó}$  hideg levegő tartozik. A térfogatáram harmadrésére csökken. Ez rendkívül egyenlőtlené tenné mind az oldószer eltávolítás intenzitását, mind a tüzelési folyamatot. Utóbbi a hőcserélő egyenlőtlen terhelését is eredményezné, ami végül a teljes rendszer instabilitásához vezetne. Szükség van tehát a mennyiségi szabályozásra is. Ezt a feladatot látja el a kamrába belépő levegőágra épített mérőperemről vezérelt MP4 jelű motoros csappantyú.

## **Az üzemeltetési folyamat**

A rendszer felfűtése földgázzal történik. A hideg égéslevegő az MP6 jelű csappantyú nyitott állása mellett a deszorpciós kamra megkerülésével jut a tüzelőberendezésbe. A felfűtési fázis időigénye mintegy 1,5-2 óra. Az átlagos földgázfogyasztás  $8 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . A folyamat az utóégető tüztér  $800\text{C}^\circ$ -ra történő felmelegedésével kezdődik. A második szakaszban az MP6 és MP3 jelű csappantyúk zárt ill. az MP5 nyitott állása mellett a program megkezdje a deszorbeáló tér felfűtését változtatható felfűtési sebességgel. A kifejlesztett berendezés esetében ez a folyamat 16 órát vesz igénybe. Ez a fázis a deszorpció meghatározó szakasza. A folyamat által igényelt hőmérséklet szabályozás az MP3 jelű szabályozó elem fokozatos nyitásával valósul meg.

A véghőmérséklet elérését programozott, kb. 3 órás hőntartási szakasz követi. Ekkor a nehezen deszorbeálódó komponensek maradéka is eltávozik a rendszerből, ill. befejeződik a kamra szélein lévő legkedvezőtlenebb helyzetű kapszulák teljes regenerálódása. A fázis befejeződése a koncentráció ellenőrző műszeren követhető nyomon. A záró szakaszban a földgáz póttüzelés reteszelését követően az MP4 szelep zárt állása mellett a deszorpciós tér visszahűtésére kerül sor mintegy 3 óra időtartamban. A hőcserélőbe a deszorbeált gőzök mennyiségének csökkenésével mind hidegebb közeg áramlik az utóégetőből. A program a hűtőlevegő térfogatáramát az MP5 szelep nyitott állása mellett az MP3 fokozatos zárásával állítja a 350 C° kilépő füstgáz hőmérsékletnek megfelelő mennyiségre. Ez a fázis biztosítja a rendszer tökéletes kiszellőzését.

A prototípusnál a deszorpciós szakasz az előzetes laborvizsgálatok eredményei alapján 80C°-ig 30C°/h, ezt követően 10C°/h értékben rögzített fűtési sebesség mellett valósult meg. A felfűtés ütemének kialakításánál azonban megfontolandó a kötött hőmérséklet gradiens vagy hőmérséklet időfüggvény helyett a szerves oldószer koncentrációnak szabályozó jelként történő alkalmazása. Az üzemi tapasztalatok szerint pl. 130 C° környezetében az 5-6 C°/óra értéket meghaladó sebesség esetén már rohamosan nő az oldószer koncentráció, ugyanakkor a 140-180 C° hőmérsékleti tartományban akár 40 C°/óra sem okoz érdemi mértékű robbanásveszélyes komponens növekedést.

A fejlesztési munka során az is nyilvánvalóvá vált, hogy a laboratóriumi eredmények és az üzemi értékek között esetenként jelentős különbség is kialakulhat. Az optimális paraméterek beállítása gondos és közbenső mérésekkel is támogatott üzembe helyezési műveletet igényelnek. Az így beállított paraméterekkel üzemeltetett technológiát emiatt nem célszerű váltakozó minőségű vagy szennyezett anyagok regenerálására alkalmazni.

### **A technológia alkalmazásának rentabilitása**

A 300 kg festőüzemi oldószerrel szennyezett adszorbens regenerálásának teljes időigénye tehát mintegy 24 óra. A rendszer üzemeltetése egy fő kezelőszemélyzet folyamatos jelenlétét igényli.

A technológia alkalmazás gazdaságosságának megítéléséhez egy 5000 m<sup>3</sup>/h teljesítményű elszívó ventilátorral végzett szennyezett levegő eltávolítás folyamatából indulunk ki. Az átlagos szennyezőanyag tartalom 0,15 g/m<sup>3</sup>. Az alkalmazott adszorbens anyag megkötő

képessége kb. 20%. Kétműszakos üzemmenet esetén hetenként 300 kg telített töltet képződik. Évente 50 regenerálási folyamat végrehajtására kerül sor.

Új adszorbens vásárlása és az elhasználódott töltet megsemmisítése esetén ennek költsége 1500-2000 Ft/kg (ld. a bevezetőben feltüntetett adatokat). Középtéren számítva a felhasználót évi 26 mFt terheli.

Saját regeneráló berendezés alkalmazása esetén az üzemeltetés energia fogyasztása ciklusonként 70 m<sup>3</sup> földgáz és 250 kWh villamos teljesítmény felhasználásával 700 000 Ft/év költséget jelent. A kezelőszemélyzetnek a folyamatra vetített bére a járulékokkal 3,5 mFt kiadásként becsülhető. 10% friss töltet utánpótlást tételezve fel, ez további 1,5 mFt-os tételt jelent. Összességében a rendszer üzemeltetése tehát mintegy 6 mFt ráfordítást igényel. A költség csökkenés mértéke kb. 20 mFt/év.

A berendezés ára jelenlegi árszinten az installálási költségeket is figyelembe véve 50 mFt nagyságrendet képvisel. Az amortizációs költségeket is figyelembe véve a technológia alkalmazásánál 3 éven belüli megtérülés várható.

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## **Összefoglalás**

A TÜKI Zrt. szennyezett adszorbens regenerálására alkalmas, a felhasználás helyszínén telepíthető és kis mennyiségeknél is gazdaságosan működtethető technológiát dolgozott ki.

A hazai fejlesztésű berendezéssel az adszorbens felhasználási helyszínén telepíthető, alacsony hőmérsékleten üzemelő és kis mennyiségeknél is gazdaságosan működtethető regenerálási folyamat valósítható meg. A technológia a töltetanyag telítődésének ütemének megfelelő időszakonkénti működtetésre került kidolgozásra. Üzemeltetésének élőmunka és költségigénye kis és középvállalkozások számára is biztosítja az autonóm adszorbens regenerálási folyamat megvalósítását.

A berendezésnél a töltet deszorpcióját forró levegő végzi. A felszabaduló komponenseket magával ragadó közeg égéslevegőként kerül egy utóégető egységben felhasználásra. A szennyezőanyagok elégnak, az esetlegesen még megmaradt magasabb rendű szénhidrogén származékok katalizátoros tölteten történő átáramlás során bomlanak le. Az éghető

komponensek kémiai hőtartalma a deszorpciós folyamatban hasznosul csökkentve a rendszer földgáz felhasználását.

Jelen munka keretében a 300 kg festőüzemi oldószerrel szennyezett adszorbens regenerálására kialakított berendezés továbbfejlesztésének irányai és a véglegesített technológia főbb jellemzői kerültek bemutatásra. A mintegy 24 órás üzemeltetési ciklusban működtetett rendszer földgázfogyasztása  $70 \text{ Nm}^3$  értékre becsülhető. A korábbi kísérletek adatai szerint módosított hőmérsékleti és térfogatáram értékek melletti alkalmazás az adott adszorbens anyagnál 90%-t meghaladó mértékű tisztítás érhető el. A technológia alkalmazásával 3 éven belüli megtérülés prognosztizálható.

A technológia a levegő és szennyvíz tisztító berendezéseknél alkalmazott adszorbensek széles körének újrahasznosítását teszi lehetővé. A kifejlesztett prototípusétól eltérő minőségű és szennyezettségű adszorbensek alkalmazása esetén az üzemeltetési paraméterek részletes laborvizsgálat alapján határozhatók meg.

## Hivatkozások

1. Molnár K. 10.1.2. Gáz halmazállapotú szennyezőanyagok leválasztása
2. <http://www.lenntech.com/library/adsorption/regeneration/activecarbon-regeneration.htm#ixzz22MaqcqJ>
3. Spent Carbon Recycling through Thermal Reactivation
4. 9-ii-4 Recycling Activated Carbon
5. Mink Gy. Kapros T. Decreasing the solvent vapor emission and the cost of air purification in a painting plant. Konferencia előadás Dubrovnik 2007.
5. Szennyezett adszorbens termikus-katalitikus regenerálásának ipari megvalósítása. TÜKI zárójelentés 2012 április
6. Laboratóriumi és üzemi mérések szennyezett aktív szén regenerálására. MTA AKI jelentés 2012. március

# FÁS SZÁRÚ BIOMASSZA FŰTÉSI CÉLRA TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

**Mádainé Üveges Valéria**

tudományos segédmunkatárs

*Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet*

## **Abstract**

The wood from the energy plantation gives a good alternative against other combustible, the more so, because contrary to the natural gas and coal, it is a renewable energy. Utilization of this biomass for energetic purposes means an environmental friendly solution, because the total CO<sub>2</sub> emission is less than in case of fossil fuels. In Hungary many regions suffering from the pauperization and therefore the heating costs means a huge problem to a significant part of the rural population. This is also observable in the air pollution data, because many people returned to coal, and at worst to waste firing. One possible solution can be when the village grow their own plantation of suitable tree, and after a preparation process this wood can be burnt in a furnace in form of billet, chips or pellet

In this study a review of the raw material way from the planting to the furnace is given, primarily in the aspect of preparation. The heating costs with wood chips and pellets compared to natural gas are also mentioned.

## **1. BEVEZETÉS**

A biomasszán, biológiai eredetű anyagok széles csoportját értjük, melyek élő és elhalt növények, állatok testtömegéből származnak. Elsődlegesnek a növényi eredetű biomasszát, másodlagosnak az állati eredetűt és harmadlagosnak az ipar által már átalakított melléktermékeket nevezzük.

Az ültetvényes fatermelésből származó biomassza energetikai hasznosítása környezetkímélő megoldást jelent, mert a korábban az élő szervezetekben megkötött anyagok felszabadulása nem terheli a környezetet további károsító hatásokkal. Az elméleti CO<sub>2</sub> mérleget némileg rontja a fa kitermeléséhez, feldolgozásához, aprításához, pelletálásához szükséges energia megtermelésének szükségessége, azonban a káros emisszió még mindig jelentősen kisebb, mint a fosszilis energiahordozóknál, amelyeket szintén ki kell termelni, előkészíteni a felhasználás előtt.

Nem elhanyagolható szempont, hogy a biomasszák minden fajtája a szénnél kisebb kén tartalommal és nitrogéntartalommal bír, így a tüzelés során a tüzelőanyagból eredő kén-dioxid és NO<sub>x</sub> kibocsátás csökkenthető [Szemmelveiszné és társai, 2007].

A mezőgazdaságban reális távlatokat jelent az energianövények termesztése a biomassza hasznosítás érdekében, ennek társadalmi hatásai (munkaerő-teremtés, vidékfejlesztés) további pozitívumként értelmezhetőek.

A vidéki térségek részére a biomassza tüzelés egy alternatív megoldást jelenthet, tekintettel arra, hogy a hátrányos helyzetű települések zöme már nem képes megfizetni az emelkedő gázárakat, így sok helyen már az oktatási intézményeket sem képesek fűteni, a lakosság közül pedig aki tudott, már visszatért a fával, illetve szénrel való fűtésre. A nagyobb problémát az jelenti, hogy a lakossági tüzelés során számos olyan éghető hulladék is a kazánban végzi, amelynek füstgázaival jelentős mennyiségű szállópor távozik.

A lakossági PM<sub>2,5</sub> kibocsátást tekintve 2008-ban a lakossági tüzelés nemcsak a közlekedést előzte meg, de a fémkohászatot és a cementgyártást is. Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat legutóbbi, 2009. évi szálló por PM10 mintavételi programjának összesítő értékelése szerint a fűtési időszakban mért értékek sokkal magasabbak, mint a nyári időszak értékei. 21,43%-os határérték átlépést regisztráltak Miskolcon, a Búza tér környékén, amelybe véleményük szerint a közlekedés mellett a fűtés, valamint a meteorológiai viszonyok is közrejátszottak [[http://jno.hu/hu/af/jno-420-2011\\_hulladek\\_egetes.pdf](http://jno.hu/hu/af/jno-420-2011_hulladek_egetes.pdf)].

Az energiaültetvényből származó fával történő fűtés, sokkal inkább környezetbarát megoldást jelent, ezért a következőkben összefoglalom a fa lehetséges útjait a telepítéstől a kazánig, valamint számításokat végzek fával és a fosszilis energiahordozókkal történő lakás fűtés költségeinek összehasonlítása céljából. A kutatás további célja, hogy megvizsgálja, egy hátrányos helyzetű borsodi kistelepülés, Csernely esetén a biomassza tüzelésre való áttérés aspektusait elsősorban előkészítéstechnikai szempontok szerint.

## 2. ENERGIAFA TERMESZTÉSE, BETAKARÍTÁSA

Az energiafa ültetése előtt a terület adottságainak figyelembevételével, gondosan meg kell tervezni az ültetvények kialakítását, a trágyázást, gyomtalanítást, végül a betakarítás ütemét.

Magyarországon végzett kísérletek alapján a következő fajták bizonyultak alkalmasnak hőtermelésben történő felhasználásra. A cserjék közül: az *ámorfa* (Amorfa), a *tamariska* (Tamarix), és néhány *bokorfűz* (Salax). A faalakúak közül a *nemesnyár* (Populus), az *akác* (Robinia), a *fűzek* egy része (Salix), az *éger* (Alnus), és a *bálványfa* (Ailanthus) [Marosvölgyi B. 2003]. Azonban a legtöbb kísérlet hazánkban is az akác-, nyár- és fűzfélékkel folyik. Az akác (Robinia Pseudoacacia) a legjobban a savanyú homokos talajokon terem a nyírségi és a somogyi erdőgazdasági tájakon. A legrosszabb hozamokat a Duna-Tisza közti meszes homokhátak adják [Sulyok. D.–Megyes. A.2006a]. A nyár és fűzfélék energiahozamait összevetve megállapítható, hogy azoktól meglehetősen elmarad. Mivel azonban szokatlan körülményekhez is nagyon jól alkalmazkodik (pl. a meddőhányók erdősítésénél), ezen kívül jól tűri a szárazságot, várhatóan fontos fás energetikai alapanyag lesz a másik két faj számára kedvezőtlen termőhelyeken (1. táblázat).



**1. táblázat: Fás szárú energiaültetvények jellemzői (Forrás KvVM 2007)**

FÁS SZÁRÚ ENERGIÜLTETVÉNYEK						
Növény	Energiatart (MJ/kg)	Átlaghozam (t/ha/év)	Energiahozam (GJ/ha/év)	Nedvesség tartalom	Vágásforduló (év)	Élettartam (év)
Akác-RVF	11,5	7,9	91,3	0,4	4	20
Nyár –RVF	9	20,0	180,0	0,4	4	20
Fűz-RVF	10	30,0	300,0	0,4	4	25

Fűzek esetében egyelőre problémát jelent a megfelelő fajta kiválasztása, mivel zömmel olyanok vannak jelen Magyarországon, amelyeket a hazai klímától meglehetősen eltérő, sokkal csapadékosabb környezetben nemesítettek, így a gyakran szélsőséges klímában nem a várakozásnak megfelelően teljesítenek. A kapuvári Silvanus Faiskolában azonban őshonos, a magyar klímához jól alkalmazkodó fűz fajokat használnak fel, melyek közül egy (Salix Express) még szélsőséges időjárási körülmények között is várakozáson felüli hozamokat produkált [Pápai A. 2007]. Bár egyfelől érthető a törekvés, hogy a fűz nemesítése a faj számára szokatlan, szárazabb körülmények elviselésére irányul, le kell szögezni, hogy a fűz természetes körülmények között a vízhatású talajokat kedveli (pl. folyómenti bokorfűzesek, vagy fűznyár ligeterdők).

A nyár jó tápanyag ellátottságú, nagy vízkapacitású talajokon produkálja a legjobb hozamokat, de jól tűri a nedvesebb talajokat és az időszakos vízborítást is. Így a belvízveszélyes területeken (akárcsak a fűz) alkalmas lehet ültetvény telepítésére, amennyiben az egyéb élőhelyi sajátosságok is megfelelnek (talaj kötöttsége, szellőzése, sófelhalmozódás veszélye). Más kísérletek arról számolnak be, hogy a megfigyelt ültetvény nem igényelt folyamatos vízhatást, jól tűrte a többszöri hosszan tartó szárazságot is [Rénes J. 2008].

Rénes J. szerint egy hektár nemesnyár ültetvényről két családi ház fűtését lehet fedezni 2 éven keresztül.

### 2.1 Faültetvények

Az ültetvényeknek két típusát különböztethetjük meg, az újratelepítéses és a sarjzajtásos típust. Újratelepítéses technológia esetén a területet gyorsan növekvő fajokkal telepítik be, majd 8-15 év után betakarítják és előkészítik a felhasználásra. A végvágást követően a területet rekultiválják, aztán újból kezdődik a betelepítés. A technológia előnye, hogy számos faj közül választhatunk a tervezéskor, valamint hogy síkon és domboldalon kialakíthatóak az ültetvények, és évente mintegy 10-15 t/ha frisstömegegre lehet számítani. A módszer hátránya, hogy hosszú idő után hoz csak betakarítható alapanyagot.

A sarjzajtásos technológia (1.ábra) esetén gyorsan növekvő, jól sarjadó fajokat telepítenek kis térállásba.



**1. ábra: Sarjzartásos ültetési mód**  
[<http://www.falatbt.hu/index.php?page=energia>]

A hektáronkénti tőszám széles tartományban mozoghat (10000-50000 tő), ez határozza meg a kitermelést is. A kisebb tőszám többnyire 2-3 éves, míg a nagyobb tőszám 1 éves vágásfordulót tesz lehetővé. Ennél a módszernél 15-25 éves élettartammal és 15-40t/ha/év frisstömeeggel számolhatunk. Az utolsó betakarítás után a terület ez esetben is rekultiválásra szorul, ekkor a gyökereket, szármaradványokat eltávolítják, majd szántják a területet. A módszer előnye a rendszeresen betakarítható nagy mennyiségű alapanyag, illetve hogy termesztés és betakarítás illeszthető a szántóföldi növénytermesztés technológiájához. A fás szárú energetikai ültetvények létesítéséhez alkalmazható fafajok és fajták körét Magyarországon a FVM45/2007. sz rendelet határozza meg. Eszerint sarjzartásos technológia csak fűz, nyár és akác esetén alkalmazható, míg az újratelepítési módszer kiegészül az olyan fafajokkal, mint az éger, kőris, tölgy, juhar, feketedió. A rendelet értelmében védett területen, valamint Natura 2000 területen fehér akác telepítése nem engedélyezhető. Telepítésnél az az általános szabály, hogy minél rövidebb vágásfordulóval terveznek, annál nagyobb tőszámmal kell telepíteni. A fás szárú energiaültetvény telepítése minden esetben engedélyhez kötött, az ezzel kapcsolatos bejelentést a területileg illetékes Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatalhoz kell benyújtani.

A betakarítható termés mennyisége nagymértékben függ a növény fajtától és fajtájától, az alkalmazott technológiától, a vágásfordulótól, valamint a termőhelytől és az időjárási feltételektől. A telepítés évében még jelentős hozammal nem számolhatunk, az első év végén tisztító kaszálást kell végezni annak érdekében, hogy intenzív sarjadásra készítsük a növényt. Szimplasoros technológia esetén 3.-4- évtől kezdve várhatjuk a legnagyobb hozamot, míg ikersoros technológiánál 2-3 éves vágásfordulóval számolva a 2.-3. betakarításkor várható a termés maximuma. Az ikersoros technológia azt jelenti, hogy az ikersorok közti távolságot 70-75 cm-nek hagyják, a tőtávolság ebben az esetben 40-50cm. Az ikersorok között pedig művelőutat kell hagyni, ahol a mechanikai tisztítás elvégezhető gépekkel.

A leggyakrabban alkalmazott fűz és nyárfafajtáknál az alábbi hozamokkal számolhatunk: svéd fűz fajták ikersorosan 16-20t/ha/év; magyar fűz fajták szimplasorosan 30-35t/ha/év; olasz és német nyárfajták 15-20t/ha/év, akácra pedig 10-20t/ha/év. A termesztő dönti el, hogy a kisebb ráfordítás igényű és kisebb éves hozamot produkáló ikersoros technológiát, vagy a dugvány ára miatt nagyobb telepítési költséggel járó, de az éves vágásfordulót, és ezzel rendszeres hozamot ígérő szimplasoros technológiát alkalmazza.

Az értékesítés során alapvető problémát a betakarítás szezonális jellege adja, hiszen míg a betakarítás többnyire csak a téli hónapokra esik, a felhasználás egész évben történik. A legnagyobb erőművek is legfeljebb néhány hétre való aprítékot tudnak tárolni, így fontos tervezési lépés a termék megfelelő tárolásáról való gondoskodás [Gyuricza Cs. 2007,2011].

## 2.2 Betakarítás után

A frissen kitermelt fa tömegének fele víz. Az egy éven át, szellős helyen tárolt és teljesen száraznak tűnő fa nedvesség tartalma még mindig 15-20%. A nedvességtartalom pedig jelentősen befolyásolja a fa fűtőértékét. Az égetés során a vizet előbb ki kell gőzölni a fából, majd tovább melegíteni. Minden liter víz emiatt 0,7kWh energiát emészt fel, ami a vízgőzzel együtt távozik a kéményen keresztül. A víztartalom nemcsak a fűtőértéket csökkenti, hanem a tüztér hőmérsékletét is. Alacsonyabb hőmérsékleten az égési folyamat esetleg már nem tökéletes, az el nem égett fagáz és korom pedig amellet, hogy szennyezi a levegőt, lerakódik a kémény falán, ezáltal rontja a hőátadás hatékonyságát.

Figyelembe véve azt, hogy a fa víztartalmának csökkentésével a fűtőértéke növekszik, alapszabály, hogy csak 20%-nál kisebb nedvességtartalmú fával érdemes fűteni. Ennek elérésére a fának 1-1,5 évre van szüksége a kivágást követően. A megfelelően száraz fát ezután mechanikai úton kell kezelni, aprítani, többnyire két lépcsőben. Az aprításra alkalmasak első lépcsőben főként a forgótárcsás nyíró-aprítógépek, a forgó tépő-csavaró aprítógépek, gyorsjárású rotoros tépőberendezések, majd második lépcsőben a kalapácsos törők és a vágómalmok [Nagy, 2008].

A faültetvények betakarítása után a fa tehát a mechanikai előkészítést követően felhasználástól függően fahasábként, faaprítékként, vagy pelletként kerülhet forgalomba. A nagyobb erőművek jelenleg elsősorban faaprítékot használnak fel, amelyet a környező erdőgazdaságok biztosítanak. Anyagának összetétele változó, mivel fakérget és egyéb éghetetlen szennyeződések is tartalmazhat. A fapellet nagy fűtőértékű, könnyen tárolható és szállítható, tiszta tüzelőanyag, melynek a fajlagos energiaköltsége (2,0-2,5 Ft/MJ) kisebb, mint a földgázé (3,0 Ft/MJ), még inkább, mint a PB gázé (4,0 Ft/MJ). A tüzelőanyagként forgalmazott fapellet nedvességtartalma 10% alatti.

### 3. FAAPRÍTÉK ELŐÁLLÍTÁSA, APRÍTÉK TÜZELÉS

A faapríték előállítása jóval energiaigényesebb, és költségesebb folyamat, mintha a kitermelt energiafát csak rönkökre vágnánk. Ha az említett kisteleptülés, Csernely példáján maradunk, akkor mindkét esetben rendelkezésre kell állni egy telepnek az energiaültetvény közelében. A szállításhoz szükség van egy traktorra rakodóval és pótkocsival. Ez Csernelyen rendelkezésre áll, kisebb beruházást, felújítást igényel. A fahasábok eltüzelése az erre alkalmas kazánban megoldható (2.ábra).



2. ábra: CALOR2000 V-100  
[<http://www.ddkkk.pte.hu/>]

Az eszközöket tekintve szükséges még néhány nagyteljesítményű láncfűrész. Amennyiben az apríték tüzelés kerül előtérbe, szükség van egy megfelelő aprítógépre is, valamint az apríték tárolására is rendelkezni kell egy fedett épülettel, ahol annak szellőztetése, átforgatása is megoldható, hiszen a frissen készült apríték nedvességtartalma 50% körül van, tehát az csak szárítást követően alkalmas fűtésre.

2. táblázat: Faapríték besorolása [[www.graffitokft.hu](http://www.graffitokft.hu)]

FAAPRÍTÉK NEDVESSÉGTARTALOM SZERINTI BESOROLÁSA		
<i>Apríték osztály</i>	<i>Nedvességtartalom (%)</i>	<i>Megnevezés</i>
W20	<20	légszáraz
W30	20-30	tárolható
W35	30-35	korlátozottan tárolható
W40	35-40	nedves
W50	40-50	frissen vágott

A légszáraz faapríték nedvességtartalma 15..20%, de nem megfelelő tárolás esetén ennél több is lehet (2.táblázat).

A fa fűtőértéke bár minimális mértékben függ (4-5%) a fafajtól, viszont nagymértékben befolyásolja a nedvességtartalom, ahogy az alábbi 3. táblázatból is kitűnik.

**3. táblázat: Fa nedvességtartalma és fűtőértéke közötti kapcsolat [www.graffitokft.hu]**

<b>A FA TÉNYLEGES NEDVESSÉGTARTALMA ÉS FŰTŐÉRTÉKE</b>	
<i>Bruttó nedvességtartalom %-ban</i>	<i>Fűtőérték (MJ/kg)</i>
10	14,75
20	13,28
30	10,90
40	9,01
50	7,11

Betároláskor szokásos a mért nedvességtartalom alapján történő elszámolás. A faapríték sűrűsége kisebb, mint a fapelleté, jellemzően ömlesztve szállítják és tárolják. A kisebb térfogatsúly és nagyobb nedvességtartalom okán az apríték fűtőértéke elmarad a fapelletétől.

Az apríték homogén mérete is fontos a szállíthatóság szempontjából. Minél nagyobbak a méretbeli eltérések, annál nehezebb az anyagot mozgatni és elégetni. A méret és az alkalmazható tüzelőberendezés típusa összefügg. Általában az egyszerűbb kazánok homogén nagyságú aprítékot igényelnek, amelyet az aprítógépbe beépített rostával, vagy utólagos rostálással lehet biztosítani. A mérethez tartozik az egyes méretcsoportok részaránya (4. táblázat).

**4. táblázat: Faapríték méret szerinti besorolása ÖNORM M7133 szerint**

APRÍTÉK OSZTÁLY	MEGEGEDETT MÉRETEK				MEGEGEDETT SZÉLSŐÉRTÉKEK	
	<i>max4%</i>	<i>max20%</i>	<i>60-100%</i>	<i>max20%</i>	MAX	
	<i>Apríték méret (mm)</i>				<b>Keresztmetszet (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Hossz (cm)</b>
<b>G30</b>	>1,0	1-2,8	2,8-16	>16	3,0	8,5
<b>G50</b>	>1,0	1-5,6	5,6-31,5	>31,5	5,0	12,0
<b>G100</b>	>1,0	1-11,2	11,2-63	>63,5	10,0	25,0

A tiszta fa hamutartalma 1% körüli, a kéreggel együtt aprított anyagé már 2-4%. Ezt az arányt csak a faanyaghoz keveredő kő, föld, homok és egyéb szennyező anyagok növelhetik. Hamutartalom szerint A1 osztályba sorolják a csekély, 1,0% alatti hamutartalmú, míg A2 osztályba a magas, 1,0-5,0% közötti hamutartalmú aprítékot [www.graffitokft.hu].

Az apríték égetésére különböző teljesítményű égetőt vásárolhatunk, kisebb terek befűtésére használható például a Centrometal (HR) BIO CKP Unit apríték égetője, amelyet 25,40,60, és 100kW teljesítménnyel kínálnak.

A faapríték tüzelés csak akkor éri meg, ha a felhasználás közvetlen közeléből (max. 5 ... 30km) érkezik a tüzelőanyag, ekkor olyan kedvező a szállítási költség, hogy megéri a magasabb beruházási költség.

Közepes méretű kazánoknál a korszerű berendezések 82-89%-os hatásfokkal működnek, automatizált üzemvitellel és felügyelettel, minimális élőmunka igénnyel. A korszerű rendszereknél az élőmunka igény a tüzelőanyag feltöltéséből és a rendszer időszakos ellenőrzéséből áll.

A faapríték szállításának gyakoriságát a kazán teljesítményének és a siló méretének aránya határozza meg. Ideális esetben üzemelési csúcsidőszakban heti egyszeri töltéssel lehet kalkulálni. Ehhez többféle technikai megoldás létezik, leggyakoribb a föld szintje alá süllyesztett siló kialakítása, ahová a szállító kamion könnyen boríthatja be az aprítékot.

#### 4. FAPELLET ELŐÁLLÍTÁSA, PELLETTÜZELÉS

A pellet egy olyan fűtőanyag, amelyet többnyire faforgácsból és fűrészporból préseléssel készítenek. A gyártás során nem használnak kötőanyagot, ezt a feladatot a fában található lignin látja el. Ha a pelletálásra szánt alapanyag nedvességtartalma meghaladja a 10% körüli értéket, akkor a pellet gyártás folyamatát megelőzően szárítani kell az alapanyagot. A szárítás a pelletgyártás és a pellet minősége szempontjából kiemelt jelentőségű, hiszen a 14-15%-os nedvességtartalom már nehézkessé, szinte lehetetlenné teszi a pelletálást. A szárításhoz kisebb feldolgozandó teljesítmény esetén szalagos biomassza szárítót ajánlják, míg kb. 700 kg/óra feletti teljesítmény esetén már dobszáritó alkalmazása javasolt (3. ábra).

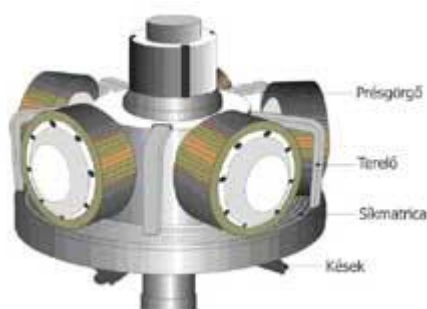


3. ábra: Dobszáritó berendezés[[www.gepkereskedelem.eu](http://www.gepkereskedelem.eu)]

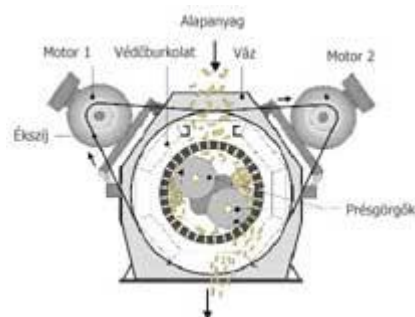
Tekintettel arra, hogy a pellet gyártásához beszállított alapanyag tartalmazhat szennyezőanyagokat (kő, fém stb.), ezért az alapanyag tisztítását is meg kell oldani, mágneses vagy egyéb leválasztó segítségével az idegenanyagot el kell távolítani, még az aprítást megelőzően, különösen, ha újrahasznosított fával dolgozunk. A tisztítást követően az alapanyagot - annak bemenő méretétől függően - egy vagy két lépcsőben finomítjuk. A finom őrlemény egy ciklonon vagy porleválasztón keresztül kerül ideiglenes betárolásra. Az aprítás célja, hogy a beszállított heterogén összetételű és egységmértű alapanyagból elérjük a pelletgyártáshoz szükséges jellemzően 0,5-1,5 mm körüli szemcseméretet.

Mielőtt sor kerülne a préselésre, gőzöléssel kb. 1-2% tömegszázaléknyi vizet adnak a keverékhez. A melegítés biztosítja, hogy a fa lignintartalma felszabaduljon és hozzájáruljon a termékben lévő részecskék stabilabb kötéséhez. A porrá őrölt alapanyag, benne az ilyen módon „felpuhított” ligninnel együtt kerülhet tovább a pelletáló gép présterébe.

A pelletálási folyamat során az alapanyag a görgőkhöz kerül, majd a présgörgők az anyagot átpréselik az ún. matrica furatain keresztül, ami kialakítástól függően lehet sík, vagy gyűrűs matrica (4. ábra). Amikor a kész pellet áthalad a matrica furatain, egy kés a megfelelő hosszúságúra vágja vagy töri. A présgörgő újabb fordulataival újabb adag anyag kerül a matrica lyukaiba, ezáltal préselve pelletté az alapanyagot. A síkmatricás és a gyűrűs matricás pelletálók esetében is cserélhetők a matricák, egy új matrica felhelyezésével akár különböző átmérőjű és hosszúságú pelletek is készíthetők. A jellemző pellet-átmérő általában 6-8 mm, a piaci igényektől függően. Ettől nagyobb méretű anyag már problémásan adagolható automatikusan, így célszerű ebben a méret-tartományban maradni.



síkmatricás pellet gyártó gép



gyűrűs matricás pellet gyártó gép

#### 4. ábra: Pellet gyártó gépek [www.brikettalo.hu]

A présmatrica és a görgők kiemelkedően jó kopásálló anyagból készülnek. A jó matricák ötvözetű edzett krómáccél, a hőkezelésnek köszönhetően a felülete kemény, míg belül erősségét megtartva kellően rugalmas marad. A matrica, a görgők és a vágó-élek időszakonként cseréje szükséges. (A matricák élettartama 1500-2000 üzemóra, míg a görgőké ennek kb. a fele). A gyengébb

alapanyagból készült vagy rosszul hőkezelt, elsősorban távol-keleti gyártóktól származó gépek esetén a matrica és a görgők élettartama az előbbi értékek harmadát sem éri el. A matrica és a görgők anyagminőségén és a tömörítés folyamatán kívül az alapanyag adagolása is döntő jelentőségű. Cél, hogy magas termelékenység mellett egyenletesen alacsony legyen a matrica kopása. A két vagy háromgörgős pelletálóknban hatásosabb adagolás szükséges, így itt centrifugális adagolással, állítható terelőlapok segítségével kerül az alapanyag a görgők felületére. A cél, hogy az alapanyag egyenletes vastagságban terüljön a matrica és a görgők teljes felületére és a görgők egyenletes mértékben préseljék át az alapanyagot a matrica furatain keresztül. A préselési folyamat növeli az alapanyag hőmérsékletét. A pelletáláshoz szükséges nyomásszint az alapanyag fajtája mellett egyéb tényezőktől is függ. Általánosságban igaz, hogy az alapanyag keményfa tartalmának növelése a pellet préselési nyomásának növelését is igényli. A nagyobb nyomást igénylő alapanyagok - a szükségesnél kisebb nyomás beállítása mellett - eltömíthetik a matrica furatait, és a pelletálás folyamatának megszakadásához is vezethetnek.

Az elkészült termék még meleg (90 °C körüli), ezért a kissé képlékeny pellet egy levegős hűtőrendszeren jut keresztül, hogy lassan érje el a környezeti hőmérsékletet. A hűtési fázis növeli a pellet szilárdságát, és csökkenti a porképződést lehetőségét a további kezelés és anyagmozgatás során. A hűtőberendezések működési elvük szerint lehetnek: vízszintes vagy függőleges anyagáramúak. A függőleges anyagáramú hűtőberendezéseknél a hűtőlevegő iránya lehet keresztáramlásos vagy ellenáramlásos. Az ellenáramú léghűtés során a pellet és a hideg levegő egymással szemben áramlik, így az egyre felmelegedő levegő mindig a legmelegebb pelletet hűti – és fordítva. Az ellenáramú hűtés a pellet fokozatos, lassú lehülését eredményezi, csökkentve a hirtelen hőmérsékletváltozásra fellépő minőségromlás veszélyét.

Amennyiben szükséges, a hűtött pelletek közvetlenül a morzsázó berendezésbe üríthetők, majd az osztályozóba kerülnek, ahonnan a törmelék közvetlenül a pelletvonalra visszavezethető, az ép pelletek pedig a további követelményeknek megfelelően leüríthetők, beszákolhatók vagy utótárolókban az elszállításig tárolhatók.

A kész pellet a vevői igények figyelembe vételével 15-25 kg-os, vagy 1m<sup>3</sup>-es zsákokban (big-bag), illetve ömlesztett kiserelésben (tartályban) kerül forgalomba. A kisebb zsákos kiserelés fajlagosan nagyobb költséggel jár, de előnye a könnyű (kézi) mozgathatóság és a kezelhetőség. A kis zsákos kiserelés azoknál a vevőknél hasznos, akik a pelletet csak kiegészítő fűtési eszközként használják (pl. pelletkandallók esetén). A big-bag kiserelés gazdaságosabb, bár 500-1000 kg-os zsákok mozgatása gépi erőt igényel a felrakásnál és a lerakásnál is. Előnyös nagyfelhasználók (közintézmények, üzemek, gazdaságok) esetén, ahol a szükséges gépi erő egyébként is rendelkezésre áll. Az ömlesztett pellet ponyva alatt szállítható platós vagy konténeres teherautóval is. A felrakás és a kitarolás túlnyomósos levegős szállítással történik. Az ömlesztett pellet a legolcsóbb és leginkább környezetbarát kiserelés.



A fakitermelésnél keletkező hulladékok nagy része 8-10%-os energiáfordítással termelhető ki, és hasznosítható. A Tatai fűtőműben 2db 3,5MW hőteljesítményű kazánt 1998 óta erdei faaprítékkal fűtenek. Az elsődleges fafeldolgozásnál keletkező fűrészpor, kéreg, stb. szárítás utáni brikettálásának fajlagos energiaigénye a bio-tüzelőanyag fűtőértékének mintegy 6-8%-a. A másodlagos fafeldolgozás hulladékából közvetlenül gyártott brikett jó minőségű tüzelőanyag, erre példa a Gyöngyösi Parkettagyárban készített exportképes biobrikett [Páczay].

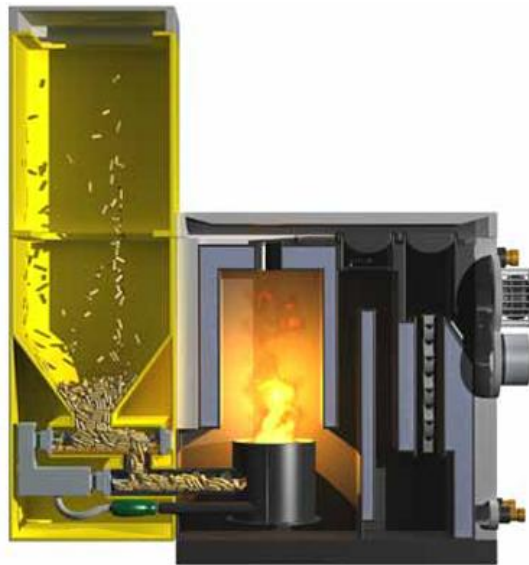
A pellet tüzelésű kazánok alkalmasak családi házak (radiátoros, padlófűtéses), kis lakások, fólia és üvegházak, üzemcsarnokok, műhelyek gravitációs és szivattyús fűtésére. A kazán különbözik a hagyományos fatüzelésű kazánoktól. Egyrészt a hőátadó felülete a többszöröse azoknak, másrészt a kilépő füst hőmérséklete szempontjából is ideális. Pellet tartályra azért van szükség, mert sokkal kényelmesebb 2-4 hetente feltölteni, mint óránként vagy naponta. A pellet tartály lehet egyedi, vagy a kazángyártó által szállított 0,6-1,5m<sup>3</sup> nagyságú, ami 2-4 hétig biztosítja a tüzelőanyagot (5. ábra).

Mindegyik kazántípusra jellemző a teljesen automatikus üzem, azaz a begyűjtés, a pellet adagolása és az égéshez szükséges levegő mennyiség biztosítása a kívánt teljesítmény szerint, mind beavatkozás nélkül történik. A drágább készülékek esetében a kazán tisztítása és az égéstermék, azaz hamu kiszállítása is automatikusan történik.

Pellet tüzelésű kazánál fontos tényező, hogy a fűtési idényre megfelelő és elegendő mennyiségű pelletet tudjunk betárolni, ezért a helyi adottságokat figyelembe véve meg kell tervezni a pellet tárolót is. Amennyiben szűkén állunk a helynek, ideális lehet a kompakt megoldás, amikor a kazánhoz csatolva helyezkedik el a tartály. Ez a megoldás 15kW-os kazán esetén 400literes tárolóval, amelybe 250kg pellet fér, 3-4 hétig látja el a ház fűtését téli időszakban egy feltöltéssel. Ezt is ki lehet egészíteni egy pellet-szívó rendszerrel, amely a tartályt automatikusan feltölti egy tárolóból.

Amennyiben nagyobb hely áll rendelkezésünkre, több megoldás közül választhatunk. Elhelyezhető a pellet a kazánházzal szomszédos helyiségben, ebben az esetben szállítócsiga rendszer látja el az adagolást. A már említett pellet szívó rendszer 25m távolságig és 3m emelőmagasságig képes a pellet-adagolást ellátni, így akár egy föld alatti külső tartályból, vagy silóból is meg lehet oldani az adagolást. Amennyiben a pelletet zsákos kiszerezésben szerezzük be, úgy, pl. a kis kiszerezés (15kg) jól használható családi házak fűtésékor a napi tároló tartály feltöltésére. Ezekben a tartályokban néhány napra elegendő pellet helyezhető el. Ezek a napi tárolós, kis kazánok elvileg szakaszos üzeműek, azaz a hőigény szünet idejére, vagy a tároló kiürülésekor a tűz kialszik. A jobb szabályzórendszerűek ebben az időszakban fenntartanak egy minimális égést, így nem kell őket újra gyűjtani, egyes típusok pedig szabályos leállás után a tartály újratöltése után automatikusan bekapcsolnak.

Egyes készülékek a fűtésrendszert és a meleg víz készítményt is tudják szabályozni. Bármelyikre jellemző, hogy helyiség termosztáttal kommunikál, azaz csak akkor termeli a hőt, ha arra szükség van.



**5. ábra: Pellet kazán [<http://www.pellet-kazanok.hu>]**

Általában minden kazánra érvényes az, hogy jó minőségű pellettel üzemel biztonságosan. A gyengébb minőségű pellet morzsolódik, a tároló alján fokozatosan összegyűlik a porszerű anyag, ez pedig egy idő után megakadályozhatja az adagoló csiga forgását. Szintén a rossz pelletre jellemző, hogy az égéstermék a magas hőmérséklet miatt salakosodik, ez pedig ha az égőtálban van akkor rontja az égést esetleg megakadályozza a begyűjtést.

A pellet tüzelő kazánok, elsősorban gazdaságossági szempontok miatt csak a kis teljesítménytartományban (8...40kW) elterjedtek. E fölött inkább apríték-tüzeléses használatos. A pellet kazánok legtöbbje alkalmas meghatározott mérethatárok közötti faapríték eltüzelésére is, de egyes országokban alacsony értékű gabona-magvak tüzelésére is használják.

A kazán méretének megválasztásakor alapvetően a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- a fűtendő épület légköbmétere
- épület szigetelése
- nyílászárók szigetelése
- az épületben kívánt hőfok
- az épület helye kitettség szempontjából

Hozzávetőlegesen megállapíthatjuk a szükséges teljesítményt, ha tudjuk a létesítmény fűtendő köbméterét és azt 35–50 W-tal szorozzuk (a ház szigetelésétől függően, ahol a hőszigeteléssel nem rendelkező, "huzatos" nyílászáros épületnél ezt 50-nel, megfelelően szigetelt épületnél 35-tel szorozzuk (vagy e két értékhez viszonyítva egy megfelelő értékkel), megkaphatjuk kW-ra váltva a körülbelüli kazán méretet.

Például egy 100 m<sup>2</sup> alapterületű, 2,70 cm belmagasságú, megfelelően szigetelt épület fűtendő légmennyisége  $100 \times 2,7 = 270 \text{ m}^3$ . A hőszigetelési fokozat igen jó, ezért a legalacsonyabb szorzót alkalmazzuk,  $270 \times 35 = 9450$ , azaz kb. 10 kW teljesítményre van szükségünk az épület fűtéséhez.

Egy másik 150 m<sup>2</sup> alapterületű, 2,8 belmagasságú, szigetetlen épületben a  $150 \times 2,8 = 420$  értéket, a szigetelés hiánya miatt, a legmagasabb szorzóval szorozzuk.  $420 \times 50 = 21000$ , azaz kb. 22 kW fűtési teljesítményű kazánt kell terveznünk. Természetesen ezek elnagyolt számítások, egyéb faktorok figyelembe vételével pontosabban kiszámolható a kazán teljesítmény.

## 5. FŰTÉSI KÖLTSÉGEK BIOMASSZA ÉS FÖLDGÁZ FELHASZNÁLÁSÁVAL

Néhány tüzelőanyag jellemző tulajdonságait az alábbi táblázatban foglaltam össze. Fűtőértéket tekintve a faapríték áll a legrosszabban, ám a minimális előkészítési igénye miatt az ára nagyon kedvező, a többihez képest, erről a következő 5. táblázat ad információt.

5. táblázat: Tüzelőanyagok jellemzői

TÜZELŐANYAG	FŰTŐÉRTÉK	EGYSÉG- ÁR	ÁR (FT/MJ)	KAZÁN HATÁSFOK (%)
<b>Faapríték</b>	14MJ/kg	14Ft/kg	1	85
<b>Fapellet (DIN A2 szabvány minőség)</b>	18,5MJ/kg	60Ft/kg	3,24	85
<b>Földgáz</b>	34MJ/m <sup>3</sup>	120Ft/m <sup>3</sup>	3,47	100

**Földgáz ára:** Tegyük fel, hogy egy 150m<sup>2</sup>-es családi ház gázfogyasztása éves szinten 2200m<sup>3</sup> (saját tapasztalat). Ennek éves költségei a TIGÁZ Zrt. árszabása szerint a következőképpen alakulnak (6. táblázat).

1200m<sup>3</sup>-ig a 20m<sup>3</sup>/h mérővel rendelkező egyedi fogyasztóknak a földgáz m<sup>3</sup> ára 3,022 Ft. Az 1200m<sup>3</sup> fölötti fogyasztást 3,477 Ft/m<sup>3</sup> áron kapjuk meg. A fogyasztónak kell megfizetnie ezen felül a tagi hozzájárulást, mely 0,0605Ft/m<sup>3</sup>, az energiaadót, mely 0,0885 Ft/m<sup>3</sup> és az általános forgalmi adót, 25%. Ehhez jön még az éves alapidő, mely 12000 Ft+ÁFA. A számítások a nyomáskorrekciót nem veszik figyelembe.

**6. táblázat: Földgáz fogyasztás alapján a fűtési költség alakulása (Tigáz Zrt. áraival)**

	Mennyiség (m <sup>3</sup> )	Fűtőérték mJ/m <sup>3</sup>	Elszámolt mennyiség (mJ)	Egységár (Ft/mJ)	Nettó fizetendő (Ft)	Bruttó fizetendő (Ft)
<b>Fogyasztás</b>	1.200	34	40.800	3,022	123.297,6	
	1.000	34	34.000	3,477	118.218	
<b>Tagi hozzájárulás</b>			74.800	0,0605	4.525,4	
<b>Energiaadó</b>			74.800	0,0885	6.619,8	
<b>Éves díj</b>					12000	
<b>Összesen:</b>					264.660,8	<b>330.826</b>

Pellet tüzelés esetén (7. táblázat) átlagosan úgy számolnak, hogy 1m<sup>3</sup> földgázt 2kg pellettel lehet kiváltani. Ha viszont a fűtőértéket, tehát a 74800 MJ-t vesszük alapul, akkor 85%-os hatásfokkal számolva éves szinten a 2200m<sup>3</sup> földgáz fogyasztás 4757kg pellettel váltható ki. Így 45.000 Ft. körüli megtakarítás érhető el.

**7. táblázat: Pellet fogyasztás alapján számolt fűtési költség**

Mennyiség (kg)	Fűtőérték MJ/kg	Bruttó egységár (Ft/kg)	Bruttó fizetendő (Ft)
4757	18,5	60	<b>285.420</b>

Faaprítékkal történő tüzelésnél (8. táblázat) a szükséges 74.800 MJ energiát 85%-os kazán hatásfokkal (és így 12MJ/kg hasznosítható hővel) számolva 6233kg faapríték elégetésével biztosíthatjuk.

**8. táblázat: Faapríték fogyasztás alapján számolt fűtési költség**

Mennyiség (kg)	Fűtőérték MJ/kg	Bruttó egységár (Ft/kg)	Bruttó fizetendő (Ft)
6233	14	14	<b>87.262</b>

A fenti táblázatok értékeinek összehasonlításakor láthatjuk, hogy földgázzal éves szinten a jelenlegi árszabás mellett 330.826 Ft, pellet tüzeléssel 285.420 Ft, míg faaprítékkal csupán 87.262 Ft-

ba kerül a példában említett családi ház fűtése. Természetesen a beruházási költségek között is van különbség.

Tekintettel arra, hogy a különböző fűtésrendszerek között a lényegi különbséget a kazán és a tartozékai jelentik, a fűtőtestek és a kiegészítő rendszerek kialakításában nincs nagy különbség, a következőkben csupán a kazánok beruházási értékeit hasonlítom össze.

150m<sup>2</sup> – es lakásnál, 2,7m belmagassággal számolva 405 m<sup>3</sup>-t kell fűteni. Ha léghőméterenként 40W hőteljesítménnyel számolunk (nem túl jól szigetelt épület lévén) akkor 14175W=14,175kW szükséges a fűtéshez. Ez alapján egy max 20kW-os kazán elég kell legyen.

Az egyszerűbb összehasonlítás érdekében az alábbiakban mind kondenzációs gázkazánok, mind pellet, mind faapríték kazánok árfekvését igyekszek megadni, azzal a megjegyzéssel, hogy minden típusnál kerestem alacsonyabb és magasabb árfekvésű kazánt is (9. táblázat, 2011. év végi adatok).

**9. táblázat: Kereskedelmi forgalomban lévő kazánok bruttó árai**

KAZÁN TÍPUS	BRUTTÓ ÁR
<b>Kondenzációs gázkazánok</b>	
Vaillant VU186/3-5 E 19,5kW	522.500 Ft
Beretta Mynute Green 25kW R.S.I.	239.075 Ft.
Ariston Genus Premium System 24kW	514.913 Ft.
Bosch Condenz 3000W ZSB 21,8kW	403.750 Ft
Westen Star Digit 1.240 Fi 25kW	312.500 Ft
<b>Pellet kazánok</b>	
Fröling P4 Pellet20 teljesen automata 20kW	3.864.150Ft.
Ferolli GFN5 19,4kW	471.049 Ft
Atmos P21 19,5kW	500.512 Ft
Biodon 27kW pellet kazán	1.482.000 Ft
Mini Bio automata pellet kazán 20kW	1.035.300 Ft
<b>Apríték tüzelésre alkalmas kazánok</b>	
EKO KARBON kazán 25kW	797.500 Ft
Zselic-30 félautomata kazán	900.000 Ft
Futura BIO 25kW	1.268.750 Ft
Herz Firematic 20kW	3.645.000 Ft

Pellet kazánoknál az olcsóbb, egyszerűbb max. 20 kW teljesítményű készülékek ára átlagosan nettó 1,3 millió Ft, viszont ez az összeg az összes beépítéshez javasolt és szükséges szerelvények árát

is tartalmazza. A prémium kategóriás teljesen automata kazánok árfekvése magasabb. Az alap készülékek ára, amelyek feltöltése kézzel történik, nettó 2,2-2,5millió Ft, ha nagyobb tárolót és speciális adagoló szerkezetet kérnek hozzá az ár akár nettó 3,5-4,0 millió Ft is lehet.

Az apríték kazánok szintén jellemzően 1 M Ft fölött kezdődnek, ám a választás előtt itt figyelembe kell venni, hogy rendelkezünk-e elegendő hellyel, valamint be tudjuk-e szerezni megbízható forrásból az alacsony nedvességtartalmú alapanyagot.

Azt, hogy ha földgáz helyett alternatív tüzeléses rendszert választunk mikor fog megtérülni a magasabb beruházási költségünk, megítélésem szerint egyértelműen nem lehet kiszámolni, csak akkor, amikor már döntöttünk egy bizonyos kazán típus mellett, és még akkor is kockázatot jelent, hogy nem tudhatjuk, a biomassza árai nem fognak-e a jövőben épp úgy megnövekedni, mint minden más tüzelőanyag. Jelenlegi becslések alapján, ha egy átlagos felszereltségű, nem prémium minőségű kazánt vásárolunk, akkor kb. 5-6 év alatt behozza az árát.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A biomassza alapú, azon belül is az energiaültetvényről származó fa fűtésre történő felhasználása jó alternatívát nyújt más tüzelőanyagokkal szemben, annál is inkább, mert ellentétben a földgázzal és a szénnel, ez esetben megújuló energiaforrást használunk föl. A legegyszerűbb felhasználási módja az energiafának az, ha egyszerűen akkora méretűre vágjuk, amely befér a kazánba, és úgy égetjük el. Ez a megoldás nagyobb intézmények, iskolák, középületek fűtésére kiválóan alkalmas lehet, viszont kényelmetlen olyan szempontból, hogy állandó emberi felügyeletet igényel, mert kézzel kell „megrakni”, még ha ezek után a korszerű kazánok már elektronikai vezérléssel szabályozzák is az égést. Nagyobb kényelmet biztosítanak a faapríték kazánok, amelyek szintén nagy teljesítményre képesek, az alapanyag ár ekkor azonban már magasabb, hiszen az energiaültetvényről betakarított fát aprítani és szárítani is szükséges, így viszonylag nagy tárolóhely is szükséges hozzá. A faapríték tüzelés költségei azonban még mindig jóval alul maradnak a földgáz tüzeléssel szemben. Jó alternatíva a pellettüzelés, ám ekkor az aprítás és szárítás költségén túlmenően a pelletgyártás energiaigényét is meg kell fizetni. Számos kazán egyaránt alkalmas apríték és pellettüzelésre is. A pellet is automatikusan adagolható, de költségtakarékos megoldásként kézzel is betölthető a legkevesebb 2-3 napra elegendő mennyiség a kazán tárolójába. A nagyobb térfogatsúly és a kisebb nedvességtartalom miatt nagyobb fűtőértékkel rendelkezik, mint ugyanannyi faapríték, így a szükséges mennyiség tárolása kisebb helyet igényel. A pellettüzelés költségeit tekintve még mindig kevesebb, mint a földgázé, annak ellenére, hogy közel ugyanolyan kényelmi szintet képvisel. Nem elhanyagolható tétel a megfelelő kazán kiválasztása sem, mind a szükséges teljesítményt, mind a minőségi szempontokat figyelembe kell venni, valamint azt, hogy milyen előkészítésen átesett tüzelőanyaggal fogjuk üzemeltetni.

Egy vidéki kistelepülésen, ahol saját földeken termesztik az energiafát, mindhárom alternatíva rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal is. A szállítási költségeket ez esetben nem kell figyelembe venni, így az előállítás költségei, és a kényelmi szempontok kerülnek előtérbe. Ki-ki a saját igényei és persze anyagi lehetőségei szerint választhatja meg a számára kedvezőbb fűtési módot.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*"A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"*

## FELHASZNÁLT IRODALOM

**Gyuricza Cs.:** Fás szárú növények termesztése energetikai célra, Biohulladék, 2. évfolyam 4. szám, 2007

**Gyuricza Cs.:** Fás szárú energianövények termesztése: a növénytaplálás módszerei, Biohulladék, 6. évfolyam, 2. szám, 2011

**Marosvölgyi B. 2003:** A biomassza termesztése, jellemzői és energetikai hasznosítása. In: A biomassza hasznosítása a hőtermelésben – Energiatermelő kistérség, Körmendi Faapríték-fűtőmű, Körmend.

**Nagy, S.:** Hulladék biomassza aprítása/Comminution of waste biomass material, BIOhulladék/BIOwaste 3-4/2008, 37-44.

**Páczay Gy.:** Energiatermelés egyetemi jegyzet,

<http://www.kankalin.bme.hu/Dok/eloadasok/energiatermeles/energia7.pdf>

**Pápai A. 2007:** Gyorsan növő, nagyhozamú magyar energiafűz fajta – Salix Express. Bioenergia 2./6. pp. 31–33.

**Rénes J. 2008:** Fás szárú energiaültetvények a gyakorlatban II. Bioenergia 3./4. pp. 16–19.

**Sulyok D.-Megyes A. 2006a:** Energiatermelés faültetvényből származó energiából III. Agrárágazat 7./6. pp. 64–67.

**Sulyok D.-Megyes A. 2006b:** Energiatermelés faültetvényből származó energiából V. Agrárágazat 7./7. p. 18.

**Szemmelveiszné H. K., Szűcs I., Palotás Á. B., Winkler L.:** Biomasszák és hulladékok erőműi hasznosítása; Mechatronika, Anyagtudomány, Miskolc, Vol.1.No. 3 (2007) pp.51-62

[www.brikettalo.hu](http://www.brikettalo.hu)

[www.energiafu.hu](http://www.energiafu.hu)

[www.graffitokft.hu](http://www.graffitokft.hu)

[www.tigaz.hu](http://www.tigaz.hu)

<http://www.pellet-kazanok.hu>

[http://www.ddkkk.pte.hu/~bnemet/Hull-Fiz/HulFiz-08-9-szilard\\_BM\\_tuzeles.pdf](http://www.ddkkk.pte.hu/~bnemet/Hull-Fiz/HulFiz-08-9-szilard_BM_tuzeles.pdf)

[http://jno.hu/hu/af/jno-420-2011\\_hulladek\\_egetes.pdf](http://jno.hu/hu/af/jno-420-2011_hulladek_egetes.pdf)

[www.gepkereskedelem.eu](http://www.gepkereskedelem.eu)



## A BORSOD-ABAÚJ-ZEMPLÉN MEGYEI HULLADÉKLERAKÓK REKULTIVÁCIÓJÁNAK HELYZETE 2012 ÉVBEN

**Ladányi Roland**

okl. környezetmérnök

műszaki igazgató

AVE Miskolc Kft.

### 1. A kutatás tárgya

A kutatás tárgya a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekten belül a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei rekultivációk helyzetének a feldolgozása, a megvalósult, illetve tervezett hulladéklerakó rekultivációk bemutatása.

### 2. A rekultiváció jogszabályi háttere

Az Európai Unió Keretirányelvek kiternek a hulladékkezelési eljárásokra és létesítményekre is, melyek közül a hulladéklerakókra a 99/31/EK rendelet vonatkozik. Ezen rendelet jogharmonizációjaként készült el a hazai jogszabályozásban a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló 20/2006. (IV.5) KvVM rendelet (továbbiakban Rendelet), amely a hulladéklerakók rekultivációjára ad előírásokat.

A Rendelet 15. § alapján:

*15. § (1) A hulladéklerakó rekultivációjára és utógondozására akkor kerülhet sor, ha a külön jogszabály szerinti beavatkozásra nincsen szükség. A hulladéklerakó egészének vagy egy részének rekultivációját és utógondozását a Felügyelőség engedélyezi.*

*(2) Az engedély iránti kérelemnek tartalmaznia kell a 4. számú mellékletben meghatározott követelmények szerint elkészített rekultivációs tervet.*

*(3) Amennyiben a hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatásának feltárására, továbbá megismerésére a rekultiváció és az utógondozás engedélyezését megelőzően környezetvédelmi felülvizsgálat készült, és azt követően a hulladéklerakó állapotában lényeges változás nem történt, a rekultivációs tervet a környezetvédelmi felülvizsgálat alapján - a 4. számú mellékletnek megfelelően - kell kidolgozni.*

*(4) Ha a hulladéklerakó egészének vagy egy részének rekultivációjára a Felügyelőség hivatalból indít eljárást, az üzemeltetőt, ennek hiányában a terület tulajdonosát részleges környezetvédelmi felülvizsgálatra kötelezi. A részleges környezetvédelmi felülvizsgálatot a rekultiváció követelményeire tekintettel kell elvégezni, és a rekultivációs tervet a részleges környezetvédelmi felülvizsgálat alapján, a 4. számú mellékletben meghatározott követelmények szerint kell elkészíteni.*

*(5) A Felügyelőség a hulladéklerakó rekultivációjára és utógondozására vonatkozó környezetvédelmi követelményeket határozatban írja elő, amelynek a következőket is tartalmaznia kell:*

- a) a hulladéklerakó rekultivációjával kapcsolatos technológiai követelményeket,*
- b) a rekultiváció műszaki kivitelezésének a követelményeit,*
- c) a rekultivációhoz felhasználható anyagok megnevezését és mennyiségét,*

d) a 4. számú mellékletében foglaltak figyelembevételével meghatározott utógondozási időszakot,

e) az üzemeltető megnevezését az utógondozási időszakban.

(6) A Felügyelőség az (5) bekezdés d) pontja szerinti utógondozási időszak meghatározásakor figyelembe veszi azt az időtartamot, ameddig a hulladéklerakó még kockázatot jelenthet a környezetre.

(7) Az utógondozási időszakban a rekultivált hulladéklerakó karbantartásáért, megfigyeléséért és ellenőrzéséért az üzemeltető felelős a Rendelet 3. számú mellékletében foglaltak figyelembevételével. Az üzemeltető köteles az utógondozás időszakában észlelt környezetszennyezésről a Felügyelőséget - az észleléstől számított 8 napon belül - értesíteni.

(8) A hulladéklerakót átmeneti felső záróréteg rendszerrel kell lezárni, amíg a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek stabilizálódása be nem következik, valamint intenzív gázképződés vagy a lerakó süllyedése várható. A végleges felső záróréteg rendszer akkor építhető ki, ha a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött.

A Rendelet 4. számú melléklete szerint:

1. A hulladéklerakó rekultivációjával és utógondozásával kapcsolatos követelmények

A rekultiváció és utógondozás a következő főbb részfolyamatokból tevődik össze:

a) a rekultivációra és utógondozásra vonatkozó tervdokumentáció elkészítése és engedélyeztetése,

b) a hulladéklerakó felső záróréteg rendszerének átmeneti és/vagy végleges kialakítása,

c) a hulladéklerakó-gáz gyűjtési és kezelési rendszerének kialakítása és működtetése,

d) a csurgalékvíz és csapadékvíz kezelési rendszerének kialakítása és működtetése,

e) az utógondozási időszakban szükséges monitoringrendszer kialakítása és működtetése,

f) a hulladéktest formálása, felszíni rétegeinek tömörítése, rézsűk kialakítása, tájba illesztés, a terület további használatának figyelembevételével,

g) a további felhasználásra nem tervezett berendezések és építmények elbontása, az általuk elfoglalt terület tájba illesztése,

h) a fenntartási és állagmegóvási munkák elvégzése az utógondozás teljes időszakában,

i) az utógondozás befejezése,

j) a jelentéskészítési kötelezettség teljesítése.

A fentieket értelemszerűen kell alkalmazni a lerakott hulladék összetételétől, a hulladéklerakó meglévő műszaki létesítményeinek kiépítettségétől, továbbá attól függően, hogy a rekultiváció és az utógondozás a hulladéklerakó egészére vagy annak egy részére vonatkozik.

A felső záróréteg rendszer kialakítása értelemszerűen tartalmazza a hulladéklerakó oldalirányú záróréteg rendszerét is, ahol az szükséges.

1.1. A rekultivációra és utógondozásra vonatkozó tervdokumentációnak tartalmaznia kell:

a) a hulladéklerakó környezeti elemekre, különösen a közvetlen környezetében lévő felszíni és felszín alatti vízre, valamint földtani közegre gyakorolt hatásának, továbbá a környezetszennyezettség kockázatának a bemutatását,

b) a hulladéklerakó rekultivációjának ütemezését (átmeneti és/vagy végleges),

c) a felső záróréteg rendszer szerkezetét, kialakításának módját [az esési irányokat szintvonalas helyszínrajzon és keresztmetszelvényeken kell bemutatni],

d) az utógondozási időszakban szükséges monitoringrendszer kialakításának, üzemeltetésének és karbantartásának leírását,

e) a hulladéklerakó-gáz kezelésének leírását,

f) a csurgalékvíz, csapadékvíz kezelésének leírását,

g) a hulladéktest formálását, felszíni rétegeinek tömörítését, a rézsűk kialakítását, a tájba illesztés leírását,

h) a további felhasználásra nem tervezett berendezések és építmények elbontásával, valamint az általuk elfoglalt terület tájba illesztésével kapcsolatos tervet,

i) a fenntartási és állagmegóvási munkák végzésének tartalmát, módját és ütemezését,

j) az utógondozás befejezésének módját és időpontját,

k) az adatszolgáltatás adattartalmát és módját.

1.2. A felső záróréteg rendszer kialakításával kapcsolatos követelmények

A felső záróréteg rendszer kiépítésének tervezésekor figyelembe kell venni:

a) a lerakott hulladék tulajdonságait, különösen a biológiailag lebomló hulladék mennyiségét,

b) a hulladéklerakó üzemeltetésének feltételeit (pl. az alkalmazott tömörítés mértékét),

c) a hulladéklerakó geometriai jellemzőit (dombépítés, rézsűk mértéke, a hulladéktest magassága stb.),

d) a telephely közelében található, a záróréteg rendszer kialakításához felhasználható természetes anyagok beszerzési lehetőségét (talaj, kavics, agyag),

e) a záróréteg rendszer kiépítésének költségeit.

1.2.1. Az átmeneti felső záróréteg rendszer felépítése és funkciója

Az átmeneti felső záróréteg rendszer legfontosabb feladata az, hogy a végleges felső záróréteg rendszer kiépítése érdekében tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, ezáltal biztosítva a lerakott hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlását és a hulladéktest stabilizálódását. A rétegrend kialakítását egyedileg a tervező határozza meg és a Felügyelőség hagyja jóvá az engedélyben. Alkalmazása azért is indokolt, mert a biohulladék lebomlása következtében a hulladéktestben rokadás, a felszínén jelentős süllyedések várhatóak, ami a végleges felső záróréteg rendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedezéséhez vezetne, és ez a szigetelő funkció megszűnését okozná.

Az átmeneti felső záróréteg rendszer részei:

a) kiegyenlítő réteg (0-50 cm)

Funkciója: a hulladéktest felszínének felső és oldalirányú kiegyenlítése, módosítása, valamint a hulladéktest alkalmassá tétele a következő rétegek elhelyezésére.

Anyaga: aprószemcsés hulladék, külön jogszabályban meghatározott maradék hulladék vagy stabilizált biohulladék, salak, pernye, kőmentes talaj.

b) gázvezető réteg (amennyiben a rekultivációs terv szerint szükséges)

Funkciója: a hulladék egyes összetevőinek biológiai bomlása során keletkező hulladéklerakógáz gyűjtőrendszerbe történő elvezetése.

Anyaga: kis mésztartalmú, egyenletes szemcseeloszlású, jó gázvezető-képességű anyag, amely az adott esésviszonyok mellett kellő állékonyságú.

c) szigetelőréteg (amennyiben a rekultivációs terv szerint szükséges)

Funkciója: a csapadék túlzott mértékű bejutásának akadályozása. Túlzott mértéknek minősül, ha a hulladéktestbe több víz jut be, mint amennyi a biológiai lebontó folyamatok lejátszódásához szükséges nedvességet biztosítja, emiatt a csurgalékvíz mennyisége növekszik felesleges mértékben. Kialakítása és anyaga függ a lerakott hulladék összetételétől, állapotától (pl. a biológiai lebomlás mértékétől, víztelítettségtől és a klimatikus adottságoktól).

Anyaga: ásványi anyagú szigetelés és/vagy geomembrán

d) fedőréteg (legalább 40 cm)

Funkciója: a szigetelőréteg védelme, illetőleg a növényzet megtelepedését (telepítését) lehetővé tevő feltételek biztosítása.

*Anyaga: stabilizált biohulladék és/vagy humuszos talaj, ami lehet szerves anyaggal kevert föld, a rézsűkőn geotextiliával megerősítve.*

### *1.2.2. A végleges felső záróréteg rendszer felépítése és funkciója*

*A végleges felső záróréteg rendszer legfőbb rendeltetése a csapadékvíz hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása, a csurgalékvíz képződésének (és kezelésének), továbbá a környezetbe való potenciális kijutásának megelőzése. Azon hulladéklerakók esetében, amelyeknél átmeneti felső záróréteg rendszer kialakítására sor került, a végleges felső záróréteg rendszert az átmeneti felső záróréteg rendszer felhasználásával kell elkészíteni. A végleges záróréteg rendszer kialakítását megelőzően a hulladéklerakó felületén spontán módon kialakult fás szárú (bokrok, fák) vegetációt el kell távolítani, amennyiben az zavarja a végleges záróréteg rendszer kialakítását.*

*A végleges felső záróréteg rendszer részei:*

#### *a) kiegyenlítő réteg (0-50 cm)*

*Funkciója: a hulladéktest felső és oldalirányú kiegyenlítése, módosítása, beleértve az átmeneti felső záróréteg rendszerrel történt lezárás során kialakult süllyedések megszüntetését is, valamint a hulladéktest alkalmassá tétele a következő rétegek elhelyezésére.*

*Anyaga: kis mésztartalmú, homogén, nem kötött talaj, kohósalak vagy hulladékégető salakja, B3 alkategóriájú lerakó esetén jó gázvezető képességű talaj, kohósalak, hulladékégető salakja, aprószemcsés hulladék, külön jogszabályban meghatározott maradék hulladék vagy stabilizált biohulladék.*

#### *b) gázvezető réteg (ha szükséges)*

*Funkciója: a hulladék egyes összetevőinek biológiai bomlása során keletkező hulladéklerakó-gáz gyűjtőrendszerbe történő elvezetése.*

*Anyaga: kis mésztartalmú, egyenletes szemcseeloszlású, jó gázvezető-képességű anyag, amely az adott esésviszonyok mellett kellő állékonyságú.*

#### *c) szigetelőréteg (A kategóriájú lerakónál nem kell)*

*Funkciója: a víz hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása (hidraulikus gát).*

*A réteg többféle (ásványi és mesterséges anyagú) anyag egymás fölé rétegezésével készíthető. Az ásványi vagy természetes anyagú szigetelőrétegnél alkalmazott megoldásnak egyenértékűnek kell lennie az előírt 2x25 cm vastagságú, adott szivárgási tényezőjű (B1b és B3 kategóriájú lerakónál  $k \leq 5 \times 10^{-9}$  m/s, C kategóriájú lerakónál pedig  $k \leq 10^{-9}$  m/s) megoldással. Az egyenértékűség feltétele a hidraulikai egyenértékűség. A C kategóriájú lerakónál az ásványi anyagú szigetelőrétegen túl szigetelő lemez beépítése is szükséges.*

#### *d) szivárgó- és szűrőréteg*

*Funkciója: a fedőrétegen esetleg átszivárgó víz szigetelőréteg fölötti tartózkodási idejének csökkentése, illetve a zárórétegből való mielőbbi hatékony elvezetése.*

*Anyaga: mosott kavics, a rézsűkőn osztályozatlan homokos kavics vagy kőzúzalék,  $k \geq 5 \times 10^{-3}$  m/s szivárgási tényezőjű aprított hulladék, amelyből vízzel nem oldódik ki kockázatos anyag (pl. szederezett gumihulladék, aprított inert hulladék), geodrén, geokompozit, illetőleg geotextília, amely csak a szűrőréteg anyaga lehet.*

#### *e) fedőréteg*

*Funkciója: a csurgalékvíz minimalizálása, az alatta lévő rétegek védelme, a növényzet telepítéséhez szükséges, megfelelő környezet biztosítása.*

*A réteg többféle anyag egymás fölé rétegezésével készíthető. A szivárgó- és szűrőréteggel érintkező (20-30 cm vastagságú) gyökérszáró réteg erősen kötött vagy erősen kötőmelékes tömör anyag, célszerűen osztályozott építési-bontási hulladék. Ezt követi az (50-70 cm vastagságú) altalaj réteg, amely készülhet kis humusztartalmú talajból vagy stabilizált biohulladékból. A fedőréteg legfelső része a (mintegy 30 cm vastagságú) szervesanyagban gazdag talajréteg, amely a növények*

táplálását szolgálja. A természetes anyagú szigetelőréteg felett a szivárgó-szűrő réteg és a fedőréteg összvastagsága legalább 1,0 m legyen.

f) vegetációs réteg

Funkciója: a víz alsóbb rétegekbe való bejutásának akadályozása, illetőleg az erózióval szembeni védelem.

Anyaga: nem mélygyökérzetű, kis tápanyagigényű, szárazság- és forróságtűrő növények, amelyek megfelelnek az ökológiai környezetnek is.

## 2. Eltérések a rekultivációra előírt követelményektől

2.1. A B3 alkategóriájú hulladéklerakók esetében, amennyiben a hulladéklerakóban  $10\,000\text{ m}^3$ -nél kevesebb a lerakott hulladék mennyisége, a rekultivációt a végleges záróréteg rendszer kialakításával, I ütemben is el lehet végezni. A Felügyelőség ebben az esetben az összes körülmény figyelembevételével (különösen környezetszennyezés vagy jelentős környezetvédelmi kockázat hiányában) mérlegelheti a rekultivációra vonatkozó követelmények mérséklését vagy elengedését. A 2001. előtt létesült hulladéklerakóknál ugyancsak mérlegelhető az előírások mérséklése vagy elengedése, amennyiben az átmeneti lezárás (legfeljebb 10 év) letelte után az összegyűlt monitoring adatok ezt megalapozzák.

2.2. Amennyiben a rekultiváció a hulladék teljes felszedésével és helyben vagy más helyen történő kezelésével mint műszaki beavatkozással valósul meg, a rekultivációs tervnek az 1.1. pontban foglalt követelményektől eltérően az alábbiakat kell tartalmaznia:

a) a beavatkozás ütemezése (hulladék felszedése, szállítás, építmények bontása, tereprendezés, vegetációs réteg telepítésének lépései),

b) a monitoringrendszer kialakításának, üzemeltetésének és karbantartásának leírása, amennyiben indokolt a lerakó okozta szennyezés nyomon követése,

c) a tereprendezéssel és tájbaillesztéssel kapcsolatos terv,

d) a felszedett hulladék helyben, illetve más helyen történő kezelésének bemutatása, a fogadó kezelőlétesítmények engedélyeinek csatolásával,

e) a rekultivált terület új hasznosítási céljának leírása,

f) költségszámítás, különösen a beavatkozás környezeti előnyeinek bemutatására vonatkozóan.

## 3. Rekultiválandó hulladéklerakók felmérése

A magyarországi hulladéklerakók helyzetének pontos felméréséhez hazánk az Európai Uniótól kapott segítséget a PHARE program (HU9911 – 01) keretében. A felméréseket a holland Royal Haskoning és a magyar CANOR International Kft. által alkotott konzorcium végezte, a települési szilárdhulladéklerakók országos felmérése során 2002-ben 2667 lerakót térképeztek fel.

A meglévő lerakók többsége egy – egy település hulladékát fogadta, a települések egy részén több lerakó is található. Ezek a hulladéklerakók műszaki védelem és kellő körültekintés nélkül, többnyire évtizedekkel ezelőtt alakultak ki, elsősorban spontán módon, mindennemű műszaki tervezés nélkül. Figyelembe véve a meglévő lerakók műszaki kialakításának színvonalát, területi megoszlását, regionális lerakóként való alkalmasságát, valamint azt a tényt, hogy 2009. évtől minden üzemelő lerakónak meg kell felelni az EU előírásoknak, a felmérés eredményeként az adódott, hogy:

– bezárandó 2540 lerakó,

– 2009. júliusáig átmenetileg még üzemeltethető 216, de utána bezárandó 90 lerakó,

– korszerűsítendő és 2009. júliusa után folyamatosan üzemeltethető: 42 lerakó.

A vizsgálat és a rangsorolás eredményeit ismerteti az 1. táblázat [Royal Haskoning-CANOR, 2002.]:

## 1. táblázat

Lerakók száma	Működési státusz
1300	2002-ben nem üzemelő
1367	2002-ben üzemelő
216	2009-ig üzemelhetett
42	2009-et követően üzemelhet

A 2009-ig a több mint 2000 lerakó bezárásának okai:

- a regionális hálózat kialakítása miatt már nincs rá szükség,
- a szigetelőrendszere nem alakítható át az új rendelet elvárásainak megfelelően,
- az üzemeltető/tulajdonos nem kívánja az új rendelet elvárásainak megfelelően átalakítani azokat

A felméréseket követően a következő javaslatok születtek 2005-2020-ig terjedő időszakra:

- 42 létező lerakó korszerűsítése
- 10 új lerakó építése
- 13 új átrakóállomás létesítése
- 22 új/bővített lerakó korszerűsítése ISPA program keretén belül
- 20 új/bővített átrakóállomás létesítése ISPA program keretén belül

A régi, nem megfelelő biztonságú lerakók felszámolására egyrészt az Országos Környezeti Kármentesítési Programon belül, másrészt a települési hulladéklerakók rekultivációs programján belül kerül sor.

*A felmérés Észak-magyarországi régiót érintő eredményei:*

Első körben két lista készült időszak szerint megkülönböztetve a lerakókat:

- a) 2008-ig működő lerakók
- b) 2009-től a működő lerakó hálózat elemei.

Az ezt követően elvégzett vizsgálatok, a környezeti kockázatok meghatározása, illetve a megfelelő műszaki védelem létének vizsgálatát követően a régióban mindössze 57 darab hulladéklerakó maradt. Ezeket tovább csoportosították az aljzatszigetelő rendszer megléte szerint: 26 darab nem rendelkezett ezzel, bezárásra ítélték. A maradék működőképes lerakók listáját tovább szűkítették a kapacitásuk szerint. Ennek eredményeként 2008-ig egy 18 lerakót felsorakoztató lista készült el. Ezen 18 település közül 9 darab Borsod – Abaúj – Zemplén megyében található (Rudabánya, Tiszalúc, Bodrogkeresztúr, Szendrő, Gönc, Hidvégardó, Encs, Krasznokvajda, Tornaszentjakab). A további vizsgálatok során kiemelték a listából azokat a lerakókat is, melyek aljzatszigetelése nem felelt meg az EU szabványoknak. Végül összesen hat darab lerakó maradt a 2009-től a hulladéklerakó-hálózat részeként, melyből három B-A-Z megye települései közé tartozik: Bodrogkeresztúr, Encs, Krasznokvajda, azonban a hulladék fogadását illetően a krasznokvajdai kapacitása nem volt elegendő a hosszú távú működtetésre. Az encsi hulladéklerakónak jelenlegi adatok szerint 2012. év végéig van érvényes működési engedélye.

## 4. Támogatások a régi lerakók rekultivációjához

### 4.1 ISPA Program

Az ISPA Program Magyarország Európai Unióhoz való csatlakozását elősegítő, a környezetvédelem és a közlekedési infrastruktúra fejlesztését célzó támogatás volt. Továbbá az ISPA fejlesztések másik fő célja az volt, hogy az Európai Unióhoz csatlakozó országokat felkészítse a Kohéziós Alap (KA) támogatásainak fogadására.

Hazánkban a jogi szabályozás értelmében a települési hulladékkezelési feladatokat a települési önkormányzatoknak kell ellátniuk, így a rendelkezésre álló EU-források jelentős hányadát az önkormányzati – és ezen belül is -, a hulladékgazdálkodási feladatok ellátásához kívánta felhasználni az ország. Így nyílt lehetőség regionális, komplex hulladékkezelési projektek szervezésére és infrastruktúrájának beruházásaira, az előcsatlakozási alapok igénybevételével 12 esetben.

A projektek megvalósításakor a cél az Országos Hulladékgazdálkodási Tervvel összhangban olyan regionális begyűjtő-kezelő komplex rendszerek kialakítása volt, amelyek keretében a szelektív hulladékgyűjtés tárgyi és eszköz-feltételei megteremtésre kerültek (válogatóművek, komposztáló telepek, inert hulladék feldolgozó üzemek). Az elkülönített gyűjtési rendszer üzemeltetése során a nem hasznosítható hulladékok ártalmatlanítása regionális, korszerű létesítményekben kellett, hogy történjen. Amennyiben a rendszer igényelte, átrakóállomás is épült, hiszen cél volt a szállítási útvonalak optimalizálása is. Ezzel párhuzamosan bezárásra, felszámolásra, rekultiválásra kerültek a jogszabályoknak nem megfelelő, korszerűtlen legális és illegális hulladéklerakók.

A 12 hulladékgazdálkodási ISPA projekt a következő:

- Szelektív hulladékgyűjtési, hasznosítási és kommunális hulladékgazdálkodási rendszer megvalósítása Hajdú-Bihar megyében
- Miskolci regionális hulladékgazdálkodási program, Észak- magyarországi régió
- Szegedi regionális hulladékgazdálkodási program, Csongrád megye, Dél- alföldi régió
- Helyi hulladékgazdálkodási rendszer kifejlesztése, Tisza- tó régió
- Hulladékgazdálkodási rendszer Szolnok térsége, Kelet- magyarországi régió
- Duna-Tisza közti nagytérség kommunális szilárdhulladék-gazdálkodási rendszere
- Regionális szilárdhulladék-kezelő rendszer a Sajó – Bódva völgyében
- Észak- kelet Pest megyei regionális hulladékkezelő program Közép- Magyarországon
- Homokhátság regionális hulladékkezelő program Dél- Alföldön
- Nyugat – Balaton és a Zala völgye hulladékgazdálkodási program
- Észak-balatoni regionális hulladékkezelő program Közép-Dunántúlon
- Dél-Balaton és a Sió völgye hulladékgazdálkodási rendszer

### 4.2 Kohéziós Alap

Az ISPA Program által megkezdett fejlesztések folytatása. A Kohéziós Alap a nagy ráfordításokat igénylő, hosszútávon megtérülő környezetvédelmi és infrastrukturális beruházások támogatásának legfontosabb eszköze.

Környezetvédelmi témában hat darab projekt nyert el támogatást 2004. év után, ezek közül hulladékgazdálkodási témát egyetlen egy pályázat érint, a Szabolcs-Szatmár-Bereg megye hulladékgazdálkodási programja.

#### 4.3 KEOP

A Környezet és Energia Operatív Program (KEOP) az Európai Unió 2007. és 2013. közötti költségvetési időszakra vonatkozó támogatási programok egyike.

A KEOP tartalmazza hazánk környezeti állapotának helyzetértékelését, a fejlesztés konkrét irányait, a beruházások szükségességének elemzését és az Európai Unió támogatáspolitikájával kapcsolatos összhangot, koherenciát.

A Program célja Magyarország fenntartható fejlődésének elősegítése, az egyes környezeti-, természetvédelmi és vízügyi feladatok megoldása, a természeti erőforrások hatékonyabb, takarékos használata. A megfogalmazott fejlesztési irányvonalak követésével mindenki számára biztosítottá válik a tiszta, egészséges környezet.

A KEOP prioritásai közül az Egészséges, tiszta települések és a Vizeink jó kezelése érintett a hulladékgazdálkodási és rekultivációs témájú pályázatokkal.

A hulladéklerakók rekultivációját érintő KEOP pályázatok „A települési szilárdhulladék lerakókat érintő térségi szintű rekultivációs programok elvégzése” konstrukcióban megvalósítandó projektek támogatására a következők:

- KEOP 7.2.3.0
- KEOP 2.3.0

## 5. Rekultivációs társulások, konzorciumok

A célok elérése érdekében a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei önkormányzatok társulásokat, konzorciumokat alakítottak, hogy a közigazgatási területükön lévő lerakóik rekultivációját európai uniós támogatással megvalósíthassák.

Ezek a „szövetségek” többnyire ugyanazzal a céllal jöttek létre: a települések területén található, a környezetet és a lakosságot is folyamatosan veszélyeztető, régi, korszerűtlen, műszakilag nem megfelelő, többségében illegális, vagy megtúrt kommunális hulladéklerakókat bezárják és az érvényes jogszabályoknak megfelelően rekultiválják. Továbbá elérendő célként fogalmazódott még meg a közvetlen környezeti kockázatok csökkentése, egészséges, tiszta települések létrehozása, a fenntartható településfejlődés környezeti feltételeinek és a települési környezet állapotjellemzőinek javítása, az életminőség emelése és az egészséges lakókörnyezet kialakítása. Ezek elérésének eszközei a települési környezetvédelmi közszolgáltatások fejlesztése, a környezetvédelmi infrastruktúra korszerűsítése, bővítése.

A célok megvalósításának érdekében az egyes társulások környezetvédelmi projektet dolgoztak ki, valamint társulásonként, az önkormányzatok és a szakmai befektetők közreműködésével a nemzetközi pénzügyi alap támogatásának elnyerésére pályázatokat készítettek, illetve nyújtottak be.

A következő alfejezetek bemutatják a B-A-Z megyei települések részvételével létrejött társulásokat.

### 5.1 Sajó-Bódva Völgye és Környéke Hulladékgazdálkodási Társulás

A Hulladékgazdálkodási Társulás 2000 októberében alakult meg, jelenleg 130 tagönkormányzattal rendelkezik, ebből 126 Borsod- Abaúj-Zemplén megye települése, 4 pedig Heves megye területéhez



tartozik. A társulás létrehozását a gesztorként működő Kazincbarcika, illetve Sajókaza önkormányzata kezdeményezte.

A Társulás hulladékkezelési központja Sajókazán a már meglévő létesítmények bővítésével az ISPA program keretén belül valósult meg.

A Társulás tagjai:

Abod, Aggtelek, Alacska, Alsódobsza, Alsószuha, Alsótelekes, Alsóvadász, Arló, Arnót, Balajt, **Balaton**, Bánhorváti, Bánréve, Becskeháza, **Bekölce**, Berente, Berzék, Bélapátfalva, Boldva, Borsodbóta, Borsodnádásd, Borsodszirák, Bódvalenke, Bódvarákó, Bódvaszilas, Böcs, **Bükkszentmárton** Csokvaomány, Damak, Debréte, Dédestapolcsány, Domaháza, Dövény, Edelény, Égerszög, Farkaslyuk, Felsőkelecsény, Felsőnyárad, Felsőtelekes, Galvács, Gesztely, Gömörszőlős, Hangács, Hangony, Hegymeg, Hernádkak, Hidvégardó, Imola, Izsófalva, Jákfalva, Járdánháza, Jósavfő, Kazincbarcika, Kánó, Kelemér, Kissikátor, Komjáti, Kondó, Kurityán, Lak, Ládbesenyő, Lénárdaróc, Martonyi, Mályi, Mályinka, Meszes, **Mónosbél**, **Mikófalva**, Muhi, Múcsony, Nagybarca, Nagycsécs, Nekézseny, Nyékládháza, Nyomár, Onga, Ormosbánya, Ózd, Parasznya, Perkupa, Putnok, Radostyán, Ragály, Rakaca, Rakacaszend, Rudabánya, Rudolftelep, Sajóbáony, Sajóecseg, Sajógalgóc, Sajóivánka, Sajókaza, Sajókápolna, Sajókeresztúr, Sajólászlófalva, Sajómercse, Sajóvamos, Sajóvelezd, Sata, Selyeb, Serényfalva, Sóstófalva, Szalonna, Szendrő, Szendrőlád, Szikszó, Szin, Szinpetri, Szögliget, Szőlőardó, Szuhafő, Szuhakálló, Szuhogy, Tardona, Tereztenye, Tomor, Tornabarakony, Tornakápolna, Tornanádaska, Tornaszentandrás, Tornaszentjakab, Trizs, Uppony, Újcsanáros, Vadna, Varbó, Varbóc, Viszló, Zádorfalva, Zubogy

A Társulás által elnyert pályázatok:

- ISPA program 2001/HU/16/P/PE/010 (Sajó-Bódva Völgyi Regionális Szilárdhulladékkezelési Program)
- KEOP – 7.2.3.0 – 2008 – 0005 (Sajó-Bódva Völgye Települési Szilárdhulladék Rekultivációs Projekt)
- KEOP – 7.2.3.0 – 2008 – 0031 (Sajó-Bódva Völgye Települési Szilárdhulladék Rekultivációs Projekt II. ütem)
- KEOP – 2.3.0/2F/09 – 2010 – 0029 (Sajó-Bódva Völgye Települési Szilárdhulladék Rekultivációs Projekt)

Az ISPA Program keretén belül egy komplex települési szilárdhulladék-gazdálkodási rendszer kialakításának részeként építettek egy hulladéklerakót Sajókaza határában, egy hulladékválogató üzemet, a szerves hulladékok kezelésére egy komposztáló telepet, valamint egy építési-törmelék feldolgozó üzemet. A Programnak köszönhetően valósult meg az ózdi kistérségben egy átrakóállomás, illetve egy hulladékudvar, valamint további hat udvar a társulás térségében (Edelény, Kazincbarcika/2/, Nyékládháza, Putnok, Szendrő, Szikszó). A Programban eredetileg öt korábban bezárt települési szilárd hulladéklerakó – Aggteleki települési, Edelényi, Kazincbarcikai, Ózdi, Szikszói regionális hulladéklerakók – rekultivációja szerepelt. Ezek közül azonban csak az Aggteleki települési hulladéklerakó rekultivációja valósult meg.

A Társulás által 2008-ban két részletben benyújtott KEOP 7.2.3.0 projektek a rekultivációs munkák előkészítéséről szóltak. Ennek során lett elvégezve a lerakók környezetvédelmi felülvizsgálata, a tervdokumentáció, a Részletes Megvalósíthatósági Tanulmány elkészítése, a hatósági engedélyeztetés, a közbeszerzési dokumentációk elkészítése, valamint a hulladéklerakók tulajdonviszonyának rendezése. Időközben a pályázat összevonásra került, így mindkét ütemet a 2010. évben valósították

meg. A projekttel összesen 103 darab hulladéklerakó rekultivációjának előkészítését oldották meg (2. táblázat).

A lenti táblázat azokat a rekultiválandó hulladéklerakóval rendelkező társulási tagönkormányzatokat sorolja fel, melyek bekerültek valamelyik előkészítési pályázatba. A táblázatban szereplő számok az adott településhez tartozó lerakók számát jelölik, abban az oszlopban elhelyezve, amelyik pályázat keretén belül valósult meg a rekultiváció előkészítése. A vastaggal jelölt települések a Borsod-Abaúj-Zemplén megye területén találhatóak.

2. táblázat

Sorsz.	Település	KEOP 7.2.3.0 - 2008- 0005	KEOP 7.2.3.0 - 2008- 0031	Sorsz.	Település	KEOP 7.2.3.0 - 2008- 0005	KEOP 7.2.3.0- 2008- 0031
1.	<b>Abod</b>	1	1	35.	<b>Lak</b>	1	0
2.	<b>Alsószuha</b>	0	1	36.	<b>Mályinka</b>	1	2
3.	<b>Alsóvadász</b>	2	0	37.	Mónosbél	0	1
4.	<b>Arló</b>	2	0	38.	<b>Múcsony</b>	1	0
5.	<b>Arnót</b>	0	1	39.	<b>Nagybarca</b>	0	1
6.	<b>Bánhorváti</b>	1	0	40.	<b>Nyékládháza</b>	1	0
7.	<b>Berente</b>	1	0	41.	<b>Nyomár</b>	1	0
8.	Bélapátfalva	1	1	42.	<b>Ózd</b>	0	1
9.	<b>Boldva</b>	1	0	43.	<b>Parasznya</b>	2	0
10.	<b>Borsodbóta</b>	1	0	44.	<b>Perkupa</b>	1	0
11.	<b>Borsodnádasd</b>	1	0	45.	<b>Putnok</b>	1	0
12.	<b>Borsodszirák</b>	1	0	46.	<b>Radostyán</b>	0	2
13.	<b>Bódvaszilas</b>	1	0	47.	<b>Rakaca</b>	1	0
14.	Bükkszentmárton	0	1	48.	<b>Rudabánya</b>	1	0
15.	<b>Csokvaomány</b>	1	0	49.	<b>Rudolftelep</b>	4	0
16.	<b>Damak</b>	1	0	50.	<b>Sajómercse</b>	1	0
17.	<b>Dédestapolcsány</b>	1	0	51.	<b>Sajóvámos</b>	1	0
18.	<b>Domaháza</b>	0	1	52.	<b>Sajóvelezd</b>	0	1
19.	<b>Edelény</b>	7	1	53.	<b>Sáta</b>	1	0
20.	<b>Farkaslyuk</b>	7	0	54.	<b>Serényfalva</b>	1	0
21.	<b>Felsőnyárád</b>	1	0	55.	<b>Szalonna</b>	2	0
22.	<b>Gesztely</b>	2	0	56.	<b>Szendró</b>	2	0
23.	<b>Hangács</b>	1	0	57.	<b>Szendrőlád</b>	1	1
24.	<b>Hangony</b>	1	1	58.	<b>Szikszó</b>	0	1
25.	<b>Hegymeg</b>	2	0	59.	<b>Szin</b>	1	0
26.	<b>Hernádkak</b>	1	0	60.	<b>Szögliget</b>	1	0
27.	<b>Hidvégardó</b>	1	0	61.	<b>Szuhakálló</b>	3	0
28.	<b>Járdánháza</b>	0	1	62.	<b>Tomor</b>	1	1
29.	<b>Jósvafő</b>	2	0	63.	<b>Tornaszentandrás</b>	1	0
30.	<b>Kazinbarcika</b>	0	1	64.	<b>Tornaszentjakab</b>	2	0
31.	<b>Kissikátor</b>	1	0	65.	<b>Uppony</b>	0	1
32.	<b>Komjáti</b>	1	0	66.	<b>Varbó</b>	0	1
33.	<b>Kurityán</b>	0	1	67.	<b>Zádorfalva</b>	0	1
34.	<b>Ládbesenyő</b>	1	0	68.	<b>Zubogy</b>	0	1

A rekultivációs munkák elvégzésére a KEOP – 2.3.0/2F/09 – 2010 – 0029 kódszámmal rendelkező pályázat nyert Uniós támogatást. A Rekultivációs Projekt hat egymással szomszédos B-A-Z megyei és egy Heves megyei kistérség 54 településének 78 darab lerakóját érinti. Ez több mint fele azoknak a lerakóknak, melyeket a PHARE felmérésben megjelöltek a térségben.

Az érintett kistérségek: Edelényi kistérség (19), Kazincbarcikai kistérség (11), Miskolci kistérség (5), Ózdi kistérség (15), Szerencsi kistérség (1), Szikszói kistérség (2) BÉlapátfalvai kistérség (1).

A 3. táblázat sorolja fel a pályázat során rekultiválandó lerakókat, azokat az alkalmazott rekultiváció típusai szerint csoportosítva, melyek közül a tervek szerint 32 darab helyben rekultiválásra (30 db együtemű, 2 db kétütemű), 46 darab pedig felszámolásra kerül (30 db a hulladék rostálásával, 16 db pedig a hulladék rostálása nélkül). Ezen felül a helyben maradó lerakók környezeti hatásainak nyomon követésére 16 db megfigyelő kút létesül. A hulladéklerakók rekultivációjának kivitelezése még nem indult el, a pályázat jelenleg a közbeszerzési folyamatoknál tart.

3. táblázat

Sorsz.	Hulladéklerakók felszámolása		Helyben rekultiváció	
	Rostálás nélkül	Rostálással	Másodnyersanyag felhasználásával	Másodnyersanyag felhasználása nélkül
1.	Alsószuha	Abod	Arló I	Alsóvadász I
2.	Arló II	Aggtelek	Bélapátfalva I*	Alsóvadász II
3.	Bánréve	Alsódobza	Bélapátfalva II	Boldva
4.	Berente	Bánhorváti	Bódvaszilás	Csokvaomány
5.	Borsodszirák	Farkaslyuk II	Borsodbóta	Dédestapolcsány
6.	Damak	Farkaslyuk III	Borsodnádásd	Edelény
7.	Edelény VI	Farkaslyuk IV	Domaháza	Edelény I
8.	Hegymeg II	Farkaslyuk V	Hidvégardó	Edelény II
9.	Múcsony	Farkaslyuk VII	Kazincbarcika	Edelény III
10.	Perkupa	Farkaslyuk VIII	Rudabánya	Edelény V
11.	Rudolftelep IV	Hegymeg I	Szendrő I	Edelény VII
12.	Sajóvámos	Kissikátor		Gesztely I
13.	Szalonna II	Nagybarca		Gesztely III
14.	Szendrő II	Nyomár		Hangács
15.	Szendrőlád I	Parasznya II		Járdánháza
16.	Tomor II	Radostyán I		Nyékládháza
17.		Radostyán II		Ózd
18.		Rakaca		Putnok
19.		Rudolftelep II		Sajóvelezd
20.		Rudolftelep III		Szikszó
21.		Sajómercse		Tomor I
22.		Serényfalva		
23.		Szendrőlád II		
24.		Szuhakálló II		
25.		Szuhakálló III		
26.		Tornaszentandrás		

27.		Tornaszentjakab I		
28.		Tornaszentjakab II		
29.		Uppony		
30.		Zubogy		

\* Heves megyei település

## 5.2 Abaúj-Zempléni Szilárdhulladék Gazdálkodási Önkormányzati Társulás

A társulás 85 abaúji és zempléni települési önkormányzat együttműködésével, konkrét hulladékgazdálkodási, valamint az azzal összefüggő környezetvédelmi és társadalmi céllal, a komplex hulladékgazdálkodási feladatok teljes körű ellátásához szükséges beruházások megvalósítására alakult meg 2006. szeptember 11-én Tokajban.

A Társulás tagjai:

Abaújvár, Alsóberecki, Alsóregmec, Baskó, Bekecs, Bodroghalom, Bodrogkeresztúr, Bodrogkiszfalud, Bodrogolaszi, Bózsva, Csobaj, Erdőbénye, Erdőhorváti, Felsőberecki, Felsőregmec, Filkeháza, Fony, Füzér, Füzérkajata, Füzérkomlós, Füzérradvány, Gagybátor, Gagyvendégi, Girincs, Golop, Gönc, Göncruszka, Györgyarló, Háromhuta, Hejce, Hercegekút, Hernádszurdok, Hidasnémeti, Hollóháza, Karos, Kéked, Kenézlő, Kesznyéten, Kiscsécs, Kishuta, Komlóska, Kovácsvágás, Köröm, Legyesbénye, Mád, Makkoshotyka, Mezőzombor, Mikóháza, Mogyoróska, Nagyhuta, Nyíri, Olaszliszka, Pálháza, Pányok, Prügy, Pusztafalu, Rátka, Regéc, Sáradsadány, Sárospatak, Sátoraljaújhely, Sima, Szegi, Szegilong, Szerencs, Taktabáj, Taktakenéz, Taktaszada, Tállya, Tarcal, Telkibánya, Tiszaladány, Tiszalúc, Tiszatardos, Tokaj, Tolcsva, Tornyosnémeti, Vágáshuta, Vajdácaska, Vámosújfalud, Vilmány, Vilyvitány, Viss, Zalkod, Zsujta

A Társulás által elnyert pályázatok:

KEOP – 7.2.3.0 – 2008 – 0024 (Az Abaúj-Zempléni Szilárdhulladék Gazdálkodási Önkormányzati Társulás területén lévő felhagyott szilárd hulladéklerakók rekultivációjának előkészítése)

KEOP – 2.3.0/B/11 – 2011 – 0001 (Az Abaúj-Zempléni Szilárdhulladék Gazdálkodási Önkormányzati Társulás területén lévő felhagyott hulladéklerakók rekultivációja)

A KEOP - 7.3.2.0 – 2008 – 0024 kódszámú projekt céljai közt szerepel: a Társulás területén lévő, potenciális szennyező forrásnak minősíthető felhagyott szilárdhulladék lerakók kedvezőtlen környezeti hatásainak megszüntetése, 46 db lerakó rekultivációjának előkészítése.

A 4. táblázat sorolja fel a Társulás hulladéklerakóinak rekultivációját előkészítő szakaszában részt vevő településeket:

4. táblázat

ABAÚJ ZEMPLÉNI SZILÁRDHULLADÉK GAZDÁLKODÁSI ÖNKORMÁNYZATI TÁRSULÁS			
1.	Alsóregmec	23.	Mikóháza
2.	Baskó	24.	Mogyoróska
3.	Bodroghalom	25.	Olaszliszka
4.	Bodrogkiszfalud	26.	Pálháza
5.	Bózsva	27.	Prügy
6.	Csobaj	28.	Rátka
7.	Fony	29.	Sárospatak

8.	Füzér-Pusztafalu	30.	Sátoraljaújhely
9.	Füzérkomlós	31.	Szerencs
10.	Füzérradvány	32.	Taktakenéz
11.	Girincs	33.	Tállya
12.	Golop	34.	Tarcal
13.	Gönc	35.	Telkibánya
14.	Györgyarló	36.	Tiszaladány
15.	Hidasnémeti	37.	Tiszalúc
16.	Hollóháza	38.	Tiszatardos
17.	Karos	39.	Tolcsva
18.	Kéked	40.	Tornyosnémeti
19.	Kenézlő	41.	Vámosújfalú
20.	Köröm	42.	Vilyvitány
21.	Mád	43.	Viss
22.	Mezőzombor		

Az előkészítési pályázattal szemben a 2011-ben elnyert KEOP – 2.3.0/B/11 – 2011 – 0001 jelzésű megvalósítási pályázat már csak 27 település 28 hulladéklerakójának rekultiválásáról szól.

A következő táblázat ismerteti az egyes településeken található hulladéklerakókat a rekultiváció típusa szerint csoportosítva, melyek közül 11 darab felszámolással, 17 darab pedig helyben végzett lezárással lesz megvalósítva. A 11 darab felszámolásos hulladéklerakó rekultivációkat 3 település kivételével a hulladék ártóztalásával végzik majd.

**5. táblázat**

Sorsz.	Hulladéklerakók felszámolása	Helyben rekultiváció	
		együtemű	kétütemű
1.	Alsóregmec	Bodroghalom	Tiszalúc
2.	Baskó	Csobaj	
3.	Bodrogkisfalud	Füzér - Pusztafalu	
4.	Bózsza	Girincs	
5.	Fony	Hidasnémeti	
6.	Golop	Kenézlő	
7.	Hollóháza	Mád	
8.	Karos	Mezőzombor	
9.	Kéked	Rátka	
10.	Olaszliszka	Sárospatak	
11.	Taktakenéz	Sátoraljaújhely I. II.	
12.		Szerencs	
13.		Tarcal	
14.		Tornyosnémeti	
15.		Vilyvitány	

A következő táblázat azokat a lerakókat sorolja fel, melyeket a Társulás a későbbiekben még rekultiválni tervez.

6. táblázat

Sorsz.	Lerakó	Rekultiváció módja
1.	Alsóregmec II.	helyben rekultiváció
2.	Erdőhorváti	helyben rekultiváció
3.	Füzérkomlós	felszámolás
4.	Prügy	felszámolás
5.	Taktabáj	felszámolás
6.	Telkibánya	helyben rekultiváció
7.	Tiszaladány	felszámolás
8.	Vámosújfalú	helyben rekultiváció
9.	Viss	felszámolás

### 5.3 Hernád Völgye Települési Szilárdhulladék-kezelési Önkormányzati Társulás

Az önálló jogi személyként működő önkormányzati társulás 2007. június 21-én jött létre, 57 Borsod – Abaúj – Zemplén megyei település részvételével. A **Társulás elsődleges feladatai a társult önkormányzatok közigazgatási területén EU konform térségi hulladékgazdálkodási rendszerek kialakítása és működtetése, a korszerűtlen és illegális hulladéklerakók felszámolása, illetve a környezetvédelmi projektek kidolgozása. A programok megvalósítása magában foglalja a szilárd települési hulladék gyűjtését, válogatását, újrahasznosítását, a maradványanyagok uniós szabályozásnak megfelelő, korszerű lerakón való elhelyezését, a kapcsolódó technikai és technológiai rendszerek kialakítását.**

#### A Társulás tagjai:

Encs (gesztor), Abaújszántó, Abaújalpár, Abaújkér, Alsógagy, Arka, Baktakék, Beret, Boldogkőújfalu, Boldogkőváralja, Büttös, Csenyete, Csobád, Detek, Fáj, Fancsal, Felsődobsza, Felsőgagy, Forró, Fulókércs, Gagyapáti, Gagybátor, Gagyvendégi, Garadna, Göncruszka, Halmaj, Hernádbüd, Hernádcéce, Hernádkércs, Hernádpetri, Hernádszentandrás, Hernádvécse, Ináncs, Kány, Kázmárk, Keresztéte, Kiskinizs, Korlát, Krasznokvajda, Léh, Litka, Megyaszó, Méra, Monok, Nagykinizs, Novajdrány, Pamlény, Pere, Percese, Pusztaradvány, Rásonyápperencs, Szalaszend, Szászfa, Szemere, Szentistvánbaksa, Vilmány, Vizsoly.

A Társulás által elnyert pályázatok:

KEOP – 7.2.3.0 – 2007 – 0006 (Hernád Völgye Települési Szilárdhulladék Rekultivációs Projekt)

KEOP – 2.3.0/2F/09 – 2010 – 0027 (Hernád Völgye Települési Szilárdhulladék Rekultivációs Projekt)

A 7. táblázat a 2008-ban benyújtott KEOP – 7.2.3.0 – 2007 – 0006 kódszámú pályázat keretén belül a Társulás térségébe tartozó rekultiválni kívánt hulladéklerakókat sorolja fel. A projekt során megvalósult a *lerakók környezetvédelmi felülvizsgálata, a tulajdonviszonyok rendezése, a rekultivációs tervdokumentációk hatósági engedélyeztetése, valamint a részletes megvalósíthatósági tanulmány elkészítése, Közreműködő Szervezet általi jóváhagyása.* Az előkészítő szakasz tevékenységei 2010. októberben fejeződtek be.

7. táblázat

<b>Hernád Völgye és Térsége Szilárdhulladék-kezelési Önkormányzati Társulás</b>		
Sorsz.	Település	lerakók száma
1.	Abaújkér	2
2.	Abaújszántó	2
3.	Baktakék	1
4.	Beret	1
5.	Boldogkőújfalu	1
6.	Csobád	1
7.	Encs	5
8.	Fancsal	1
9.	Fulókércs	1
10.	Felsődobsza	1
11.	Garadna	1
12.	Halmaj	1
13.	Hernádpetri	1
14.	Hernádszentandrás	1
15.	Ináncs	1
16.	Kázsmárk	2
17.	Kiskinizs	1
18.	Korlát	1
19.	Krasznokvajda	1
20.	Méra	2
21.	Monok	3
22.	Novajdrány	2
23.	Pere	1
24.	Rásonysápberencs	1
25.	Szemere	2
26.	Vilmány	2
27.	Vizsoly	1

A rekultiváció során a projektben résztvevő négy egymással szomszédos Borsod-Abaúj-Zemplén megyei kistérség 27 településének 40 db lerakóját számolják fel, melyekből a tervek szerint 17 db lerakó helyben kerül rekultiválásra (15 db teljes -, 2 db egyszerűsített rétegrenddel), 23 db lerakó esetén pedig teljes felszámolással (a hulladék rostálásával, elszállításával) oldódik meg a probléma. A helyben maradó lerakók környezeti hatásainak nyomon követésére összesen 3 db megfigyelő kút létesül a tervek szerint.

A megvalósításra elnyert pályázat a KEOP – 2.3.0/2F/09 – 2010 – 0027 kódszámú, melybe már csak 26 település 38 hulladéklerakó rekultivációjának elvégzése került bele, melyek közül

- 22 db teljes kör felszámolása mindegyik esetben a hulladék rostálásával,
- 2 db helyben rekultiváció egyszerűsített rétegrenddel,
- 14 helyben rekultiváció teljes rétegrenddel.

A következő táblázat ismerteti az egyes településeket a végrehajtandó rekultiváció módja szerint, az egyes településeken található lerakók számával együtt feltüntetve.

Sorsz.	Felszámolás	lerakók száma	Helyben rekultiváció			
			együtemű rekultiváció	lerakók száma	kétütemű rekultiváció	lerakók száma
1.	Abaújkér	1	Abaújkér	1	Kázsmárk	1
2.	Baktakék	1	Abaújszántó	2	Korlát	1
3.	Beret	1	Boldogkőújfalú	1	Krasznokvajda	1
4.	Encs	2	Csobád	1	Méra	2
5.	Fancsal	1	Encs	1	Monok	1
6.	Garadna	1	Fancsal	1		
7.	Halmaj	1	Fulókércs	1		
8.	Hernádpetri	1	Felsődobza	1		
9.	Hernádszentandrás	1	Novajdrány	1		
10.	Kázsmárk	1	Szemere	1		
11.	Kiskinizs	1	Vilmány	1		
12.	Monok	2				
13.	Novajdrány	1				
14.	Pere	1				
15.	Rásonysápberencs	1				
16.	Szemere	1				
17.	Vilmány	1				
18.	Vizsoly	1				

A helyben maradó lerakók környezeti hatásainak nyomon követésére összesen 10 db megfigyelő kutat létesítenek.

A hulladéklerakó rekultivációk kivitelezési munkálatai még nem indultak el, azonban a közbeszerzési folyamatok már lezárultak.

#### 5.4 Miskolci Regionális Hulladékgazdálkodási Program

A Program megvalósításához első lépésben 37 darab Borsod-Abaúj-Zemplén megyei település lépett konzorciumba 2004. február 27- én Miskolc város és térségének települési szilárdhulladékai kezelésének korszerű megoldására, az ehhez szükséges jogi, pénzügyi, gazdasági feltételrendszer megteremtésére és az Európai Unió (ISPA) követelményrendszernek való megfelelés céljából.

A Konzorcium tagjai:

Miskolc (gesztor), Alsózsolca, Aszaló, Boldva, Borsodgeszt, Borsodszirák, Bükkaranyos, Bükkszentkereszt, Csincse, Emőd, Felsőzsolca, Gelej, Harsány, Hejőbába, Hejőkeresztúr, Hejőpapi, Hejőszalonta, Hernádnémeti, Igrici, Kisgyőr, Kistokaj, Mezőcsát, Nemesbikk, Ónod, Oslár, Répáshuta, Sajólád, Sajóörös, Sajópálfala, Sajópetri, Sajósenye, Sajószöged, Szakáld, Szirmabesenyő, Tiszakeszi, Tiszapalkonya, Vatta.

A Konzorcium által elnyert pályázatok:

ISPA 2000/HU/16/P/PE/004

A projekt célja egy műszaki védelemmel és biogáz kivezetővel ellátott központi regionális hulladéklerakó építése Hejőpapi településnél, szelektív hulladékgyűjtés bevezetése, komposztáló



létesítése, és az építési hulladék elkülönített szállítása és kezelése volt. A program keretében egy Miskolc városára és számos környező településre vonatkozó komplex települési szilárdhulladék – gazdálkodási rendszer jött létre, illetve a konzorcium területén található nem megfelelő műszaki védelemmel üzemelő hulladéklerakók felszámolása is megvalósult.

A 9. táblázat mutatja be a Program keretén belül településenként lebontva hány darab lerakó rekultivációjára került sor.

9. táblázat

<b>Miskolci Regionális Hulladékgazdálkodási Program</b>		
Sorsz.	Település	Lerakók száma
1.	Alsózsolca	1
2.	Aszaló	1
3.	Boldva - Sajósenye	1
4.	Emőd	1
5.	Felsőzsolca	1
6.	Harsány	1
7.	Hejőbába	1
8.	Hernádnémeti	1
9.	Mezőcsát	1
10.	Miskolc	4
11.	Nemesbikk	1
12.	Ónod	1
13.	Sajólád	1
14.	Szirmabesenyő	1
15.	Tiszapalkonya	1
16.	Vatta	1

A program keretén belül 19 hulladéklerakó rekultivációjára került sor, ebből 4 hulladéklerakó Miskolc Megyei Jogú Város közigazgatási területén található. Ezek:

- Martin-telepi lerakó (felszámolásra került) 0163/39, 0163/59-68 hrsz.
- Muszkás oldali lerakó (felszámolásra került) 71022 hrsz.
- Vologda úti lerakó (felszámolásra került) 20150 hrsz.
- Bogács úti központi lerakó (helyben történő rekultivációval) 0156/4-5, 0156/7 hrsz.

A 10. táblázat a rekultiváció típusa szerint csoportosítja a Programban szereplő hulladéklerakókat:

10. táblázat

Sorsz.	Hulladéklerakók felszámolása	Helyben rekultiváció
1.	Felsőzsolca	Emőd
2.	Harsány	Szirmabesenyő
3.	Ónod	Miskolc IV.
4.	Vatta	Mezőcsát
5.	Miskolc I.	Hernádnémeti
6.	Miskolc II.	Alsózsolca

7.	Miskolc III.	Boldva - Sajósenye
8.	Nemesbikk	Tiszapalkonya
9.	Hejőbába	Sajólád
10.	Aszaló	

### 5.5 Miskolc Környéki Rekultivációs Önkormányzati Társulás

Az ISPA programban 37 önkormányzat vett részt, de egyes településeken a hulladéklerakók rekultivációja nem valósulhatott meg. A rekultivációs feladatok elvégzése, ill. KEOP és más források igénybevétele érdekében a dél-borsodi önkormányzatok létrehozták a Miskolc Környéki Rekultivációs Társulást. A Társulás 2007. október 25-én alakult azzal a szándékkal, hogy a társulást alkotó települések felhagyott, bezárt szilárdhulladék lerakóinak rekultivációját végrehajtsa.

A Társulás tagjai:

Bükkaranyos, Bükksgentkereszt, Hejőszalonta, Hernádnémeti, Igrici, Kisgyőr, Sajópálfala (gesztor), Sajópetri, Sajósgentpéter, Szakáld, Tiszakeszi.

A Társulás által elnyert pályázatok:

KEOP – 7.2.3.0 – 2008 – 0025 (Miskolc Környéki Rekultivációs Önkormányzati Társulás területén található felhagyott, bezárt 12 db települési szilárdhulladék-lerakók rekultivációjának előkészítése)

A Társulás 11 településén összesen 12 darab hulladéklerakó rekultivációja valósult meg, ezeket a 11. táblázat ismerteti:

**11. táblázat**

<b>Miskolc környéki Rekultivációs Önkormányzati Társulás</b>		
<b>Sorsz.</b>	<b>Település</b>	<b>lerakók száma</b>
1.	Bükkaranyos	1
2.	Bükksgentkereszt	1
3.	Hejőszalonta	1
4.	Hernádnémeti	1
5.	Igrici	1
6.	Kisgyőr	2
7.	Sajópálfala	1
8.	Sajópetri	1
9.	Sajósgentpéter	1
10.	Szakáld	1
11.	Tiszakeszi	1

A 12. táblázat a megvalósult rekultiváció típusaként csoportosítja az érintett településeket.

**12. táblázat**

<b>Sorsz.</b>	<b>Település</b>	
	<b>Felszámolás rostálással</b>	<b>Végleges lezárás</b>
1.	Bükksgentkereszt	Bükkaranyos

2..	Hernádnémeti	Hejőszalonta
3.	Igrici	Sajópálfala
4.	Kisgyőr I.	Sajópetri
5.	Kisgyőr II.	Sajószentpéter
6.	Szakáld	Tiszakeszi

### 5.6 Észak - kelet Magyarországi Hulladéklerakó Rekultivációs Önkormányzati Társulás

A Társulás 2011. június 27-én alakult kilenc darab Borsod-Abaúj-Zemplén megyei és két darab Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei település részvételével azzal a céllal, hogy a közigazgatási területeiken található használaton kívüli, elavult hulladéklerakók rekultivációját pályázati úton megoldja.

A Társulás tagjai:

B-A-Z megye: Cigánd, Csincse, Gelej, Hejőkeresztúr, Hét, Homrogd, Nyésta, Sajópüspöki, Szirmabesenyő

Sz-Sz-B megye: Máriapócs, Kisvarsány

A Társulás által elnyert pályázatok

KEOP – 2.3.0/B/11 – 2011 – 0002 Az Észak – Kelet Magyarországi Hulladék Rekultivációs Önkormányzati Társulás területén lévő bezárt illetve felhagyott települési szilárd hulladéklerakók rekultivációja

A pályázat során végrehajtani kívánt hulladéklerakók rekultiváció típusa szerinti felosztásban sorolja fel az egyes településeket a 13. táblázat (vastaggal jelölve a B-A-Z megyei településeket):

**13. táblázat**

Sorsz.	Hulladéklerakók felszámolása	Helyben rekultiváció
	Rostálással	Együtemű
1.	<b>Cigánd</b>	<b>Hejőkeresztúr</b>
2.	<b>Csincse</b>	<b>Szirmabesenyő</b>
3.	<b>Gelej</b>	Kisvarsány
4.	<b>Hét</b>	
5.	<b>Homrogd</b>	
6.	<b>Nyésta</b>	
7.	Máriapócs	

### 5.7 Tisza-tavi régió hulladéklerakóit rekultiváló egycélú Önkormányzati Társulás / Tisza-tavi települések Konzorciuma (Tisza-tavi Regionális Hulladékgazdálkodási Társulás)

A Konzorciumot Jász-Nagykun-Szolnok megye 14 települése, Hajdú-Bihar megye 2 települése, Heves megye 6 települése és Borsod-Abaúj-Zemplén megye 9 települése hozta létre 2001-ben. A Konzorcium 2004. január 28-án 42 település részvételével társulássá alakult, melynek neve: Tisza-tavi Regionális Hulladékgazdálkodási Társulás.

A Konzorcium jelenlegi tagjai:

Abádszalók, Besenyőtelek, Borsodivánka, Bükkzsérc, Egerfarmos, Egerlövő, Kunhegyes, Mezőkövesd, Mezőnagymihály, Mezőnyárád, Mezőtárkány, Nagyiván, Négyes, Poroszló, Sály, Sarud, Szihalom, Szomolya, Tard, Tiszabábolna, Tiszabura, Tiszacsege, Tiszaderzs, Tiszadorogma, Tiszafüred, Tiszaörs, Tiszaszentimre, Tiszavalk, Tomajmonostora, Újlőrincfalva.

A régió ISPA program által érintett települései:

Jász-Nagykun-Szolnok megye: Tiszafüred+Tiszaszőlős, **Abádszalók**, **Nagyiván**, **Tiszabura**, **Tiszaderzs**, **Tiszagyenda**, **Tiszaörs**, Tiszaigar, Tiszaroff, **Tiszaszentimre**, **Tomajmonostora**, **Kunhegyes**.

Heves megye: **Poroszló**, **Sarud**, Füzesabony, **Újlőrincfalva**, Mezőszemere, Dormánd, **Egerfarmos**, **Szihalom**, **Besenyőtelek**, **Mezőtárkány**.

Borsod-Abaúj-Zemplén megye: **Borsodivánka**, **Tiszadorogma**, **Tiszavalk**, **Négyes**, Bogács, **Bükkzsérc**, Cserépfalu, Cserépváralja, **Egerlövő**, **Mezőnyárád**, **Mezőnagymihály**, **Sály**, Szentistván, **Szomolya**, **Tard**, **Tiszabábolna**, **Mezőkövesd**.

Hajdú-Bihar megye: Egyek, **Tiszacsege**

A Konzorcium által elnyert pályázatok:

ISPA 2000/HU/16/P/PE/006 Tisza – tavi Regionális Hulladékgazdálkodási Program

**KEOP-7.2.3.0-2007-0020** (A Tisza-tó környéki települések konzorciumának területén lévő 31 lerakó rekultivációja)

Az ISPA program célja volt, hogy a Tisza-tó térségében összefogja a társulásban résztvevő települések hulladékgazdálkodását. A beruházás elsősorban egy regionális hulladékkezelő és hulladéklerakó, valamint egy átrakó megépítését foglalta magában, illetve a környezetvédelmi hatóság által bezárásra ítélt hulladéklerakók rekultivációját, annak előkészítését. A projekt eredményeként egy a Tisza-tó és környékére kiterjedő komplex települési szilárd-hulladékgazdálkodási rendszer épült ki, a szakszerű európai normáknak megfelelő hulladékgyűjtés, szállítás és az ártalommentes hulladék elhelyezés megvalósításával.

A Program keretén belül tervezett 33 hulladéklerakó rekultiváció helyett mindösszesen 4 darab valósult meg Tard, Mezőszemere, Tiszabura és Újlőrincfalva településeken.

A KEOP pályázattal 32 darab lerakó rekultivációját szeretnék megoldani, melyeket a 14. táblázat ismertet (vastaggal jelölve a B-A-Z megyei településeket).

14. táblázat

Sorsz.	Hulladéklerakók felszámolása	Helyben rekultiváció	
	Rostálással	átmeneti lezárással	végleges lezárással
1.	Besenyőtelek	Abádszalók	<b>Bükkzsérc</b>
2.	<b>Borsodivánka</b>	Kunhegyes	Füzesabony I.
3.	Egerfarmos	Sarud I	<b>Mezőkövesd</b>
4.	<b>Egerlövő</b>	Tiszacsege	<b>Mezőnyárád</b>
5.	Egyek	Tiszaderzs	Mezőtárkány
6.	Nagyiván	Tiszafüred	Poroszló I.
7.	Poroszló II	Tiszagyenda	<b>Sály</b>
8.	Sarud II	Tiszaörs	Szihalom
9.	Szentistván	Tiszaszentimre	<b>Szomolya</b>
10.		Tiszaszőlős	Tiszaigar
11.		Tomajmonostora	

A projekt sajátosságai közé tartozik, hogy a felszámolandó, rekultiválandó hulladéklerakók jelentős része védett (Natura 2000) területeken található, melyek helyreállítása rehabilitációja nagymértékben hozzájárul a térséget jellemző biodiverzitás fennmaradásához.

A lerakók rekultivációjának kivitelezése még nem indulhatott el, mivel a közbeszerzési folyamatok nem zárultak még le, jelenleg a FIDIC mérnök kijelöléséhez szükséges tender zajlik.

### 5.8 Heves Megyei Regionális Hulladékgazdálkodási Társulás

A Társulás 80 önkormányzat részvételével jött létre 2003. június 17-én azzal a céllal, hogy a térség területén megvalósítsa a hulladékgazdálkodás fejlesztésére vonatkozó terveit.

A Társulás tagjai:

Aldebrő, Andornaktálya, Apc, Ároktő, Bodony, Boldog, Buják, Bükkábrány, Bükkszék, Bükkszenterzsébet, Csány, Demjén, Ecséd, Eger, Egerbakta, Egercsehi, Egerszalók, Egerszólát, Egyházasdengeleg, Erdőkövesd, Erdőkürt, Erdőtarcsa, Fedémes, Feldebrő, Felsőtárkány, Hatvan, Héhalom, Hejőkürt, Heréd, Hevesaranyos, Hort, Istenmezeje, Ivád, Jászfényszaru, Kál, Kálló, Kápolna, Kerecsend, Kerekharaszt, Kisbágyon, Kisfüzes, Kisköre, Kompolt, Lőrinci, Maklár, Mátraballa, Mátraderecske, Mezőkeresztes, Nagykökényes, Nagytálya, Nagyút, Nagyvisnyó, Noszvaj, Novaj, Ostoros, Palotás, Parád, Pétervására, Recsk, Rózsaszentmárton, Sajóhidvég, Sirok, Szirák, Szajla, Szarvaskő, Szentdomonkos, Szilvásvár, Szúcs, Taktaharkány, Tarnalelesz, Tarnaméra, Tarnaszentmária, Terpes, Tibolddaróc, Tiszaújváros, Tófalu, Vanyarc, Váraszó, Verpelét, Zagyvaszántó

A Társulás által elnyert pályázatok:

KEOP – 7. 2.3.0. – 2008 – 0013

KEOP – 2.3.0/2F/09 – 2010 – 0028

A Társulás hulladékgazdálkodási rendszerelemek elvégzésére nem nyert támogatást a Kohéziós Alapból, ezért azon munkálatok elvégzésére koncessziós eljárás lefolytatásával valósították meg, melynek nyertese az AVE Magyarország Kft. lett. A fejlesztési feladatok között szerepelt egy hulladéklerakó létesítése Hejőpapin, illetve egy-egy átrakóállomás és hulladékudvar létesítése Egerben és Hatvanban.

A Társulás területén lévő hulladéklerakók rekultiválására azonban már sikeres pályázatokat nyújtottak be mind az előkészítési munkálatok, mind a megvalósítási folyamatok elvégzésére.

Az előkészítési pályázat keretén belül elkészültek az érintett lerakók környezetvédelmi felülvizsgálatai, ezek alapján az előzetes megvalósíthatósági tanulmányok.

A KEOP 7.2.3.0. – 2008 – 0013 kódszámú pályázatban résztvevő települések (vastaggal jelölve a B-A-Z megyei településeket) (15. táblázat):

**15. táblázat**

Sorsz.	Település	Sorsz.	Település
1.	Aldebrő	23.	Kerecsend
2.	Andornaktálya	24.	Kisköre
3.	Apc	25.	Kompolt
4.	Ároktő	26.	Mátraballa
5.	Bodony	27.	Mezőkeresztes

6.	Boldog	28.	Nagytálya
7.	Buják	29.	Noszvaj
8.	<b>Bükkábrány</b>	30.	Ostoros
9.	Csány	31.	Parád
10.	Ecséd	32.	Pétervására
11.	Eger	33.	Recsk
12.	Egercsehi	34.	<b>Sajóhídvég</b>
13.	Erdőkürt	35.	Sirok
14.	Feldebrő	36.	Szarvaskő
15.	Hatvan	37.	Szirák
16.	Hejőkürt	38.	<b>Taktaharkány</b>
17.	Hort	39.	Tarnaméra
18.	Istenmezeje	40.	Tibolddaróc
19.	Jászfényszaru	41.	<b>Tiszaújváros</b>
20.	Kál	42.	Vanyarc
21.	Kálló	43.	Verpelét
22.	Kápolna		

Ez a pályázat 43 település 44 darab hulladéklerakóját érinti, melyből 30-at együtemű, 10-et kétütemű rekultivációval, míg 4 darabot felszámolással terveznek kivitelezni.

A rekultivációs munkák elvégzéséről szóló pályázatban szereplő települések csoportosítása a hulladéklerakók rekultivációjának típusa szerint (16. táblázat):

16. táblázat

Sorsz.	Hulladéklerakók felszámolása	Helyben rekultiváció	
	Rostálással	együtemű	kétütemű
1.	Istenmezeje	Andornaktálya	Eger II.
2.	<b>Sajóhídvég</b>	<b>Ároktő</b>	Kisköre
3.	<b>Taktaharkány II.</b>	Bodony	<b>Tiszaújváros</b>
4.		<b>Bükkábrány</b>	Verpelét
5.		Eger I.	Apc
6.		Egercsehi	Boldog
7.		Feldebrő	Erdőkürt
8.		Kál	Hatvan
9.		Kápolna	Jászfényszaru
10.		Kerecsend	Kálló
11.		Kompolt	
12.		Mátraballa	
13.		Noszvaj	
14.		Ostoros	
15.		Parád	
16.		Recsk	
17.		Sirok	
18.		Szarvaskő	
19.		Tarnaméra	
20.		<b>Taktaharkány I.</b>	

21.		Csány	
22.		Ecséd	
23.		Hort	
24.		Szirák	
25.		Vanyarc	

Ebbe a projektbe a térségben érintett hulladéklerakók közül már csak 38 darab került bele, ezek közül összesen hat darab található Borsod-Abaúj-Zemplén megyében.

A hulladéklerakók rekultivációjának kivitelezése még nem indult el.

### 5.9 Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Szilárdhulladék - gazdálkodási Társulás

2006. március 5-én alakult meg a Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Települési Szilárdhulladék-gazdálkodási Társulás 241 megyei önkormányzat részvételével.

A Társulás által elnyert rekultivációs pályázatok:

KEOP – 7.2.3.0 – 2008 - 0029

KEOP – 2.3.0/2F/09-2010-0031

Ezek a pályázatok a fentebb bemutatott társulások esetében is kétfordulós formában nyertek támogatást először az előkészítési munkák elvégzésére, majd a rekultivációk megvalósítására. A pályázatokban két B-A-Z megyei település érintett: Tiszakarád és Zemplénagárd.

A kivitelezési munkák folyamatban vannak.

## 6. Összefoglalás

A PHARE program segítségével a Royal Haskoning 2002-ben elvégzett felmérés eredményeként Borsod-Abaúj-Zemplén megyében 243 település 320 darab nagyobb hulladéklerakóját tárta fel. Ezek többségének rekultivációjának elvégzéséhez az egyes önkormányzatok Társulásokat hoztak létre. Az önkormányzatok által létrehozott társulások európai uniós támogatások igénybevételével a mai napig folyamatosan dolgoznak azon, hogy ezeket a környezetvédelmi elvárásoknak megfelelően rekultiválják, a területet újra használhatóvá tegyék.

A feldolgozásból látható, hogy B-A-Z megye térségét érintően összesen kilenc társulás alakult az elmúlt évek során, amely arra utal, hogy ezt a feladatot az önkormányzatok prioritásként kezelik.

Látható, hogy a Társulások számára az EU támogatású pályázatok többsége két fordulós. Az első fordulóban a hulladéklerakók rekultivációjának előkészítésére nyertek el támogatást, melyek során elvégezték a szükséges környezetvédelmi felülvizsgálatokat, elkészítették a rekultivációs terveket, beszerzték a megfelelő hatósági engedélyeket, a második forduló pedig a kivitelezési munkákra vonatkozik.

Az előkészítő pályázatokba jóval több település hulladéklerakója szerepelt, mint a megvalósításról szóló projektekre, amelynek leggyakoribb oka, hogy a felszámolandó hulladéklerakók nem önkormányzati területen, hanem magántulajdonban vannak és sok esetben, főleg sok tulajdonos esetén nehezen szerezhető meg a tulajdonjog.

A megvalósítandó régiós pályázatokban összesen 263 darab hulladéklerakó vesz részt 217 településről, ezek közül 196 darab lerakó található Borsod-Abaúj-Zemplén megyében, összesen 156

településen. A Borsod-Abaúj-Zemplén megyei rekultivációk helyszíneit társulásonkénti bontásban az 1. számú melléklet, a megvalósítás módját a 2. számú melléklet tartalmazza.

A rekultiváció módját illetően a Borsod-Abaúj-Zemplén megyét érintően teljes felszámolásra került 107 darab, helyben rekultivációval pedig 89 darab hulladéklerakó területe került lezárásra.

## IRODALOMJEGYZÉK

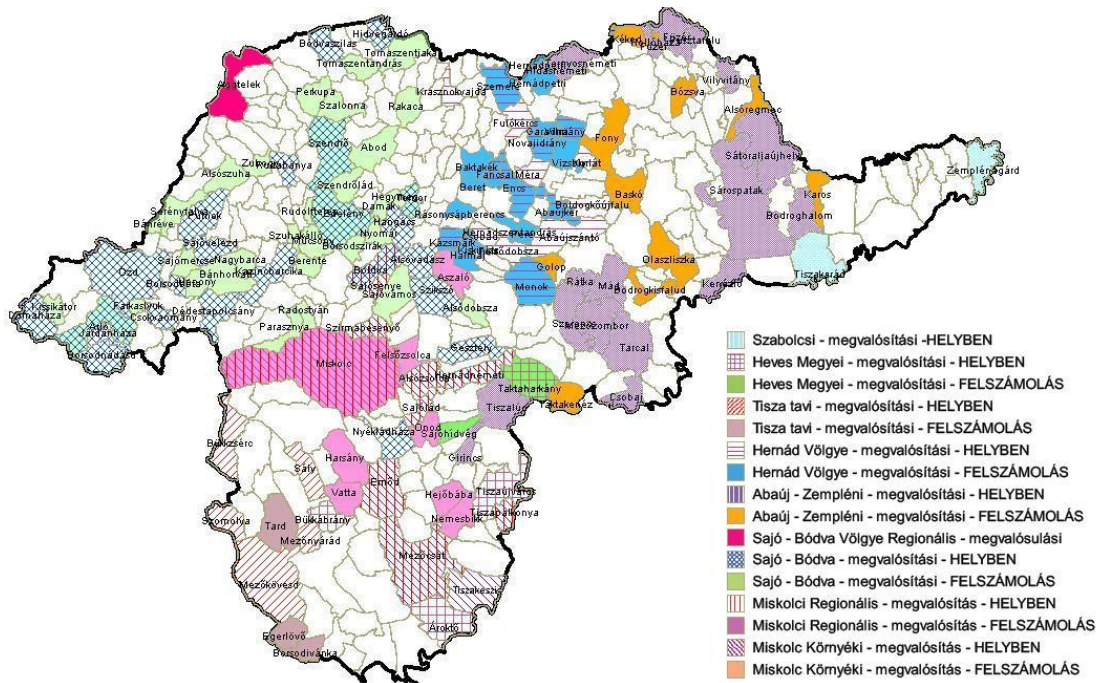
- 1) [www.nfu.hu](http://www.nfu.hu)
- 2) [www.energiakozpont.hu](http://www.energiakozpont.hu)
- 3) [www.sajobodva.hu](http://www.sajobodva.hu)
- 4) [www.sajobodvarekultivacio.hu](http://www.sajobodvarekultivacio.hu)
- 5) [www.hernadvolge.hu](http://www.hernadvolge.hu)
- 6) [www.zoldzemplen.hu](http://www.zoldzemplen.hu)
- 7) [www.keoptiszato.hu](http://www.keoptiszato.hu)
- 8) [www.hulladeknagykovet.hu](http://www.hulladeknagykovet.hu)
- 9) [www.ted.hu](http://www.ted.hu)
- 10) [www.ted.europa.eu](http://www.ted.europa.eu)
- 11) [www.edeleny.hu/testuletiules](http://www.edeleny.hu/testuletiules)
- 12) [www.boon.hu](http://www.boon.hu)
- 13) [www.sajokaza.hu](http://www.sajokaza.hu)
- 14) [www.zhk.hu](http://www.zhk.hu)
- 15) [www.ozd.hu](http://www.ozd.hu)
- 16) [www.kvvm.hu](http://www.kvvm.hu)
- 17) [www.greenfo.hu](http://www.greenfo.hu)
- 18) [www.opont.hu](http://www.opont.hu)
- 19) [www.beruhazas.eu](http://www.beruhazas.eu)
- 20) [www.uvmp.eu](http://www.uvmp.eu)
- 21) [www.zoldmegye.hu](http://www.zoldmegye.hu)
- 22) [www.hulladektarsulas.eger.hu](http://www.hulladektarsulas.eger.hu)
- 23) [www.uni-miskolc.hu](http://www.uni-miskolc.hu) (Észak-magyarországi Stratégiai füzetek)
- 24) HEVES Megyei Rekultivációs Projekt, tender anyag





2. számú melléklet

## Megvalósuló rekultivációk felszámolás módja szerinti felosztása Borsod-Abaúj Zemplén megyében (2012. augusztus)



# TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉKLERAKÓ BOMLÁSI FOLYAMATÁNAK FIZIKAI MODELLEZÉSE

## 1. rész

Dr. Bokányi Ljudmilla<sup>1</sup>, Dr. Szabó Attila<sup>2</sup>, Varga Terézia<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>egyetemi docens      <sup>2</sup>tanszéki mérnök  
<sup>3</sup>tudományos segédmunkatárs

<sup>1,3</sup>Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

<sup>2</sup>Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet

## 1. Bevezetés

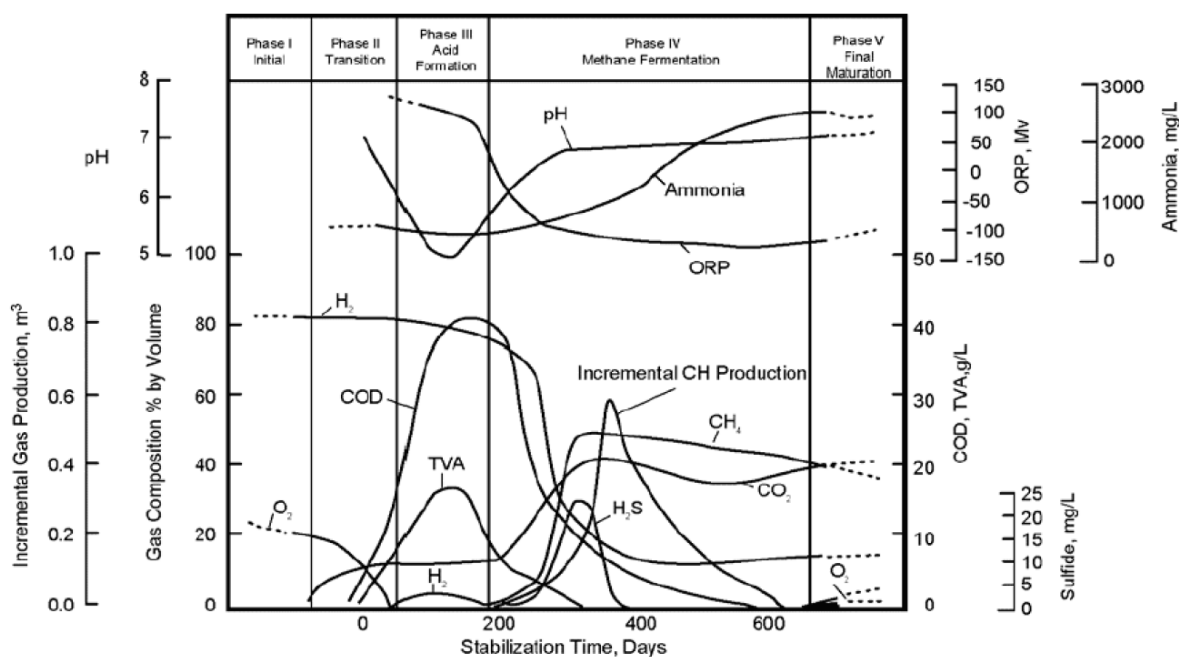
A régi települési hulladéklerakók túlnyomó része nem rendelkezik aljzatszigeteléssel, valamint csurgalékvíz és depóniagáz gyűjtő rendszerekkel. Ily módon, a lerakóban végbemenő folyamatok révén keletkező és kiszivárgó depóniagáz, ill. csurgalékvíz nagy veszélyt jelenthet a környezetre. A régi lerakók környezetszennyező hatásának csökkentésére, valamint a benne lévő szervesanyag lebontásának meggyorsítása érdekében különböző aerob stabilizálási megoldásokat dolgoztak ki. A levegőztetés hatására a lerakóban kialakult anaerob környezetet egy aerob lebontás váltja fel. Az aerob folyamat során a szerves összetevők vízzé és széndioxiddá alakulnak, elkerülve így a metán és más szagmissziós komponensek képződését. A csurgalékvíz minősége is változik az aerob kezelés során, pl. TOC, BOI<sub>5</sub>, KOI és NH<sub>4</sub><sup>+</sup> értékei csökkennek. Az aerob lebontás sokkal gyorsabb, mint az anaerob, így a biológiailag stabil állapot rövidebb idő alatt érhető el.

Ezen tanulmányban bemutatásra kerülnek a különböző aerob hulladéklerakó stabilizálási eljárások, a levegőztetés hatása a különböző lebomlási paraméterekre, valamint a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében összeállított hulladéklerakó hosszú távú modellezési vizsgálat.

## 2. Hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok

A települési szilárd hulladéklerakókban lejátszódó folyamatok öt szakaszra bonthatók. Az első a *kezdeti fázis*, amely egy rövid ideig tartó aerob szakasz, amikor is az aerob mikroorganizmusok lebontják a települési hulladékban lévő szerves összetevőket. A lebontás hőmérsékletnövekedéssel jár, a végtermékei elsősorban a szén-dioxid, az ammónia és a víz. A második, az ún. *átmeneti szakasz*. Mivel az előző lépcsőben az aerob mikroorganizmusok elfogyasztják a lerakó térben rendelkezésre álló oxigént, így ebben a fázisban anaerob körülmények alakulnak ki. A nitrát és szulfát nitrogén gázzá és hidrogén-szulfiddá alakul át a biokémiai reakciók során. Az anaerob környezet kezdete a hulladék oxidációs/redukációs potenciál mérésével határozható meg [1]. A képződő csurgalékvíz pH értéke

csökken a magas koncentrációjú széndioxid és a szerves savak jelenléte következtében (KOI értéke és az összes illó sav értéke nő [2]) [1]. A harmadik a *savas fázis*, melyben két fő reakció játszódik le. Az egyik a hidrolízis, ahol a nagyobb molekulatömegű komponensek (pl. fehérjék, poliszacharidok, zsírok és nukleinsavak) alakulnak át olyan komponenssé, mely a mikroorganizmusok számára energiaforrásként szolgál. A második fő reakció az acidogenezis, ahol pedig az előző folyamat termékei alakulnak át kisebb molekulatömegű komponensekké (pl. ecetsav). A csurgalékvíz pH értéke csökken, a BOI<sub>5</sub>, KOI és a vezetőképesség értéke nő a szerves savak oldódása következtében. Számos szerves alkotó, főként a nehézfémek oldhatóvá válnak a csurgalékvíz alacsony pH-jának köszönhetően [1]. A negyedik szakasz a *metán fermentációs fázis*. Ebben a szakaszban az ecetsavból és hidrogén gázból metán és széndioxid képződik. A pH érték a semleges tartomány körül mozog, csökken a csurgalékvíz KOI és BOI<sub>5</sub> értéke, illetve a nehézfém koncentrációja. Végezetül a *metánogenezis (érés) szakasz* következik miután a bontható szerves összetevők átalakultak metánná és széndioxiddá. A depóniagáz termelődés fokozatosan csökken, mivel a legtöbb tápanyag távozott a csurgalékvízzel a metanogén fázis alatt, a maradék szubsztrát pedig már lassan bontható. Az érési fázis során a csurgalékvíz huminsavat és fulvosavat tartalmaz, mely biológiailag nehezen kezelhető [1]. Bár a metántermelődés csökken, a biológiailag lassan bomló összetevőkből (pl.: cellulóz alapú szerves hulladékok, mint fa, papír) évtizedeken át termelődik metán.



1. ábra: Szilárd települési hulladéklerakóban végbemenő folyamatok [2]

### 3. Aerob stabilizálási eljárások

#### *Alacsony nyomású levegőztetés*

Az alacsony nyomású, in-situ megoldást alkalmazzák a lerakók többségénél a hulladék biológiai stabilizálásának gyorsítása céljából. A pozitív nyomáskülönbség nem haladja meg a 0,3 bar-t

(általában 20-80 mbar közötti érték) [3]. Ezen módszeren belül számos különböző variáció került kidolgozásra.

### 3.1. Aktív levegőztetés gázelszívással, illetve gázelszívás nélkül

Az alacsony nyomású levegőztetés többségénél a levegőztetés és elszívás egyidejű üzeme működik. A legtöbb alkalmazás alapjául szolgálnak a következő koncepciók: AEROflott, AIRFLOW, Smell-Well [3]. Függőleges gázkút rendszeren keresztül a környezeti levegőt folyamatosan vezetik be a lerakó testbe. Ezzel egy időben gázelszívás történik szintén gázkutakon át egy gáztisztító rendszerbe. Az egyidejű levegőellátás és extrakciós rendszer előnye pl. az, hogy a levegő bevezethető az oxigén hiányos zónákba, illetve a levegő áramlása a hulladékban befolyásolható a megfelelően elhelyezett ellátó és elszívó kutak megválasztásával. Az alacsony nyomású levegőztetés és gázelszívási koncepciók közötti különbséget a végső gázkezelési eljárás adja, mely megvalósítható pl. a hatékonyabb termikus oxidációval (RTO-regenerative thermal oxidation) vagy a kevésbé hatékony biológiai kezeléssel.

A Smell-Well eljárás alacsony és magas nyomás mellett is alkalmazható. A módszert a lerakó fejtést megelőzően az anaerob környezet aerob környezetté alakítására dolgozták ki [4].

A levegőztetés az aktív gáz extrakciós rendszer egyidejű üzeme nélkül is megvalósítható. Ekkor a lerakó takarása szolgálhat biológiai szűrő réteggént, vagy eredeti állapotában, vagy pedig a biológiai metán-oxidáló képességének növelését követően [3]. Az egyidejű extrakció és gázkezelés hiányának hátránya, hogy jelentősen alacsonyabb emisszió csökkenést eredményezhet.

### 3.2. Passzív levegőztetés (air venting)

A passzív levegőztetés koncepció alapja a levegőszellőztetés (azaz környezeti levegő bevezetése a lerakóba annak felületén át vagy nyitott gáz kutakon keresztül) a hulladéklerakó belsejében létrejövő negatív nyomás révén. A gázkutakat csak a mélyebb hulladék rétegekben perforálják annak érdekében, hogy növeljék a hulladék térfogatot, melyre a levegőztetés hatással van, ill. elkerüljék a felszín közelében kialakuló rövid körforgást. A fokozatos levegőztetés érdekében, kiindulva a felszíntől és haladva a hulladéklerakó mélyebb rétegei felé, a kivonatolt gáz térfogat jelentősen magasabb, mint a hulladékból való gáztermelődés sebessége. A kivonatolt gázt biofilterben kezelik [3].

A passzív levegőztetés egyik megoldása a DepoPlus módszer, mely többszintű gázkutakat tartalmaz és magasabb szívó nyomást alkalmaz [4].

### 3.3. Energia önellátó, hosszú időtartamú levegőztetés

A rendszer az aktív kényszerlevegőztetés vége és a minősített metánoxidáló réteget tartalmazó végleges felszíni takarás kiépítése közötti átmeneti időszakban építhető ki [3]. Hosszú távú levegőztetés esetén alkalmazzák. Az energia önellátást a meglévő gázkutakra szerelt szél hajtotta szívókészülékek és szélkerék-hajtású pneumatikus pumpák biztosítják. A sűrített levegőt a meglévő gázkutakba vezetik, így a már stabilizált hulladéklerakó folyamatos oxigén ellátása biztosítható. Ezzel az önellátó levegőellátással hosszútávon megakadályozható a depónia gáz újbóli képződése.

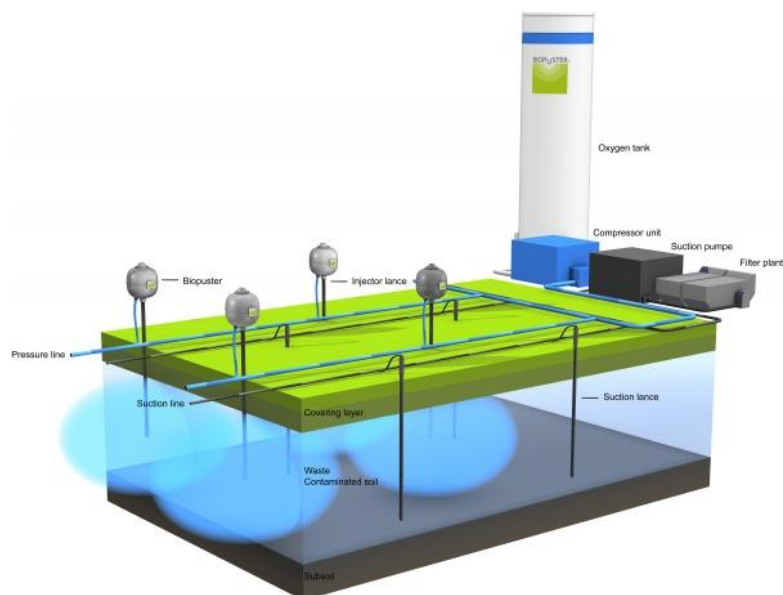
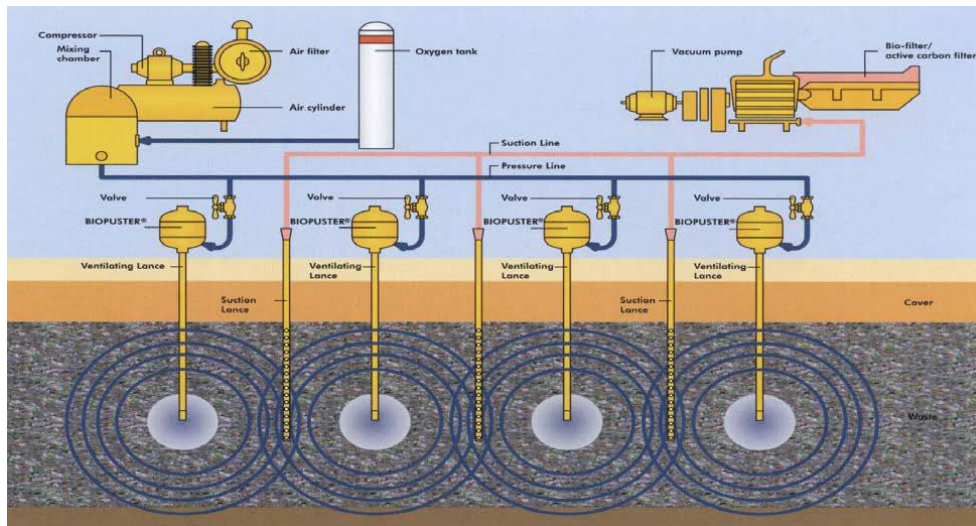
### 3.4. Magas nyomású levegőztetés

A nagy nyomású levegőztetést kezdetben a lerakó feltáró műveletek, illetve lerakó fejtés előtti metán és szag eltávolítására dolgozták ki.

A BIOPUSTER eljárás lehetővé teszi a levegő/oxigén keverék bejuttatását és egységes elosztását a lerakóba vagy szennyezett talajba, így biztosítva az aktív aerob mikroorganizmusok számára a megfelelő oxigén ellátást.

A BIOPUSTER eljárást (2. ábra), mely lökeshullámszerű rendszer, a levegő szakaszos, magas nyomáson történő bevezetésére dolgozták ki. Oxigén (oxigén koncentráció 35%-ig növelhető az oxigén/levegő keverékben [5]), ózon, víz vagy tápanyag bevezetésére irányuló továbbfejlesztésekkel a módszer nagyon hatékonyan alkalmazható in-situ hulladékkezelésre [6]. A levegőt kompresszorba vezetik. Az előállított nyomás 3-6 bar [5]. Ideiglenes tárolóval biztosítják a sűrített levegő állandó ellátását. A levegő a tárolóba jutás előtt mikro-szűrőn és víz szeparátoron halad át a szennyezők (por, mikro-szemcsék) és a víz leválasztása érdekében. Keverő tartályban történik a folyékony oxigén bekeverése. A legfontosabb része ennek a módszernek a speciális kialakítású nyomás tartály az ún. BIOPUSTER, melyen keresztül a pulzáló levegőztetés történik. A gáz keverék egy elosztó rendszeren keresztül ezekbe a BIOPUSTER-ekbe jut, majd a lándzsán keresztül a lerakó testbe. A BIOPUSTER rozsdamentes acélból készül, speciális befecskendező szeleppel ellátott, mely hirtelen nyílik, s melyen keresztül a levegő-oxigén gáz bepenetrál a lerakótestbe. A gázkeverék kilépve a lándzsából gömb alakú hullámokban terjed, közel hangsebességgel. Ezáltal mind a lazább, mind a tömörebb területek átlevégőztethetők. Az eljárás szabályozott (előre meghatározott levegő térfogat, időtartam, nyomófej). Az injektálás mellett folyamatos elszívó hálózat is működik. Az elszívó rendszer kapacitása 30%-al nagyobb, mint a levegőztető rendszeré, így elkerülhető az ellenőrizetlen emisszió. Az elszívó lándzsák elszívó csövekhez, ill. vákuumpumpához kapcsolódnak. Mivel a kilépő depóniagáz gyúlékony komponenseket tartalmazhat, ezért az egész elszívó hálózatot ennek alapján kell megtervezni.

A depóniagázt biofilterben vagy aktív szén-szűrőn tisztítják [6, 7].



**2. ábra: BIOPUSTER eljárás vázlata oldalnézetben (felül) és 3D-ben (alul) [5,7]**

A fent ismertetett stabilizálási koncepciók alkalmazása a stabilizálás céljától függ. Így például a hulladéklerakó megbontása esetén a stabilizáció célja a rövid időtartamú levegőztetés a szag és metán koncentráció minimalizálása érdekében, így ez esetben a magas nyomású eljárás jelent megoldást. A hosszú távú veszélyforrások (metán akkumulációja) megakadályozására a passzív levegőztetés vagy levegő szellőztetés előnyös, míg a hulladék szerves frakciójának gyorsított biológiai stabilizálása tekintetében az alacsony nyomású levegőztetés a legmegfelelőbb. Ezt a megoldást 3-10 éves folyamatos üzemre tervezik [3].

#### 4. Az aerob levegőztetés hatása a hulladéklerakóban végbemenő folyamatokra

A levegőztetés hatására a kialakult anaerob környezet átalakul, és aerob folyamatok indulnak be, amely hatására felgyorsul a biológiailag bontható szerves komponensek lebontása, valamint a hulladék konszolidációja is. Az aerob stabilizálás végén a szerves alkotók nehezen-, vagy nem bonthatóvá válnak nagyon alacsony gázleadó képességgel [8,9].

Az aerob levegőztetés jelentős változást okoz a csurgalékvíz összetételében is. A KOI, a BOI<sub>5</sub> illetve az összes nitrogén (TKN, NH<sub>4</sub>-N) értékeiben is hamarabbi csökkenés tapasztalható. A csurgalékvíz utógondozási fázisának költségei szintén jelentősen csökkenthetők az aerob levegőztetéssel [9].

A felgyorsult szerves anyag lebontásának hatására megnő a CO<sub>2</sub> képződési sebessége. A metán-képződés, amely az anaerob folyamatok eredménye, megakadályozható vagy csökkenthető. (Ennek hatására pl. alacsonyabb robbanás veszély és alacsonyabb költségek érhetők el a hosszú-távú gáztisztítás vonatkozásában) [8].

#### 5. Kísérleti modell vizsgálat összeállítása

A Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében hulladéklerakó modellezésére irányuló vizsgálatok folynak. A kísérlet során friss települési hulladék bonthatóságát, stabilizálását vizsgáljuk egy kényszer levegőztetett aerob, illetve egy levegőztetés nélküli, a lerakót szimuláló reaktorban. A kísérlet célja az aerob és az oxigénben szegény környezet hatásának összehasonlítása a szerves hulladékok lebomlására.



3. ábra: Laboratóriumi kísérleti berendezés

A települési hulladékot az AVE Miskolc Kft. biztosította az Egyetem részére. Reaktorba ( 2db 1 m<sup>3</sup>-es tartályreaktor, 3. ábra) mintavételt és homogenizálást követően került behelyezésre a szilárd hulladék. A hulladék tetejét fóliával, valamint kavicsréteggel takartuk. A fóliát kilyukasztattuk a gyakorlati átlagos hibahelyek számát figyelembe véve. Az aerob reaktorban a levegőztetés perforált, függőleges PVC részcsőveken keresztül történt kompresszor segítségével, napi négy órában.



A stabilizálási folyamat nyomon követésére és a két rendszer összehasonlítása céljából mérjük a hőmérsékletet, a távozó gáz összetételét és a levett csurgalékvíz kémiai paramétereit.

A kísérlet eredményeit egy következő tanulmányban ismertetjük.

### **Köszönetnyilvánítás**

*"A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg"*

### **Felhasznált irodalom**

- [1.] M. A. Warith: Solid Waste Management: New Trends in Landfill Design, Emirates Journal for Engineering Research, 8 (1), p. 61-70, 2003
- [2.] M.C. Zanetti: Aerobic Stabilization of Old MSW Landfills, American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (4), p. 393-398, 2008
- [3.] M. Ritzkowski, R. Stegmann: Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings, Waste Management 32, p. 1411–1419, 2012
- [4.] Feasibility study sustainable emission reduction at the existing landfills Kragge and Wieringermeer in the Netherlands, Generic report: Processes in the waste body and overview enhancing technical measures, Dutch Sustainable Landfill Foundation, 20 March 2009, Final Report
- [5.] [www.biopuster.at](http://www.biopuster.at)
- [6.] Yuichi Motonaga et al.: In-situ treatment of landfill material by means of simulated aeration
- [7.] <http://www.steedcanada.ca/Docs/2012BIOPUSTER.pdf>
- [8.] K.-U. Heyer, K. Hupe, A. Koop and R. Stegmann, Aerobic in situ stabilisation of landfills in the closure and aftercare period, Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3 - 7 October 2005
- [9.] K.-U. Heyer, K. Hupe, M. Ritzkowski, R. Stegmann: Pollutant release and pollutant reduction – Impact of the aeration of landfills, Waste Management 25, p. 353–359, 2005

## SAVAS, NEHÉZFÉM TARTALMÚ BÁNYAVIZEK KÖRNYEZETI HATÁSAI ÉS KEZELÉSE

Dr. Takács János

A bányászati tevékenységek, különösen az ércbányászat, a felszínalatti vizek minőségét erőteljesen megváltoztathatja. Következésképpen a lejátszódó természetes kémiai folyamatok hatására a víz savasodása következhet be. A savas víz pedig hajlamosabb a nehézfémek oldására. Ha ez a savas, nehézfém tartalmú víz a táplálékláncba jut, a legfontosabb vízminőségi kérdés a következő:

Milyen, és mennyi a mérgező fémtartalom. Általában a szennyvizek kis, mg/l-es koncentrációban tartalmazzák ezt a veszélyes anyagot, amely azonban az élő szervezetekben megkötődik, akkumulálódik (bioakkumuláció). Ezáltal a szervezet megnövekedett nehézfém tartalma károsan befolyásolja a szervezetet, annak működését.

### 1. A nehézfémek előfordulása a természetben, hatásaik

Hatásuk megismerése érdekében először meg kell ismerni azok előfordulásukat, mozgásukat, mobilizálhatóságukat, illetve lehetséges módosulásait, vegyületeiket, a környezeti rendszerben uralkodó oldhatósági, ionerősségi, pH valamint oxidációs–redukációs viszonyukat.

A külső földburok 95%-a (a 90-ből) természetben előforduló elemből áll (oxigén: 46,6%, Si 27,7%, Al 8,1%, Fe 5%, Ca 3,6%, Na 2,9%). A környezetre veszélyes anyagok közül e listán csak az Al található. Az ásványokban és a talajban kémiaiilag kötött és csak az extrém savas eső hozza oldott, mérgező formába.

A többi elem (86) a földburok 5%-át adja. Az érc előfordulásokat kivéve a természetben nagyon kis koncentrációban található, nem jelentenek veszélyt az élővilágra. Az előfordulásoknál viszont a határértéküket túlléphetik a vízben, talajban, növényekben.

A nehézfém tartalom alakulása a különböző talajtípusoknál a szakirodalmak szerint [5] a következő értékekkel jellemezhető (1. táblázat).

Ultrabázisos ásványok mg/kg szárazanyag	Bazalt mg/kg szárazanyag	Gránit mg/kg szárazanyag	Pala mg/kg szárazanyag	Mészkö mg/kg szárazanyag
Cr: 1600	Cr 170	Pb: 14	As: 13	Mn: 1100
Mn: 1020	Mn: 1500		Se: 0,6	
Ni: 2000	Ni: 130		Cd: 0,3	
Zn: 105			Sn: 6	
Ca: 0,22			At: 1,5	
Pb: 6			Hg: 0,4	
			Th: 1,4	
			Pb: 20	

1. táblázat: A különböző talajtípusok, kőzetek átlagos nehézfém tartalmai

Az ércekben ehhez viszonyítva sokkal nagyobb koncentrációban fordulnak elő, amelyek már gazdaságosan kinyerhetők, felhasználhatók. Ilyen fémelőfordulást, felhasználást az ókorban is feljegyeztek (Réz: Egyiptom, Sumér; Bróm: Babilon; Vas: Hettiták).

Az ércből a fémeket soklépcsős technológiával nyerhetik ki. Ez az előkészítési technológia, (nagy energia igény: villamos energia, foszilis tüzelők; környezetkárosítás: klímaváltozás, erdőpusztulás) illetve a nem megfelelő használat, a nehézfém hulladék nem megfelelő kezelése lehet okozója a környezet biotikus alkotóinak erőteljes károsodásának az abiotikus alkotóinak (víz, talaj, levegő) erőteljes minőség romlása következtében.

Az élőszervezetben betöltött szerepe szerint a nehézfémeket két csoportra oszthatjuk. Az egyik és legfontosabb csoport az esszenciális elemek csoportja, melyek kis mennyiségben szükségesek az életfunkciókhoz, de nagyobb mennyiségben már károsak. Az esszenciális elemek hiánya okozta problémák tartalmazza a 2. táblázat, míg a 3. táblázatban az ajánlott napi felvétel mértéke látható.

Elemek neve	Hiánybetegség
Króm	Cukorbetegség; artériaszklerózis, növekedési zavar, szemlencse zavarosság;
Kobalt	Vérszegénység, nukleinsavszintézis kimaradás;
Vas	Oxidációs zavarok, energia termelés leállás, Oxigén ellátási zavarok, hemolízis (a hemoglobin kioldódása a vörösvértestből), Zsírperoxid képződés;
Jód	Széleskörű károsodás, golyva;
Réz	Légzés blokkolása, pigment képződési zavar (fehér haj), redoxrendszeri zavar, stb.;
Mangán	Karbamid (vizelet anyag) képződés leállása, a citromsavciklus hatástalanná válása;
Molibdén	Zsirsavképződési zavar, a purin oxidációjának leállása;
Nikkel	A vizelet anyagainak kiválasztása szünetel,
Szelén	Lipidperoxidáció, hemolízis;
Cink	Az anyagcsere-, és termék anyagainak elhalmozódása, a protein szintézis kimaradása, izomkárosodás laktán miatt, a citromsavciklus leállása, savtermékek kóros elszaporodása;
Ón	Az enzimek általi kiválasztás kimaradása;

2. táblázat: Az esszenciális nehézfémek hiánya következtében fellépő betegségek

Elemek neve	Ajánlott napi felvétel mg/nap
Kálium	2000 - 5500
Nátrium	1100 - 3300
Kalcium	800 - 1200
Magnézium	350 -400
Vas	10; 18
Cink	15
Mangán	2,5 - 5
Réz	2 - 3
Molibdén	0,15 -0,5
Króm	0,05 – 0,2
Szelén	0,05 – 0,2

3. ábra: A különböző fémek ajánlott napi felvétele

A nehézfémek másik csoportja az amelyek már minimális mennyiségben is egészségkárosodást okoznak. Az egészségkárosodás lehet akut illetve krónikus.

### **Akut fém-mérgezés**

A nehézfémek okozta akut mérgezések, egyszeri nagyobb dózis szervezetbe jutásának eredménye. Aránylag ritkán fordul elő, relatív gyakori tallium, lítium és vas(II) esetében. Hatásukat a periódusos rendszerben való besorolásuk helye jellemzi (4. táblázat)

Helye a periódusos rendszerben	Hatás erősségi sorrend
I A	Na < K < Rb < Cs
II A	Mg < Ca < Sr < Ba
I B	Cu < Ag < Au
II B	Zn < Cd < Hg
III B	Al < Ga < In < Tl

4. táblázat: A különböző fémek hatásának alakulása a periódusos rendszerbe való besorolás függvényében

A 6. periódusban található fémek (Pb, Hg, Tl) a potenciálisan legmérgezőbbek, szerencsére rosszul oldódnak vízben, viszont sóik annál inkább oldhatóak.

A legfontosabb mérgezést befolyásoló tényezők:

- a gyomor és bélrendszerből való kiválasztás módja,
- a fémek illetve vegyületeinek szemcsemérete, oxidáltsági foka, az ionok disszociációs állandója,
- a szervezetbe való elosztódás mértéke,
- a szervezetben lejátszódó mechanizmusok (adszorpció, szétosztódás, átalakulások, kiválasztódás stb.),
- a szervezet terheltsége (fémkoncentráció a szervezetben),
- a szervezet, testfolyadék pH-ja,
- a fém ligandum- és kelátképző hajlama,
- a különböző fémek és egyéb szennyezők egymásra gyakorolt hatása (toxicitás erősítés, gyengítés). Stb.

Legfontosabb akut fém-mérgezési tünetek:

- Gastroenterális tünetek: hasmenés, székrekedés, gyomorfájás, az anyagcsere körfolyam szétesése (arzen- és cinkmérgezés),
- Légzőszervi problémák: tüdő ödéma (Cd-oxid, Zn-klorid), fémláz,
- Szív problémák: alacsony vérnyomás, sokk, rendszertelen szívverés, ritmus zavar,
- Központi idegrendszer károsodása: görcsök, kóma, halál,
- Vesekárosodás,
- Vér- és vérképzőszervek károsodása (arzenhidrogén, Cu-sók stb.).

### **Krónikus fém-mérgezés**

A krónikus fémmérgezés ismételt, hosszú időn át tartó kiskoncentrációban történő fémfelvétel következménye, a mérgező anyag fokozatos akkumulálódásának, és az akkumulálódott káros

anyagok összehatásának következménye. A káros hatások a szennyezett környezeti elemek által következnek be, amelyek a fémionok szervezetben belüli fiziológiai és biokémiai folyamatainak (proteinek, peptidek károsodása, enzimatis reakciók, elektrolit-egyensúly zavar stb.) eredménye.

A mérgezést elsősorban a ható kis koncentráció mértéke, a behatás ideje befolyásolja az akut mérgezést is befolyásoló tényezők mellett. A fontosabb tüneteket három nagy csoportba sorolhatjuk:

1. Lokális hatások, melyek a behatás (felvétel) helyén (bőr, orr, szem, száj, gyomor, bél, tüdő) okozott elváltozások.
  - Bőr felületen: - fekély (kromátok, arzén vegyületek)  
- ekcéma (Ni, Cr, As, Be, Vd)  
- bőrgyulladás  
- szaruhártya gyulladás  
- elszíneződés
  - Orr, száj: nyálkahártya gyulladás, kiszáradás
  - Tüdő: - légzőút megbetegedés (Cr)  
- táguat (Cd)  
- bronhitisz (Vd)  
- rák (As, Cr, Ni)
2. Szervi megbetegedések, elváltozások:
  - Gyomor, bél: - hasmenés  
- szorulás,  
- étvágytalanság,  
- görcsök
  - Máj: funkció zavarok (As, Cr, Fe, Cu, Mn, Se)
  - Vese: funkció, kiválasztási zavar (Cd, Pb, U, Au, Bi)
  - Vértérszerv megbetegedés (As, Pb)
  - Szív, érrendszeri problémák, vérnyomás növekedés (As, Bi, Pb, Cd)
3. Idegrendszeri hatás:  
Gyengeség, fejfájás, koncentráció képesség csökkenés, hiperaktivitás, intelligencia-zavar, parkinson-kor, beszédzavar, emlékezőképesség - csökkenés, labilitás, álmatlanság, fáradtság, koordinációs zavar, látás zavar, depresszió (As, Pb, Mn, Hg, Se, organikus fémvegyületek, stb.)
4. Potenciálisan rákkeltő fémek illetve vegyületeik: Cd, Cr, Ni, As, Cr(VI), Be stb.

A különböző nehézfémek a talajból, a különböző kőzetekből, ércekből közvetlen kioldódással, vagy a növények általi felvétel következményeként bekerülhet a vízbe, vagy a szilárd táplálékba. Az ipari tevékenységek, a bányászat, ércdúsítás következtében a keletkező szennyvizek tartalmazhatják egészségre veszélyes koncentrációba, amelyhez hozzájárulnak a fémfeldolgozáshoz (felületkezelés, galvanizálás stb.) illetve fémcsapadék felhasznáshoz kapcsolódó ipari technológiák. A keletkező szennyvizet a környezet és az élővilág védelme miatt kellő mértékben, legalább a határérték alatti fémtartalomig tisztítani kell, a nehézfém ionokat a vízből el kell távolítani.

## 2. A nehézfémek vízből való leválasztásának módjai

A nehézfém tartalmú vizek kezelésére több módszer áll rendelkezésre, amelyek röviden összefoglalva a következők:

- A fémionok kicsapítása nem vagy csak nagyon nehezen oldódó fém vegyület formájában, amelyet, mint „szilárd” csapadékot fázisszétválasztással a víztől le lehet választani;
- A fémionok leválasztása egy felületaktív anyaggal, adszorpcióval;
- A fémionok visszatartása koncentrációja a szennyvíz mennyiségének töredékében membrán eljárással, melyet ezután az első két módszer valamelyikével tovább kell kezelni.

### 2.1. A nehézfémek leválasztása kicsapítás segítségével

A nehézfémek kicsapásának több módja lehetséges, attól függően, hogy milyen vegyületet használunk fel nehezen oldódó fémvegyület előállítására.

#### 2.1.1. Semlegesítő kicsapítás

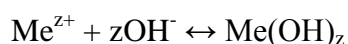
A nehézfémek egyik fontos jellemzője, hogy van olyan pH érték, tartomány, amelynél a nehézfém a hozzáadott pH kezelő vegyszertől függően nehezen oldódó fémhidroxid, vagy bázikus só formájában kicsapódik, leválaszthatóvá válik. A kicsapítás legfontosabb követelményei:

- Pontos meg kell határozni a kicsapási pH értékrét, amely többek között a szennyvíz nehézfém tartalmától, a nehézfémek számától, koncentrációjától, sótartalmától, hőmérsékletétől, a keletkező csapadék leválasztásának módjától függ. Ezt segíthetik a szakirodalomban található adatok, de célszerű laboratóriumi kísérletben leellenőrizni. Különösen igaz ez több típusú nehézfém szennyezés esetén.
- Jól kell kiválasztani a kicsapó vegyszert az oldhatóság, a csapadék leválaszthatóságának figyelembevételével. Törekedni kell arra, hogy a választott vegyszer a lehető legkisebb másodlagos szennyezést okozza a kezelt víznél.

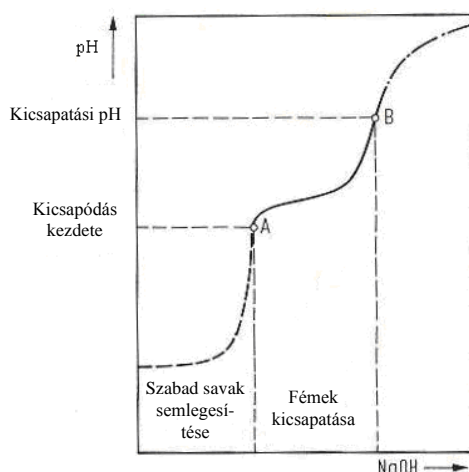
A leggyakrabban alkalmazott kicsapószer a  $MgCO_3$ ,  $MgO$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $CaO$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $NaOH$  illetve  $Na_2CO_3$ . A kicsapítás folyamata két lépcsős. Először megtörténik a szabad savak közömbösítése, majd ezután kezdődik és megy végbe a nehézfém kicsapódása pl. az alábbi egyenletek szerint:



illetve:



Az 1. ábrában  $NaOH$  kicsapószer alkalmazásával a nehézfém tartalmú szennyvíz pH értékének alakulása látható savas szennyvizet feltételezve. Természetesen a lefutás jellege más semlegesítő kicsapószerrel hasonló. A szakirodalomból [1] merített függvényben jól látható a savak semlegesítése után megindul a nehézfém kicsapódása, amely az optimális pH értéknél fejeződik be.



1. ábra: A pH változás jellege a semlegesítő kicsapásnál, NaOH felhasználásával

Az 5. táblázatban a különböző nehézfémek (a bányavizek és nehézfém tartalmú szennyvizek ezeket a nehézfémeket tartalmazzák leggyakrabban) kicsapódásához szükséges pH tartományok láthatók néhány kicsapó vegyszernél.

pH	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pb <sup>++</sup> < 0,5 mg/l						Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Cd <sup>++</sup> < 0,2 mg/l							Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Ni <sup>++</sup> < 0,5 mg/l								Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Zn <sup>++</sup> < 2,0 mg/l							Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Fe <sup>++</sup> < 3,0 mg/l							Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Cu <sup>++</sup> < 0,5 mg/l							Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Cr <sup>+++</sup> < 0,5 mg/l							Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Al <sup>+++</sup> < 3,0 mg/l				Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Sn <sup>++</sup> < 2,0 mg/l			Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
Fe <sup>+++</sup> < 3,0 mg/l		Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
pH	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Kicsapási pH tartomány NaOH-val  
 Kicsapási pH tartomány Ca(OH)<sub>2</sub>-vel  
 Kicsapási pH tartomány Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-mal

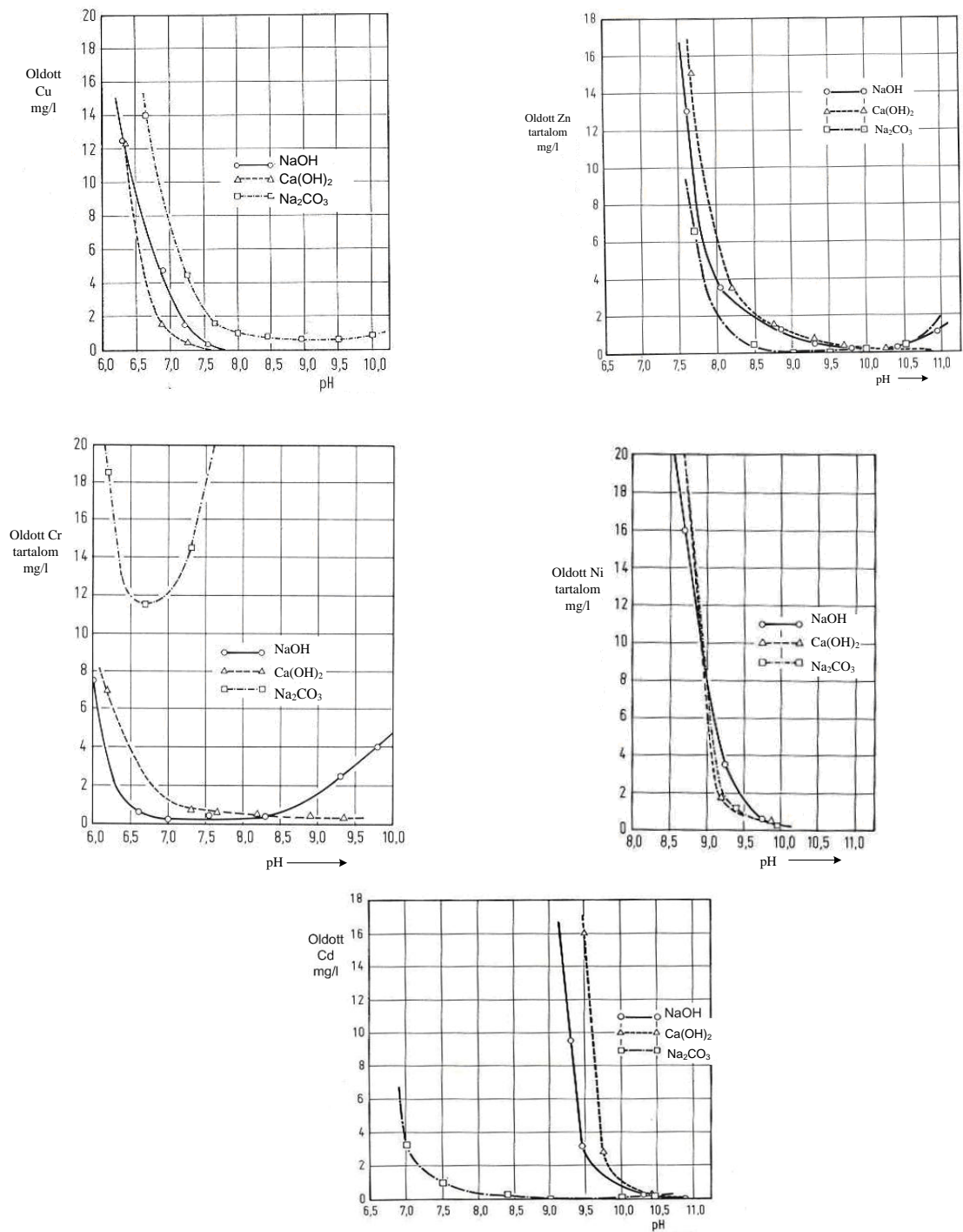
5. táblázat: A leggyakrabban előforduló nehézfém tartalmának kicsapási pH tartományai különböző szerek alkalmazásánál

A táblázathoz meg kell jegyezni, hogy amennyiben egyszerre több nehézfém van jelen a vízben a kicsapás pH tartománya eltolódik, legtöbb esetben a legmagasabb kicsapási pH a semleges pH érték felé mozdul el. Ezt minden esetben laboratóriumi méréssel igazolni kell.

A következő ábrákban (2.- 5. ábrák) néhány nehézfémre jellemző kicsapási függvény, a nehézfém oldhatósága látható a pH függvényében a L. Hartinger: Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik für die metallverarbeitende Industrie szakirodalom alapján. A kiindulási oldott nehézfém tartalom minden esetben 100 mg/l, és a reakció ideje 2 óra.

A nehézfémek egy része amfoter jellegű, savban és lúgban egyaránt jól oldódik. Ezeknél a kicsapás pH tartománya elég szűk, amire a szennyvíz kezelésekor oda kell figyelni.

Előfordulhat az is hogy bizonyos nehézfém az egyik kicsapószernél amfoter jellegű lesz, másíknál nem. Ez elsősorban a Cr-nál, Zn-nél figyelhető meg.



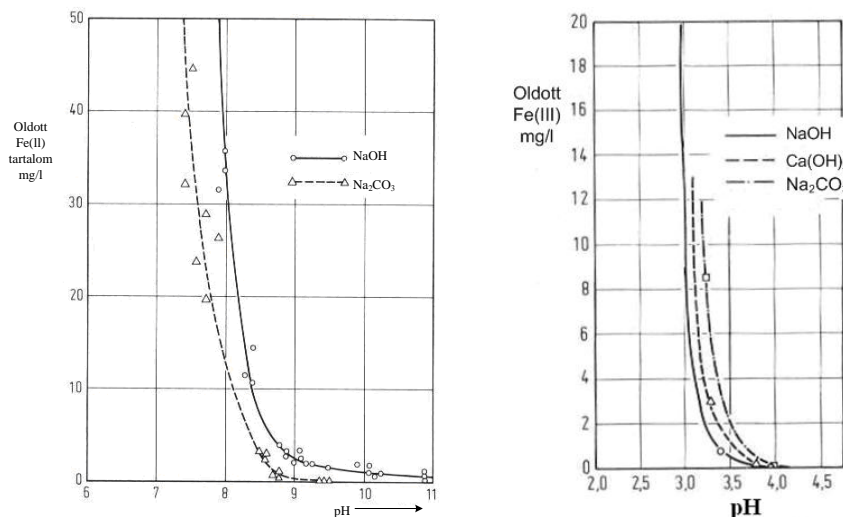
2. ábra: A Cu, Zn, Cr, Ni és a Cd oldhatósága a pH függvényében nátriumhidroxid, mész és szóda kicsapó szerekkkel történő kezelés mellett

A Cr kicsapathásához annyi még hozzátartozik, hogy amennyiben a Cr hat vegyértékű a vízben, a kicsapathás előtt Cr (III)-á kell redukálni.



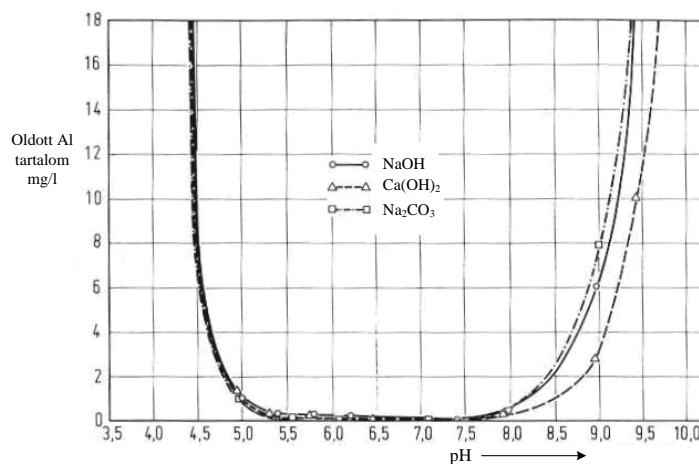
A 2. ábrában látható, hogy mennyire oda kell figyelni a kicsapó szer megválasztásánál, mert nagyon eltolódhat az optimális pH illetve az oldhatóság mértéke.

A 3. ábrában a leggyakoribb nehézfém a vas –ionok kicsapódására jellemző görbe látható, két és három vegyérték mellett. A két görbéből kitűnik, hogy az oxidáltsági fok mennyire befolyásolja a kicsapódás optimális pH értékét.

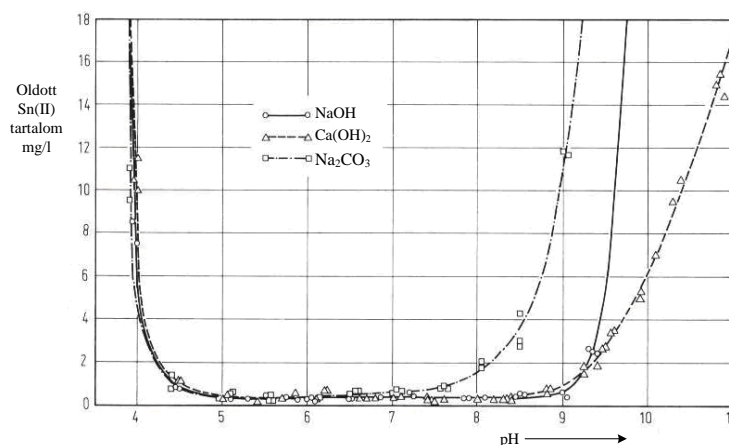


3. ábra: A Fe(II) és Fe(III) ionok oldhatósága a pH függvényében nátriumhidroxid, mész és szóda kicsapó szerekkel történő kezelés mellett

A 4. és 5. ábrában két erősen amfoter karakterű fém, az alumínium és a ón oldhatósága látható, amely szerint a pH kezelő vegyszer típusától kisebb mértékben függ a oldhatóság, mint az, az előző ábrákon, néhány nehézfémnél tapasztalható.



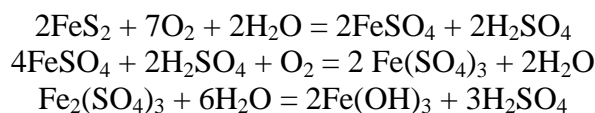
4. ábra: Az alumínium-ion oldhatósága a pH függvényében nátriumhidroxid, mész és szóda kicsapó szerekkel történő kezelés mellett



5. ábra: Az ón(II)-ion oldhatósága a pH függvényében nátriumhidroxid, mész és szóda kicsapó szerekkel történő kezelés mellett

Egy példa savas nehézfém tartalmú bányavíz kezelésére:

Az egyik ércbányában a jövesztés következtében erősen savas bányavíz keletkezett a következő módon. A szulfidos érc pirit tartalma a levegő oxigénjével oxidálódott és a víz segítségével beindult a savasodás:



A savas vízben a különböző nehézfém ionok oldódtak a sótartalom függvényében. Esetünkben a víz pH-ja 2,7 volt, míg a nehézfém tartalma: Fe: 220 mg/l, Zn: 140 mg/l, Cu: 3,6 mg/l. A felszínre került bányavizet a befogadóba engedni csak megfelelő kezelés után, a nehézfém tartalmát az előírt határérték alá csökkentve lehet. Az elvégzett laboratóriumi kísérletek eredményekből kitűnt, hogy a kicsapás optimális pH-ja a több nehézfém esetében mennyire megváltozott, hisz a szükséges határértéket 8,2 pH-nál elértük még a Cd esetében is, ahol a kicsapás utáni maradék oldott nehézfém tartalmak mg/l-ben: Fe: 0,1; Zn: 0,25; Cu: kimutathatósági határ alatt.

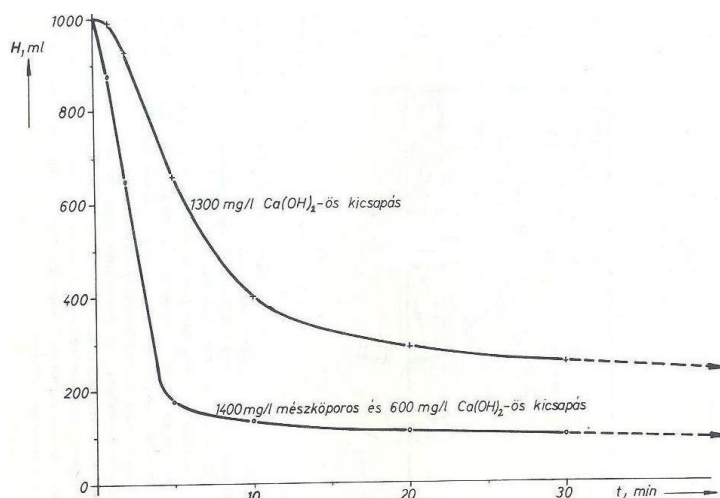
Az alábbi, 6. táblázatban a nehézfém tartalmú szennyvizek tisztítási határértékei találhatóak, amennyiben a tisztított vizet befogadóba vezetik. A határértékeket a labor kísérlet eredményeivel összevetve megállapítható, hogy a kicsapás NaOH-val, Ca(OH)<sub>2</sub>-vel és a CaCO<sub>3</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> együttes alkalmazásával egyaránt eredményesnek mondható.

Fe	Al	Cd	Cr(III)	Cr(VI)	Cu	Ni	Hg	Sn	Zn
10	3	0,1	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	2	2

6. táblázat: A tisztított szennyvíz nehézfém tartalmának kibocsátási határértékei mg/l-ben a 28/2004 (XII.25.) KvVM rendelet szerint

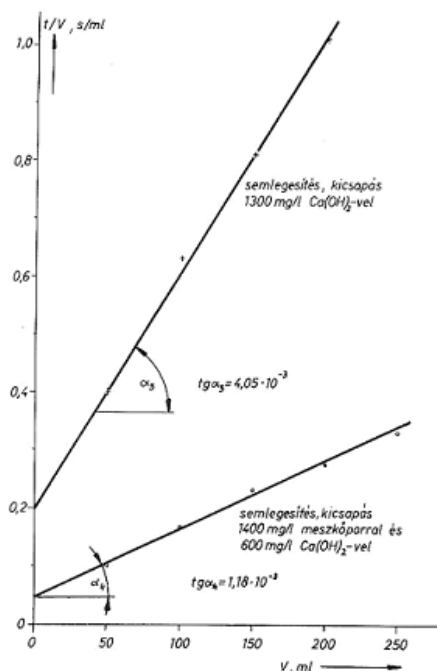
Az alábbi, 6 és 7. ábrák pedig bizonyítják, hogy a pH módosító szer típusa mennyire befolyásolja a keletkező fém vegyület csapadék, ülepítéssel illetve szűréssel történő leválasztását.

A 6. ábrából hiányzik a nátriumhidroxidos kicsapatást követő ülepítési kísérlet görbéje, de arról elmondható, hogy a félórás üledés után keletkező iszap térfogat a mésszel előálló iszaptérfogat duplája lett, tehát egy még kedvezőtlenebb állapothoz vezetett a fázisszétválasztás tekintetében.



6. ábra: A vegyes nehézfém tartalmú csapadék üledési görbéje a különböző pH kezelő vegyszer mellett történt kicsapatás után

A 7. ábra ugyanezeknek az iszapoknak a szűrési görbéit tartalmazza vákuumszűrést modellezve. Az ábrából itt is látható, hogy a pH módosító vegyszer típusa mennyire befolyásolja a fázisszétválasztás teljesítményét.



7. ábra: A vegyes nehézfém tartalmú csapadék szűrési görbéje a különböző pH kezelő vegyszer mellett történt kicsapatás után

A kísérletek eredményei azt is igazolták, hogy az optimális kicsapatási pH értékénél figyelembe kell venni a keletkező csapadék leválasztási módját is. Amennyiben ugyanis hosszabb időt igénylő üleptést választunk, a levegőből beoldódó CO<sub>2</sub> hatására bekövetkező egy-két tized pH csökkenés visszaoldódáshoz, határérték feletti nehézfém-ion tartalomhoz vezethet az elfolyó vízben.

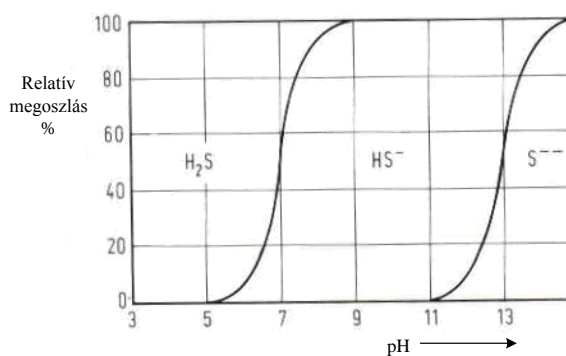
### 2.1.2. Szulfidos kicsapatás

Amennyiben a semlegesítő kicsapatás nem biztosítja a szükséges mértékű kicsapatást, úgy eredményesen alkalmazható a szulfidos kicsapatás, mivel a szulfid egy sor két vegyértékű nehézfémrel még nehezebben oldható csapadékot képez, mint azok hidroxidjai. Ez látható a 7. táblázatban.

Fém	Hidroxid		Szulfid	
	Képlete	Oldhatóság	Képlete	Oldhatóság
Ólom	Pb(OH) <sub>2</sub>	10 <sup>-7</sup> – 10 <sup>-13</sup>	PbS	3 * 10 <sup>-28</sup>
Kadmium	Cd(OH) <sub>2</sub>	1,3 * 10 <sup>-14</sup>	CdS	5,1 * 10 <sup>-29</sup>
Vas	Fe(OH) <sub>2</sub>	2 * 10 <sup>-15</sup>	FeS	3,7 * 10 <sup>-19</sup>
Réz	Cu(OH) <sub>2</sub>	2 * 10 <sup>-19</sup>	CuS	8 * 10 <sup>-45</sup>
Nikkel	Ni(OH) <sub>2</sub>	5,8 * 10 <sup>-15</sup>	NiS	1 * 10 <sup>-26</sup>
Cink	Zn(OH) <sub>2</sub>	4 * 10 <sup>-17</sup>	ZnS	6,9 * 10 <sup>-26</sup>
Ón	Sn(OH) <sub>2</sub>	6 * 10 <sup>-25</sup>	SnS	ca. 10 <sup>-20</sup>

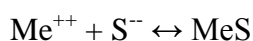
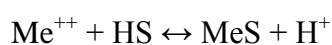
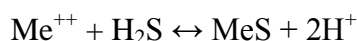
7. táblázat: A Fémhidroxidok és fémszulfidok oldhatóságának összehasonlítása

A szulfid a pH függvényében különböző formában található a vízben (8. ábra). Ennek



8. ábra: Kénhidrogén – hidrogénszulfid – szulfid egyensúly a pH függvényében

Megfelelően, a kicsapatás egyenletei, figyelembe véve a kénhidrogén – hidrogénszulfid – szulfid előfordulást, a következők:



A 8. ábrából, de az előző képletekből is jól látható, hogy a szulfidos kicsapatás savas, lúgos, és semleges pH tartományban lehetséges. A savas közegnek azonban van egy veszélye.

Ugyanis ebben a pH tartományban a szulfid kénhidrogénként van jelen, amely a vízből kilép, mint mérgező gáz, veszélyeztetve a környezetében levő élőlényeket.

Ennek kiküszöbölésére fejlesztették ki a *PreciPan* nevű vegyszer képes komplex vegyületben megfogni legtöbb nehézfém (Ag, Cd, Pb, Hg, Cu, Ni, Zn), és kicsapódást elősegíti, továbbá a Cr(VI)-ot kicsapítás előtt képes Cr(III)-á redukálni, valamint a ciánt, komplex, nem mérgező vegyületbe átalakítani. Előnye az is, hogy savas közegben megakadályozza a kénhidrogén gáz felszabadulását, kilépését a kezelt vízből. A *PreciPan* vegyszer a kísérletek, és ajánlás alapján, minden veszély nélkül alkalmas a nehézfémek kicsapására teljes pH tartományban. A kicsapítás közben keletkező csapadék jól pelyhesedik, a leválasztásához (ülepítésnél vagy szűrésnél) külön flokkulálószer felhasználására nincs szükség.

Amennyiben a kicsapítás mértéke a szulfid alkalmazásával sem biztosítja a kívánt határértéket, akkor még eredményesebben alkalmazhatók a nehézfémek kicsapására az ún. *Organoszulfidok* (szerves szulfid vegyületek, mint pl.: Tiokarbonsavak, Tioalkoholok, Tioéterek, Tioészterek). Hatásuk elsősorban Cu, Ni, Cd, Zn, Pb, Fe fémekre bizonyított a szakirodalom szerint [1]. Felhasználás előtt érdemes laboratóriumban a kicsapítás pH tartományát meghatározni, amely semleges és közepesen bázikus tartományban feltételezhető. A keletkező csapadékok jól ülepíthetők és szűrhetők.

### 2.1.3. Fémkomplex képzés

A fémkomplex képzés alkalmazása akkor biztosítja a nehézfém-ionok ártalmatlanítását, amikor a nehézfém csak nehezen illetve nem csapatható ki.

Egy kémiai reakció eredményeként a keletkező komplex vegyület egy központi ionból (fém-ionból) és a hozzákapcsolódó ionból, molekulából tevődik össze. A legfontosabb komplex képzők:

- Szervetlenek:
  - Hidroxil-ion,
  - Cianid-ion,
  - Ammónia,
  - Foszfát és különböző foszfát-ionok, stb.
- Szerves vegyületek:
  - Trietanolamin (TEA),
  - Etiléndiamin (EDA),
  - Etiléndiamintetraecetsav (EDTA),
  - Borsav,
  - Citromsav, stb.

A komplex képződés pH függő, a keletkező komplex vegyületek stabilak illetve csak nagyon minimális sebességgel disszociálnak, toxikusságuk éppen emiatt nem jellemző.

## 2.2 További eljárások a nehézfémek kinyerésére, ártalmatlanítására

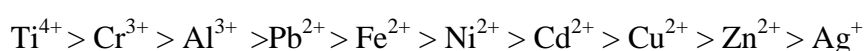
A kisebb, vagy nagy nehézfém koncentráció más módszerek, eljárások alkalmazását helyezi előtérbe, melyek röviden az alábbiakkal jellemezhetők:

### 2.2.1. Ioncsere

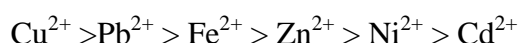
Az ioncsere egy reverzibilis szétválasztási folyamat, amikor is a nehézfém tartalmú vízből a műgyantán való átáramoltatás közben a nehézfém-ion a műgyanta egyik ionjával kicserélődik, annak helyére kerül a műgyantára. A tovább folyó víz fémtartalma ennek megfelelően jelentősen csökken.

Az ioncsere folyamata előtt a kezelendő vizet lebegőanyag tartalmától mentesíteni kell. A folyamatos ioncsere folyamat a műgyanta kimerülésével jár (nincs olyan ion, amely a fém-iont lecserélhetné), emiatt a műgyantát rendszeresen regenerálni kell.

A fém-ionok leválasztásánál kation-cserélő szükséges, amely lehet erősen vagy gyengén savas. Az erősen savas kation-cserélő ( $H^+$ -forma, azaz H-ionra cserélődik a nehézfém-ion) affinitási sora a nehézfémekre:



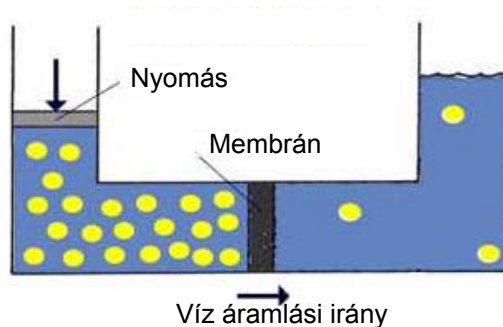
A gyengén savas kation-cserélők (COOH-forma) affinitási sora pedig:



Az ioncsere több nehézfém tartalom esetén nem alkalmas szelektív leválasztásra. A műgyanta regenerálásakor a leválasztott nehézfém tartalom nagy koncentrációval kis térfogatú folyadékban oldott anyagként jelentkezik. Bepárlással kinyerhető, vagy hasznosítható, illetve mint veszélyes hulladék elhelyezhető.

### 2.2.2. Membrán eljárás, fordított ozmózis

A nehézfém tartalmú vizek kezelésére a fordított ozmózis is alkalmazható. Ennek lényegét mutatja a 9. ábra.



9. ábra: A fordított ozmózis sémája

A nehézfém tartalmú vízből egy mechanikai nyomás hatására a tiszta víz egy féligáteresztő hártya túloldalára jut, míg a fém-ionok, vegyületek méretüknél fogva visszamaradnak, koncentrálnak. A szakirodalom szerint [1] a fém leválasztási hatások a különböző nehézfém esetén ( $Ag^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ) 94 – 99 %, míg a koncentrálnak mértéke. 3 – 10 % a szennyezőanyag függvényében.

A szükséges nyomás mértékét a membrán két oldalán található folyadék koncentráció különbsége következtében előálló ozmózisnyomás határozza meg. A szükséges nyomásnak ettől nagyobbak kell lenni, általában 8 - 100 bar közötti.

Ennél a módszernél is szükséges, hogy a kezelendő víz csak oldott anyagot tartalmazzon, illetve nem tartalmazhat olyan oldott anyagot sem, amely a folyamat közben kicsapódhat.

Ennek érdekében a vizet kezelés előtt több esetben gyengén savanyítják.

A koncentrátumból bepárlás segítségével a leválasztott nehézfém vagy fémek visszanyerhetőek.

### **2.2.3. Adszorpció**

Amennyiben a kezelendő víz relatív kis nehézfém koncentrációval (néhány mg/l) rendelkezik, eredményesen alkalmazható annak leválasztására az adszorpció folyamata.

Az eljárás lényege, hogy egy nagy fajlagos felületű (darabos vagy por formájú) szilárd anyag a felületén ébredő úgynevezett Van der Waals-erő hatására, az anyaghalmazon történő átáramlás közben a vízből ionokat, molekulákat tud megfogni. Legismertebb adszorbensek az aktívszén, aktívkoksz, aktivált Al-oxid.

Az adszorpció nem szelektív, egy időben több szennyezőanyag megkötése történik meg. Az adszorpció mértéke függ többek között a víz hőmérsékletétől, pH-jától, az átáramlás sebességétől, az adszorbens fajlagos felületétől, porozitásától. A gyakorlat szerint a szükséges kontaktidő 15 – 60 perc.

Az adszorpció egyik nehézfém leválasztására kikísérletezett fajtája a bioszorpció, amelynél az adszorbens élő, vagy szárított növényrész, amelyek jó adszorpciós kapacitással rendelkeznek.

A kimerült adszorbensek regenerálhatók, melynek során az adszorbeált anyag nagy koncentrációjú, kis térfogatú folyadékba jut. Bepárlással visszanyerhetőek, vagy kicsapatással és fázisszétválasztással leválaszthatók, és ártalmatlaníthatók.

### **3. Rövid értékelés, javaslat**

Az előző fejezetek szerint a savas fémionos bányavizek, valamint az ipari eredetű nehézfém-tartalmú szennyvizek hatásos kezelésére több lehetőség áll rendelkezésre. Ezek közül kell kiválasztani a megfelelő eljárást a víz térfogatárama, szennyezettsége, nehézfém-tartalma, a tisztítás szükséges mértéke figyelembevételével, valamint a szükséges költségek (beruházás, üzemvitel) mérlegelésével. Előfordulhat például, hogy két különböző kicsapatás szükséges a kívánt eredmény eléréséhez.

Saját kísérleti eredményeim alapján a nehézfém-tartalmú vizek kezelésére a kicsapatást ajánlom. Savas szennyvizek esetén  $\text{CaCO}_3$  porral és  $\text{Ca(OH)}_2$ -el, lúgos vizek esetén pedig  $\text{CO}_2$ -vel, illetve  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -el. Ezekben az esetekben a kicsapatás kismértékben vezet a víz másodlagos elszennyeződéséhez, a keletkezett csapadék pedig jól ülepedhető szűrhető. Kicsapatás után a szükséges fázisszétválasztásra kb.  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  térfogatáramig a közvetlen szűrést, e fölött pedig a statikus illetve kvázi statikus ülepedés javasolható. Az utóbbi esetben az ülepedés túlfolyása befogadóba engedhető, míg a keletkezett iszapot szűréssel vízteleníteni

kell. A keletkezett szűrőlepenyt pedig mint veszélyes hulladékot kell ártalmatlanítani vagy elhelyezni.

### **Köszönetnyilvánítás**

"A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg"

### **Felhasznált szakirodalmak:**

1. *L.Hartinger*: Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik für die metallverarbeitende Industrie; Carl Hanser Verlag München, Wien, 1991.; ISBN 3-446-15615-1
2. *Wischmeier-Bayer, Marianne,.....*: Schadstoffe im Wasser? Band 2. Schwermetalle und weitere Einzelparametern; Wissenschaftsladen Giessen e. V. (Hrsg) 1995.; ISBN 3-88864-083-0
3. *Vértes György*: Új szennyvíztisztítási módszerek a galvániparban; Kézirat, Ökoinform Kft. Budapest, 1991.
4. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band VII. Industrieabwasser mit anorganischen Inhaltstoffen; Herausgegeben von Abwassertechnischen Vereinigung e.V. in St. Augustin; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1985.
5. *Ernest Merian (Hrsg)*: Metalle in der Umwelt; Verteilung, Analytik und biologische Relevanz; Verlag Chemie, 1984.; ISBN 3-527-25817-5.
6. *G. Schwedt*: Toxikologisches Lexikon
7. *Szűcs P.; Sallai F.; Zákány B.; Madarász T.*: Vízkészletvédelem; A vízminőségvédelem aktuális kérdései; Bíbor Kiadó, Miskolc, 2009.; ISBN 978-963-9988-00-2
8. NME Ásványelőkészítési Tanszék: Cink-, vashidroxidos bányavíz-iszap gépi víztelenítése a recirkulációs vákuum dobszűrővel. Kutatási jelentés; Miskolc, 1980.
9. 28/2004 (XII.25.) KvVM rendelet.
10. *Horváth L., Takács J.*: Fémionos, savas bányavizek kezelése; Nehézipari Műszaki Egyetem közleményei I.sorozat, Bányászat, 31(1982) kötet 3-4 füzet, 245-259., Miskolc, 1982.
11. *Nándory Károly*: Ipari vízgazdálkodás 6. Gépipari üzemek vízgazdálkodása; Vízdok kiadó, Budapest, 1972.
12. *Schuster G., Brüggemann S., Höroldt U. Dr.*: Abwassertechnik in der Produktion; Weka Verlag Augsburg, 1996.
13. <http://www.panchemie.de/onair/index.php/pp-abwassertechnik/48-precipant-faq>



# ERŐMŰVEK CO<sub>2</sub> KIBOCSÁTÁS CSÖKKENTÉSE CCS TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSÁVAL

Reduction of CO<sub>2</sub> emission of power plants by application of CCS technologies  
Reduzierung des CO<sub>2</sub> Emission der Kraftwerken durch Verwendung von CCS Verfahrens

**Dr. Kapros Tibor**

## Abstract

The CO<sub>2</sub> contamination of the atmosphere is playing significant role at the global warming. More than 40% of the total emission is connected the operation of power plants. The producing of electricity by CO<sub>2</sub> free processes has stressed importance. Despite the increasing application of nuclear and renewed energy, the fossil fuels represent significant rata in long term period as well. The spreading of CCS technologies is unavoidable.

Although the references are operating reliably, the process of commercialization of these methods became somewhat slower. It is caused by the economic crises, and the high investment costs, but can be led back to the lack of suitable legislative background too. At present only cca 2,5 ‰ of CO<sub>2</sub> emitted by power plants is captured and stored. The paper introduces some newest realization including a new process for producing of hydrogen.

## Bevezetés

Földünk éghajlatát az utóbbi évtizedekben mind közvetlen hatásukat mind tendenciájukat tekintve kedvezőtlen változások jellemzik. A jelenségek magyarázata az üvegház jelenség kétségtelenül érvényesülő hatására összpontosul. Jóllehet a fenti hatás mértékének és ezen belül az emberi tevékenység szerepének megítélésében jelentős különbségek érzékelhetők. A globális melegedéshez vezető kedvezőtlen folyamatok tudatos cselekvéssel történő befolyásolására ugyanakkor korlátozottak a lehetőségeink. Erre érdemi mértékben az antropogén eredetű üvegházhatású gázok – mindenek előtt a széndioxid - kibocsátásának csökkentése ad módot.

Az emberi tevékenységhez kapcsolódó befolyásolható mértékű széndioxid termelése elsősorban a karbontartalmú anyagok tüzeléséhez kapcsolódik. Az erőműveknek ebben a tekintetben kiemelt szerepük van. Egyrészt a teljes széndioxid emisszió több mint 40%-t az erőművek bocsátják ki [1] és ez a mennyiség napjainkban már meghaladja a 12 Mrd t/év értéket [2]. Másrészt a CO<sub>2</sub> termelés és emisszió koncentráltan történik, ami lehetőséget ad a csökkentést eredményező technológiák elviselhető költségszint melletti alkalmazására.

## Erőművek széndioxid kibocsátása, várható tendenciák

Az erőművek széndioxid kibocsátását döntően határozza meg az alkalmazott primer energiaforrás. A villamos vagy hőenergia előállításánál alkalmazott technológia a fajlagos primer energiafogyasztáson

keresztül ugyancsak jelentősen befolyásolja az emisszió mértékét. A kibocsátás egyszerűsített vizsgálata az erőművekben közvetlenül jelentkező – a tüzelési folyamathoz kapcsolódó – emissziós adatok alapján történik. A tüzelőanyagok összehasonlítására azonban korrektebb információ nyerhető u.n. életciklus vizsgálattal, ahol a primer energiaforrás előállításával, szállításával, tüzelésre való alkalmassá tételével kapcsolatos járulékos emissziós értékek és az elektromos energia előállítás hatásfoka is figyelembe vételre kerül. Az 1. sz. táblázat néhány jellemző energia hordozó és erőműi technológia közvetlen és az életciklus alapján meghatározott CO<sub>2</sub> kibocsátási adatait tartalmazza a fűtőértékre ill. a termelt villamos energia egységére vetítve [3], [4] (a középső oszlopban MJ helyett az összehasonlíthatóság érdekében szerepel a GWh dimenzió).

Az erőművek üzemeltetési adataként nyilvánvalóan a közvetlen kibocsátási értékek kerülnek figyelembe vételre. Az életciklus adatok elsősorban az erőmű fejlesztési stratégiák környezetvédelmi értékeléséhez szolgáltatnak információt. A biomassza esetében az életciklus adat már nem tartalmazza az eltüzelés során keletkezett széndioxid mennyiséget. A táblázat az erőművekben jellemzően alkalmazott növényi eredetű szilárd anyagokra – faapríték, pellet, szalma – vonatkozik. Vizsgálatok szerint a szalmatüzelés életciklus kibocsátási adata közel kétszerese a faaprítékénak [5]. A pelleté lényegesen alacsonyabb, azonban a szárítás és szállítás folyamatában képződő CO<sub>2</sub> ennek értékét jelentősen megnöveli [6].

A megújuló energiák többségénél az életciklus során jelentkező széndioxid kibocsátás a berendezés(ek) létesítéséhez kapcsolódik. A biomassza kivételt jelent, mert itt az energiahordozó előállítása is érzékelhető mennyiségű emissziót generál. További kérdéseket vet fel, hogy jöllehet a tüzelési folyamat rendeltileg CO<sub>2</sub> kibocsátás mentes tevékenység, azonban a zöld növény általi CO<sub>2</sub> adszorpció és a tüzelési folyamatból adódó emisszió térbeli és időbeni elkülönülése még globális egyensúly esetén is generál problémákat (erdőirtások, lokális klímaváltozások, a kivágott és ültetett fa CO<sub>2</sub> megkötő képességének különbsége, a fák „aktív” életének megrövidítése). A fosszilis energiahordozókkal szemben a biomassza tüzelés CO<sub>2</sub> emisszió szempontjából természetesen így is kedvezőbb megoldást jelent.

Primer energia	Közvetlen kibocsátás (tCO <sub>2</sub> /GWh)	„Életciklus” kibocsátás (t CO <sub>2</sub> /GWh)
Lignit	360	1060-1370
Szén	340	800-1100
Fűtőolaj	280	650-870
Földgáz	200	400-500
Biomassza*	390	20-100
Napenergia	-	40-100
Tározós vízi erőmű	-	5-20

Folyami vízi erőmű	-	5-30
Szélenergia	-	7-20
Nukleáris energia	-	10-40

Forrás: *Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment Copyright* □ 2004 World Energy Council

### 1. sz. táblázat Erőműi széndioxid kibocsátás

A villamos energiának széndioxid kibocsátás mentes termelésére a nukleáris és megújuló energiaforrások képviselik az optimális megoldást. Az energiaforrások szerkezetére vonatkozó prognózisok és nemzeti energia stratégiák ezek részarányának növelését jelölik meg ill. tűzik ki célul. Ezzel együtt azonban a fosszilis energiahordozók a villamos energiatermelésnek továbbra is egyik meghatározó bázisát jelentik. Az Emissziómentes Fosszilis Tüzelőanyagú Erőművek Európai Technológiai Platform (ETP ZEP) középtávú előrejelzése szerint 2030-ban a termelt elektromos energiának legkevesebb 40%-a szén ill. gázüzemű erőművekben kerül előállításra [7].

Az EURELECTRIC 2050-re vonatkozó „Baseline” scenáriója Európában 4800TWh villamos energiatermelést prognosztizál. Ennek kevesebb, mint egyharmadát üzemeltetik fosszilis primer energiahordozóval. A CO<sub>2</sub> kibocsátást 750 mt-ban állapítja meg. A „Power Choices” scenárió 20%-s villamos energiatermelés csökkentés mellett tovább redukálja a fosszilis energiahordozók részarányát. Az előrejelzés mintegy évi 150 mt kibocsátást tűz ki célul. A „Baseline” változatnál ugyanakkor az 1. sz. táblázat adatai alapján mintegy 1100 mt/év CO<sub>2</sub> emisszió adódik.

Az adatokból nyilvánvaló, hogy belátható időn belül a karbontartalmú fosszilis energiahordozók nélkülözhetetlen primer energiaforrást jelentenek. A fenti adatok Európára vonatkoznak. A világ teljes széndioxid kibocsátása meghaladja a 30 Mrd tonna /év értéket, ami az európai emisszió közel hétszerese. A globális erőműi kibocsátás esetében ez az arány kb. kilencszeresre nő - elsősorban a nagy energiafogyasztó államokban elterjedten alkalmazott, korszerűtlen széntüzelési technológiákra visszavezethetően.

A széndioxid kibocsátás csökkentésnek legkedvezőbb módja nyilvánvalóan a CO<sub>2</sub> képződés mérséklése az energia hatékonyság javítása által. Hasonlóan a nukleáris és megújuló energiaforrások alkalmazásához azonban itt sincsenek akkora tartalékok, amelyek biztosíthatnák a szükséges emisszió csökkentést. Az üvegház hatás mértékének elvárt erőteljes csökkentése elkerülhetetlenné teszi a széndioxid leválasztáson alapuló erőműi tüzelési folyamatok - a CCS (Carbon Capture Storage) technológiák - alkalmazását.

A magyarországi kibocsátás volumenét tekintve globális viszonylatban ugyan nem számottevő, de az uniós és más nemzetközi kötelezettségeknek meg kell felelnünk. A Nemzeti Energiastratégia a villamos energia előállításával kapcsolatos CO<sub>2</sub> kibocsátás mértékét közelítőleg 200 t/GWh-ban állapítja meg [9]. Ennek elérése megújuló és nukleáris energiákra alapozott áramtermelés részarányának növelése mellett hazai viszonylatban is szükségessé teszi az erőművek egy részénél a

karbon leválasztási eljárások bevezetését. Az EU 2050-re tervezett kibocsátás csökkentésnek prognózisa szerint 19-24%-a CCS technológiák alkalmazásából fog származni [10]. Elemzések kimutatták, hogy a globális felmelegedés elfogadható mértékre történő csökkentése 2035-ig globálisan mintegy 36 trillió USD összegű erőművi beruházást igényel. CCS technológiák alkalmazása nélkül a program kb. 70% költség többlettel lenne megvalósítható [11].

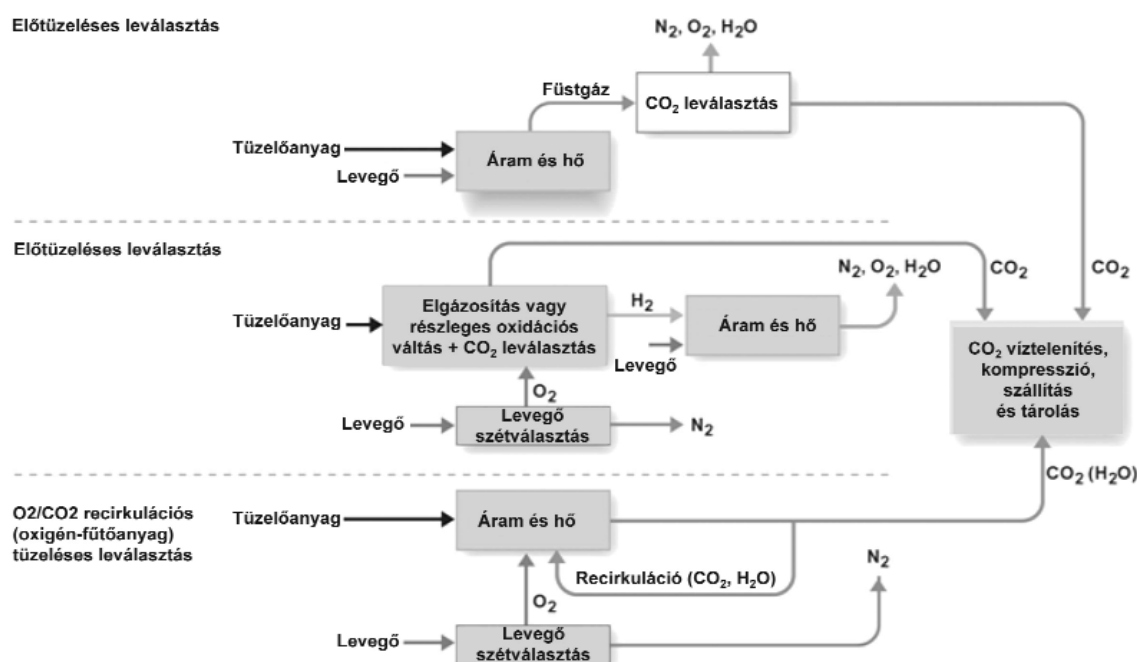
A továbbiakban a fenti technológiák műszaki alapgondolatai, és erőműi alkalmazásuk jellemző példái kerülnek bemutatásra.

## A CCS technológiák összefoglaló jellemzése

A fosszilis energiahordozók eltüzelése során azok karbontartalma széndioxiddá alakul. A CCS folyamatokat a CO<sub>2</sub>-nek a gázelegyből történő leválasztása és folyamatból történő eltávolítása majd tárolása ill. a széndioxid képződés megelőzése jellemzi. A technológiai célkitűzés megvalósítását három más területen már korábban alkalmazott módszer teszi lehetővé [12], [13], [14], [15].

- A CO<sub>2</sub> leválasztása a primer tüzelőanyagnak levegővel történő elégetését követően (*post combustion capture*).
- A primer tüzelőanyagot reaktorban elgázosítják, a gázelegyet konvertálják, majd a keletkezett széndioxidot még a tüzelési fázis előtt leválasztják a rendszerből (*pre combustion capture*).
- Oxigénes tüzelés alkalmazásával a vízgőzt és CO<sub>2</sub>-t tartalmazó füstgázból a szén-dioxid egyszerű módszerrel leválasztható (*oxifuel combustion technology*).

A három eljárás egyszerűsített technológiai vázlatát az 1. sz. ábra mutatja be.



Forrás: The European Technology Platform for ZEP Strategic Deployment Document 2006

1. sz. ábra CCS technológiák

### **Széndioxid leválasztás a tüzelési fázis után („post combustion” eljárás)**

A technológia a szokásos tüzelési fázisra és egy füstgáztisztítási műveletre különíthető. A fosszilis anyagok levegővel történő eltüzelésénél képződött füstgáz meghatározó komponensei a nitrogén, a vízgőz és a széndioxid. Szennyezőanyagként szénhidrogén vegyületek, szénmonoxid ill. szén és olajtüzelés esetén a kén és vanádium vegyületek is megjelennek. A CCS technológia a CO<sub>2</sub> leválasztásra összpontosul. Az alkalmazott leválasztási technológiától függően szükség lehet a fenti szennyezőknek egy előzetes füstgáz tisztítási fázisban történő eltávolítására.

A széndioxid leválasztására négy, más szektorokban már alkalmazott módszer kínálkozik.

- A gáznak abszorpciós folyamatban történő elnyelése
- Szilárd adszorbens alkalmazásával történő leválasztás
- Karbonizáló-kalcináló eljárás
- Anti-szublimációs eljárás
- Membrán-szeperációs eljárás.

Jelenleg a jelentős vegyipari referenciákkal rendelkező **abszorpciós leválasztási eljárást** alkalmazzák legelterjedtebben. Az elkülönített CO<sub>2</sub> tisztítás után további eljárásnak vethető alá, komprimálható, a folyékony vagy szuperkritikus állapot eléréséig. Az adszorbens regenerálásának hőigénye az erőműben képződő hulladékhőből elégíthető ki.

Az eljárás alkalmazása a füstgáz hűtését igényli. Széntüzelésnél szükséges a füstgáz kéntelenítése is. A technológia előnyösebben alkalmazható az abszorpciós folyamatot motiváló nagyobb koncentráció különbség esetén ezért a tüzelést a legmagasabb CO<sub>2</sub> tartalomnak megfelelően kell beállítani.

A fenti eljárás egy kipróbált, jól ismert technológiai lépcsőt tartalmaz, tekintettel a számos vegyipari referenciára gyakorlatilag kereskedelmi tételnek tekinthető. A térfogatáramok nagyságrendje miatt azonban 500 MW, vagy még nagyobb teljesítmény esetén történő alkalmazása jelentős adaptációs tevékenységet követel.

**Az adszorpciós eljárást szintén** elterjedten alkalmazzák más iparágak technológiáiban is. A folyamatban az ad- és deszorpciós fázisok ciklikus nyomás vagy hőmérsékletváltozás segítségével kerülnek megvalósításra. Adszorberként aktív szenet, zeolitokat, szilikagélt vagy karbon molekulaszűrőt alkalmaznak. Az erőműi alkalmazás esetében az alacsony (atmoszférikus) füstgáz nyomás és a viszonylag kis parciális nyomás a CO<sub>2</sub> eltávolításnak ezt a módját költségessé teszi. Az eljárás gazdaságossága javítható nagyobb hatékonyságú adszorbens, vagy oxigénben dúsított levegővel történő tüzelés alkalmazásával. Ugyanakkor ez a módszer eredményezi a legnagyobb CO<sub>2</sub> tisztaságot.

A **karbonizáló-kalcináló eljárás** új és már meglévő széntüzelésű erőművek esetében alkalmazható. A CO<sub>2</sub> elkülönítése magas hőmérsékleten történik, kalcium oxidnak, mint regenerálható adszorbensnek az alkalmazásával. A CaO részecskék atmoszférikus nyomáson és mintegy 650°C hőmérsékleten

reakcióba lépnek a füstgáz  $\text{CO}_2$  molekuláival és kalcium karbonát képződik. A következő fázisban a  $\text{CaCO}_3$  kalcinálására kerül sor egy  $900^\circ\text{C}$  feletti üzemi hőmérsékletű fluidágyas egységben. A felszabaduló  $\text{CO}_2$  gázt a tárolóba továbbítják. A  $\text{CO}_2$  leválasztás viszonylag magas kalcium-oxid tömegáram igénye biztosítja, hogy a folyamatban egyúttal a kén-dioxid is eltávolításra kerüljön.

**Az anti-szublimációs eljárásban** a gázfázisú széndioxidot  $-78,5^\circ\text{C}$  alatti hőmérsékletre hűtött felület mentén áramoltatják. Ekkor az ún. hármasonthoz tartozó nyomásnál alacsonyabb érték esetén a  $\text{CO}_2$  a gázfázisból közvetlenül szilárd fázisba vihető. A hűtési folyamatban jelentkező kondenzációs fázisban a kis mennyiségben előforduló egyéb szennyezők is eltávolításra kerülnek. A költségek további csökkentésének lehetősége a füstgáz kéntelenítő fázisnak az alacsony hőmérsékletű  $\text{CO}_2$  eltávolítás folyamatába történő integrálása.

**A membrán szeparációs eljárást** elterjedten alkalmazzák magas nyomású és magas  $\text{CO}_2$  koncentrációjú gázok esetében. Az erőműi füstgázoknál a viszonylag alacsony parciális nyomás nyilvánvalóan kisebb hajtóerőt képvisel a membrános szeparáció számára. Az eljárás az eddigiekben alkalmazott polimer alapanyagú membránok alkalmazása mellett emiatt nem éri el az egyéb (kémiai) leválasztási eljárásokkal biztosítható hatásfok értéket. Új típusú membrán fejlesztése válik szükségessé.

Az eltüzelést követő leválasztási eljárásnál a rendszer fő komponensei azonosak a leválasztás nélküli korszerű erőművek megfelelő egységeivel (égetőkamra, gőzkör, gázelőkészítő rendszer stb.). Nyilvánvalóan ez is oka annak, hogy a jelenleg már üzembe helyezett, vagy még befejezés előtt álló egységek többségénél ez az eljárás került megvalósításra.

### **Széndioxid leválasztás a tüzelési fázis előtt („pre-combustion” eljárás)**

Az alatechnológia szén- és olajtüzelés esetén az ún. integrált elgázosító rendszerű kombinált ciklus (IGCC). A tüzelőanyagot egy elgázosító egységben  $n < 1$  levegőtényezőnek megfelelő oxigénáram hozzávezetésével szintézis gázzá konvertálják. Hűtés, tisztítás és előkészítés után gázturbinával elektromos áramot állítanak elő. A turbinából kilépő magas hőmérsékletű füstgáz hőhasznosító kazánban adja le hőjét és az itt képződő gőz turbinán keresztül további mennyiségben generál elektromos áramot. A rendszer kiegészül egy levegő szétválasztó egységgel, amely az elgázosításhoz szükséges oxigént állítja elő. Az eljárás valamennyi fosszilis energiahordozó esetén alkalmazható.

Annak érdekében, hogy a fent bemutatott IGCC eljárás az emissziómentes erőműi technológiában is alkalmazható legyen, kiegészítő egységeket tartalmazó megvalósítás válik szükségessé (ZEIGCC eljárás). A meghatározó mértékben szén-monoxidot és hidrogént tartalmazó szintézisgáz katalizátorral töltött konverterbe áramlik. A készülékbe vízgőzt vezetnek és a vízgáz reakciónak megfelelően  $\text{CO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{H}_2$  keverék keletkezik. A maradék vízgőzt kondenzáltatással távolítják el. A  $\text{CO}_2$  tartalmat az

előzőekben ismertetett eljárások alkalmazásával választják le, majd komprimálás után juttatják a tárolóba.

A folyamat energiahordozója a továbbiakban tehát a hidrogén. Ennek eltüzelése speciális égőt és tüzelőanyag ellátó rendszert igényel. Összehasonlítva más CO<sub>2</sub> eltávolítási technológiákkal a gázelegy viszonylag magas CO<sub>2</sub> tartalma biztosítja, hogy itt az ad- és deszorpciós fázisok kisebb méretekben, olcsóbban valósíthatók meg. A gazdaságosság meghatározó tényezője az alkalmazott levegő szétválasztás technológiája. Az elgázosító egységben vezetett primer tüzelőanyag fajtájától függően metanol, vagy más alapanyag is előállítható a ZEIGCC módszerrel.

### **Füstgáz visszakeringtetésű oxigén tüzelési technológia („oxifuel” eljárás)**

Az eljárás lényege, hogy 95-99%-os oxigénnel történő tüzelés közel sztöchiometrikus feltételek mellett meghatározó mértékben CO<sub>2</sub>-t és H<sub>2</sub>O-t tartalmazó gázkeveréket eredményez. A nitrogén hiányából adódó alacsony térfogatáram miatt füstgáz recirkuláltatást alkalmaznak. A vízgőz mellett kis mértékben nitrogén, oxigén, nemesgázok, kén és nitrogén oxidok vannak jelen az égéstermékben. A füstgáznak a recirkulációs folyamatban részt nem vevő hányada tisztító és leválasztó eljáráson keresztül haladva a kondenzációs fázisba áramlik. A víz eltávolítása után a széndioxidot kompresszor juttatja a csővezetékrendszerbe vagy közvetlenül a tárolóba. Az eljárás egyaránt alkalmazható fosszilis tüzelőanyagok vagy biomassza esetében. A két másik technológiával szemben itt a végtermék hidrogén, amit az erőműi fogyasztástól függetlenül is lehet értékesíteni.

Az oxifuel CO<sub>2</sub> leválasztási módszer alkalmazása többlet energiaigényt jelent a levegő szétválasztó egység működtetése miatt, azonban a kémiai, vagy fizikai elven üzemelő ab(ad)szorbens regenerálásának hosszúságlete itt természetszerűleg nem jelentkezik. A nitrogén hiányából adódóan az előző két technológiával összehasonlításban itt lényegesen kisebb készülék méretek szükségesek. Az oxifuel rendszer 90%-nál magasabb tisztasági fokú CO<sub>2</sub>-t eredményez. Szennyezőanyagként oxigént, nitrogént, argont, nitrogénoxidokat, kenet tartalmaz. A gázáramot a savas kondenzáció elkerülése érdekében kifagyasztják. Ezáltal 99% körüli tisztaság is biztosítható. Az eljárás alkalmazásának feltétele egy integrált oxigén-előállító egység létrehozása. A kazánokat ugyanakkor alkalmassá kell tenni az oxigéntüzelésből adódó magasabb hőmérsékleten ill. a füstgáz recirkulációs rendszerben történő üzemeltetésre.

## A CCS technológiák alkalmazásának jelenlegi helyzete

A légkör széndioxid tartalmának rohamos növekedése már a 20. század végén ráirányította a figyelmet a karbon leválasztási technológiák erőműi alkalmazásának szükségességére. Európában 1996-ban jelent meg az első demonstrációs berendezés Norvégiában az Északi-tengeri Sleipner gázmezőn. A létesítményben 9% CO<sub>2</sub> tartalmú földgázt tisztítanak. A „post combustion technology” jellegű eljárásban közel 1 mt/év széndioxid kerül földalatti tározóba [12]. Az ezredfordulót követően a figyelem egyre fokozottabban fordult a CCS technológiák felé. Ambiciózus tervek születtek. A CCS technológiák szükségességének tudatosításában és a stratégiai irányok megfogalmazásában jelentős szerepet vállalt a 2005-ben megalakult European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP).

Az elmúlt években a folyamat azonban lelassult. A gazdasági válság nyilvánvaló fékező hatása mellett ebben a magas beruházási költségek és a technológia terjedését gátló egyéb körülmények is közrejátszanak. Amíg korábban a század második évtizedének közepére prognosztizálták az ipari méretekben való terjedés kezdetét, ma már az előrejelzések 2020, egyes vélemények 2030 utáni időszakot jelölnék meg [16], [17].

A magas költségek ténye vitathatatlan. A demonstrációs projektek milliárd EUR nagyságrendű ráfordításokkal valósultak meg. Egy erőmű létesítési költségeit a CCS technológia alkalmazása 30-70%-kal növeli. A működtetési ráfordítások is 25-75%-kal magasabbak. Jelenlegi árakon számolva egy teljes CO<sub>2</sub> mentesítő láncolatot magában foglaló erőműi beruházás 500-1000 mEUR beruházási költséget igényel. Az ipari szféra ennek kiterjedt mértékű önálló finanszírozására nem képes. A potenciális beruházók helyzetét nehezítik a létesítéssel és üzemeltetéssel kapcsolatos kockázatok [18].

Az említett rizikófaktor az ipari méretű megvalósítások várható időszakának közeledésével fokozottan erősödik. Az ellenzők a tárolási kapacitások hiányára, a földalatti tárolás esetleges szeizmikus következményeire, a hatásfok csökkenésre, a villamos energiára gyakorolt árnövelő hatásra hivatkoznak. Egyes vélemények szerint túl késő van ahhoz, hogy ezek a technológiák érdemi eredményhez vezessenek [19]. Felmerül az abszorbens folyadékok (aminok) rákkeltő hatása is. Helyenként a lakossági ellenérzés a nukleáris erőműveknél tapasztalt mértéket is meghaladja [20]. Olaszországban tanulmány készült a CO<sub>2</sub> tárolással mint veszélyforrással kapcsolatban. Eszerint ennek kockázati tényezője nagyságrendekkel kisebb, mint pl. a gépkocsival történő közlekedésnek, a háztartásokban előforduló CO mérgezésnek, vagy a villámcsapásnak [21].

A megvalósításra vonatkozó szándékokat nyilván kedvezőtlenül érintette a német szövetségi kormánynek a CO<sub>2</sub> tárolására vonatkozó elutasító döntése. Az RWE AG emiatt Hürth-ben létesítendő berendezésének munkáit leállítani kényszerült [22]. Az esemény annál is sajnálatosabb, mivel az ipari



méretű berendezés lignit elgázosításán alapuló (pre-combustion) technológiával készült. A világon jelenleg üzemelő négy ipari méretű CCS technológiájú erőműből hármat földgázzal működtetnek [23], és a Hürth-i megvalósítás jó referenciája lett volna egy összetettebb műszaki feladatot képviselő szénbázisú rendszernek. A technológia elterjedését szabályozó és elősegítő feltételrendszer létrehozásának szükségességét példázza az angliai Department of Energy and Climate (DECC) szervezet állásfoglalása [24]. Ebben törvényi háttér megalkotását, a CO<sub>2</sub> tárolására vonatkozó stratégia kialakítását, a megfelelően képzett személyi állomány rendelkezésre állását és a széndioxid szállítás és tárolás helyszíni infrastruktúrájának kialakításához szükséges koncepciók kialakítását jelölték meg feladatként.

A fenti problémák ellenére a már korábban létesített üzemelő berendezések mellett számos új egységet helyeztek üzembe vagy megvalósításuk befejezés előtt áll. Demonstrációs projekt jelleggel a Shell, a GE és a Conoco Philips összesen négy üzemében működik elgázosító technológia. A GE és a Conoco Philips primer tüzelőanyagként iszapot, más technológiák száraz primer energiahordozót használnak. Lignit alkalmazása esetén az ún. magas hőmérsékletű Winkler elgázosító eljárás (HTW) is alkalmazható, mint nem túl magas hőmérsékleten (900°C) megvalósított fluidizációs eljárási technológia. A magas hőmérsékletű füstgáz hőtartalma hőcserélőkben ill. gőzfejlesztési folyamatban hasznosítható [12].

Az abszorpciós széndioxid eltávolítás új lehetőségének demonstrációs projektje lépett a megvalósulás fázisába. A Melbourn-i Egyetem által kifejlesztett technológiában a mosófolyadék a szódabikarbónához (NaHCO<sub>3</sub>) hasonló vegyi anyag vizes oldata. Alkalmazásával a CO<sub>2</sub> mosás üzemeltetési költségeinek jelentős csökkenését várják [25]. A Brisbane-i CS Energy Limited Társaság egy 30MW teljesítményű kazánon alkalmazza az „oxifuel” leválasztási technológiát 2008-tól kezdődően. Ugyancsak Ausztráliában a Queensland-i 700MW teljesítményű széntüzelésű erőműben valósítottak meg CCS technológiát [26].

Az Alstom Power Társaság a CO<sub>2</sub> eltávolítását a hagyományos ammónia abszorbenssel végzi. A technológia továbbfejlesztéseként dolgozták ki a hűtött ammóniamosási eljárást, ahol a füstgázt harmatpont alá hűtve kerül sor az abszorpcióra. Az abszorbens regenerálása magas nyomáson és emelt hőmérsékleten történik. Az ammónia veszteség minimalizálását az ab- és deszorpciós hőmérsékletek optimalizált beállításával biztosítják. Jelenleg 13 referencia berendezést működtetnek ill. készítenek elő 2015-ig történő üzembe helyezésre. Az erőművek sorában gáz, olaj és lignit üzemű egységek találhatóak. Három berendezésben „oxifuel”, a többiben „post-combustion” technológiát valósítottak meg. A tárolt CO<sub>2</sub> mennyisége meghaladja az 5 mt/év mennyiséget [27]. „Oxifuel” technológiát valósítottak meg a német Schwarze Pumpe cég által készített Svédországban üzemelő 30 MW teljesítményű egységében és a Total energia társaságnak a franciaországi Lacq-ban földgázzal üzemeltetett berendezésében is. [28].

Az Egyesült Államokban a Nyugat-Virginiai New Havenben 2009-ben helyeztek üzembe kísérleti projekt jelleggel szénbázisú erőműhöz illesztett széndioxid leválasztó rendszert. A CO<sub>2</sub> eltávolítása az Alstom által szabadalmaztatott hideg ammóniamosó eljárással történt. A kísérleti üzem célja a technológiának széntüzelés melletti alkalmassági vizsgálata. 6500 üzemóra után a kísérletet sikeresnek minősítve a berendezést üzemen kívülre helyezték [29]. Ugyancsak az Egyesült Államokban Illionis államban tervezik 2013-ban egy új 716 MW teljesítményű IGCC (pre-combustion) rendszer üzembe állítását. A berendezés a keletkezett széndioxid 65%-nak leválasztására alkalmas és évi 2 millió tonna CO<sub>2</sub>-t juttat tárolóba. A beruházás 3,5 milliárd dollár költség ráfordítással valósul meg [30].

A norvégiai Mongstad-ban 2012 májusában adták át egy gázüzemű erőmű és olajfinomító komplexum együttes CO<sub>2</sub> kibocsátás 85%-nak leválasztására alkalmas CCS rendszert [31]. A beruházás mintegy 1 Mrd EUR ráfordítással valósult meg. A létesítményrendszer fényképét a 2. sz. ábra mutatja be.

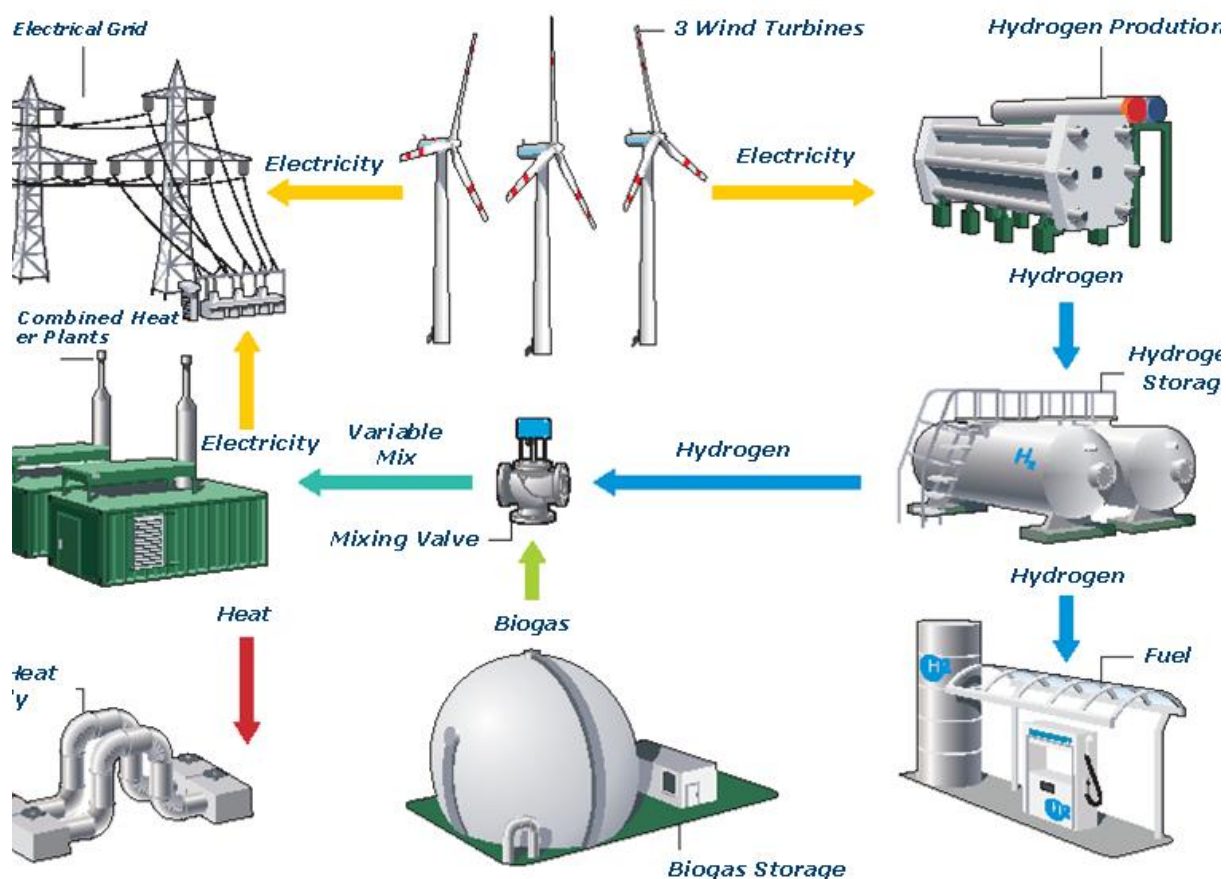
A 280 MW teljesítményű CHP erőmű füstgáza átlagosan 3,5%, a finomítóból kilépő égéstermék 13% széndioxidot tartalmaz. A CCS egységet a meglévő rendszerekhez illesztették („post-combustion” technológia). A CO<sub>2</sub> eltávolítása ammóniás ill. aminos mosással történik. Ez a megoldás teszi lehetővé a jelenleg 100 000t/év széndioxid kapacitással üzemelő rendszerben a két abszorbens anyag összehasonlítását. A várható hatásfok csökkenés a teljes erőműre vetítve mintegy 8%. Tervek szerint ugyancsak Mongstadban a Siemens által kidolgozott új típusú mosófolyadékra alapozott technológiát helyeznek üzembe, ami ennek értékét felére csökkenti.



2. sz. ábra A Mongsad-i erőmű és finomító

A bemutatott példák érzékeltetik, hogy számos referencia berendezés működik bizonyítva a CCS technológiák alkalmazhatóságát bármely fosszilis energiahordozó bázison működtetett erőmű esetében. A jelenleg a széndioxid tárolókba juttatott mennyiség azonban mindössze kb. 32 mt/év [32], az erőművek által kibocsátott mintegy 12 Mrd tonnának valamivel több, mint 2,5 ezreléke. A fenti arány és a gyakran elhúzódo beruházási folyamat arra figyelmeztet, hogy nem megalapozatlanok a piaci elterjedést csak 2020 utánra prognosztizált vélemények. Kétségtelen, hogy a korábban részletezett nem műszaki jellegű gátló tényezők szerepe jelentős. A technológia piacképessége azonban megköveteli mind a megvalósítási költségeknek, mind az erőművek hatásfok csökkenésének mérséklését.

A CO<sub>2</sub> mentes villamos energia termelésnek egy új technológiáját helyezték üzembe 2011-ben németországi Uckermark-ban [33]. A rendszer elemeit a 3. sz. ábra szemlélteti. A működés lényegét a termikus és szélenergia kombinációja jelenti.



*Forrás: Németországban átadták a világ első hidrogén-hibrid erőművét*

3. ábra Az Uckermark-i hidrogén hibrid erőmű

A 3 db egyenként 2 MW teljesítményű szélturbina elektrolízis elvén üzemelő vízbontó berendezést működtet óránként 120 m<sup>3</sup> 99,997% tisztaságú hidrogént és 60 m<sup>3</sup> oxigént állítva elő. A hidrogén jelenti a termikus erőmű tüzelőanyag bázisát. A villamos energiát két db egyenként 350 kW névleges teljesítményű CHP egység termeli. A hidrogénhez legkevesebb 30% biogázt adagolnak. Az arány a szélerergia bizonytalansága miatt 100% biogáz betáplálásig változtatható. A termelt hidrogén önállóan is értékesíthető.

A megoldás egyesíti a megújuló energiaforrások felhasználásából adódó környezetbarát működésnek és a CHP rendszerben történő termikus villamos energia előállítás kedvező hatásfokának előnyeit. A megújuló energiaforrással működtetett ipari méretű vízbontási eljárás – hasonlóan a szén energiáját hidrogén üzemanyaggá konvertáló „pre-combustion” technológiához – már az energiaforrás prognózisokban megjelenő „hidrogén korszak”-hoz kapcsolódik.

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió rész támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Összefoglalás

A publikáció a fosszilis tüzelésű erőművekből kibocsátott széndioxid jelenlegi és prognosztizált jövőbeni mennyiségének bemutatásával az emisszió csökkentés fontosságát hangsúlyozza. Az előrejelzések szerint a karbon tartalmú tüzelőanyagok mennyisége a jövőben sem csökken, ami elkerülhetlenné teszi a széndioxid leválasztó technológiák alkalmazását.

Az anyag bemutatja a referencia berendezésekkel rendelkező CO<sub>2</sub> leválasztási eljárásokat. Ismerteti ezek alkalmazásának jelenlegi helyzetét érzékeltetve a bevezetés elterjedésének piaci korlátait.

## Hivatkozások

1. [CO2 Emissions from Fuel Combustion - 2011 Highlights](#)
2. [Rekordot döntött tavaly a széndioxid kibocsátás - Piac & Profit](#)
3. [Specific Carbon Dioxide Emissions of Various Fuels](#)
4. [Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment](#)
5. [Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options](#)
6. [Carbon Emissions of Different Fuels/Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment](#)
7. [Európai Közösség - Energetikai kutatások - Clean coal/CCS](#) - The Current State and Future Prospects of CCS.
8. [Power Choices 2050 - Eurelectric](#)
9. [NEMZETI ENERGIASZTRATÉGIA](#)

10. [ZEP Statement on EU Energy Roadmap 2050 »](#)
11. [ZEP Statement on COP17/CMP7 »](#)
12. Power Plant and Carbon Dioxide Capture. Készítette a Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP) Brüsszel 2006
13. [ZEP - Reducing CO2 Emissions through CCS/Technology/Capture](#)
14. Tihanyi L. Csete J. [A CO<sub>2</sub> lánc – CO<sub>2</sub> leválasztása, szállítása és tárolása .](#)
15. [TARTALOM - Dunaferr](#) Karbontartalmú energiahordozók CO<sub>2</sub> kibocsátás mentes erőműi felhasználása. ISD DUNAFERR Műszaki Gazdasági Közlemények 2008/1
16. [Energiapolitikai Füzetek](#)
17. [2030-ra terjedhet el a CO<sub>2</sub> megkötése? | 2008.09.25 | Bruxinfo Portál](#)
18. [Clean coal/CCS - The current state and future prospects of CCS.](#)
19. [FS CO2-freie Kraftwerke final](#)
20. [Carbon Capture Fights its Corner](#)
21. [Assessing the Health Risks of Natural CO<sub>2</sub> Seeps in Italy »](#)
22. [RWE AG - IGCC/CCS Power Plant](#)
23. [CCS Technology Offers Opportunity for Reducing CO2 Emissions in the ...](#)
24. [Carbon Capture and Storage - Department of Energy and Climate ...](#)
25. [University of Melbourne Commissions Carbon Capture Mini-Plant](#)
26. [Queensland's Callide Power Plant Now Firing With Retrofitted CCS](#)
27. [Alstom Power Study Demonstrates Carbon Capture and Storage \(CCS\)](#)
28. [ZEP - Reducing CO2 emissions through CCS](#)
29. [Carbon Capture & Storage](#)
30. [CCS Technologies to Capture 65% and 90% of CO2 Emissions at ..](#)
31. [Promising Carbon-Capture Facility Launched in Norway despite...](#)
32. [CCS Technologies. - World Coal Association](#)
33. [Németországban átadták a világ első hidrogén-hibrid erőművet](#)

# ERŐMŰI CCS TECHNOLOGIÁK KÖLTSÉGEI, A PIACKÉPESSÉGET FOKOZÓ INTÉZKEDÉSEK

The costs of CCS Technologies at Power Plants and Measurements for Wide-Ranging Application

Kosten der CCS Technologien und die Massnahmen für Verbesserung der Marktfähigkeit

**Dr. Kapros Tibor**

## Abstract

The most important obstacle at the spreading of CCS technologies has been the cost of their application. The significant investment's expenses are enhanced by the increasing of the operating costs and by the decreasing of energetical effect of the process. The paper introduces the present situation of the charges. There are summarized the supporting programs and measurements for realization of reference equipment. It includes the R&D programs for improving the economic indicators of the processes. Several actual demonstration and R&D projects are introduced too.

## Bevezetés

A világ teljes széndioxid kibocsátása jelenleg meghaladja a 30 Mrd t/év mennyiséget. A széndioxid emisszió csökkentési technológiák gazdaságos megvalósításának feltételei mindenek előtt a fenti mennyiség mintegy egyharmadát koncentráltan kibocsátó 50 000 erőműben állnak rendelkezésre [1].

Az elmúlt évtizedekben három u.n. CCS eljárás (CO<sub>2</sub> Capture & Storage) került kidolgozásra. Az égési folyamatot követő tisztításnál a képződött füstgázból ad- ill. abszorpcióval, szeparációs eljárással, vagy kriogén technológiával választják le a széndioxidot (post combustion capture). Másik lehetőség a tüzelőanyag karbontartalmú komponenseinek hidrogénné történő konvertálása a vízgáz reakció alkalmazásával. Ezt követi a tüzelési folyamatot megelőző CO<sub>2</sub> eltávolítási fázis (pre combustion capture). A harmadik technológiában a tüzelőanyag elégetésére oxigén közegben kerül sor. A füstgáz széndioxidot és vízgőzt tartalmaz. A gázelegy kondenzáltatása (szárítása) után maradt CO<sub>2</sub> tárolóba továbbítható (oxifuel combustion technology).

Mindhárom eljárás számos referenciával rendelkezik, ami a technológiák ipari alkalmasságát igazolja. A referencia berendezések többsége azonban a félüzemi méret nagyságrendjét képviseli. A technológia ipari méretekben történő alkalmazása magas ráfordítást igényel. Bevezetése egy teljes körű folyamat megvalósítását teszi szükségessé és az alaptermészeti beruházásokat (készülékek, nyomásfokozók, katalizátor, oxigén előállítás stb.) ki kell egészíteni a leválasztott széndioxid szállításának és tárolásának fázisaival.

A CCS technológiák bevezetése számottevő költség többletet képvisel. A gazdasági tényezők mellett esetenként jelentős lakossági ellenérzés is megnyilvánul – mindenekelőtt a CO<sub>2</sub> tárolás vonatkozásában. Mindez erőteljesen lassítja a karbon leválasztási módszerek ipari elterjedését.

Jóllehet a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) elemzése a jelenlegi néhány berendezéssel szemben a globális klímaváltozás elleni eredményes fellépéshez 2035-ig mintegy 1500 és 2050-ig kb. 3000 ipari megvalósítást tart szükségesnek, a piaci terjedési folyamat fékeződése érzékelhető. Több projektet leállítottak, a demonstrációs berendezések létesítésére fordított összeg 2010 óta a 23,5 Mrd\$/év szinten stagnál [2].

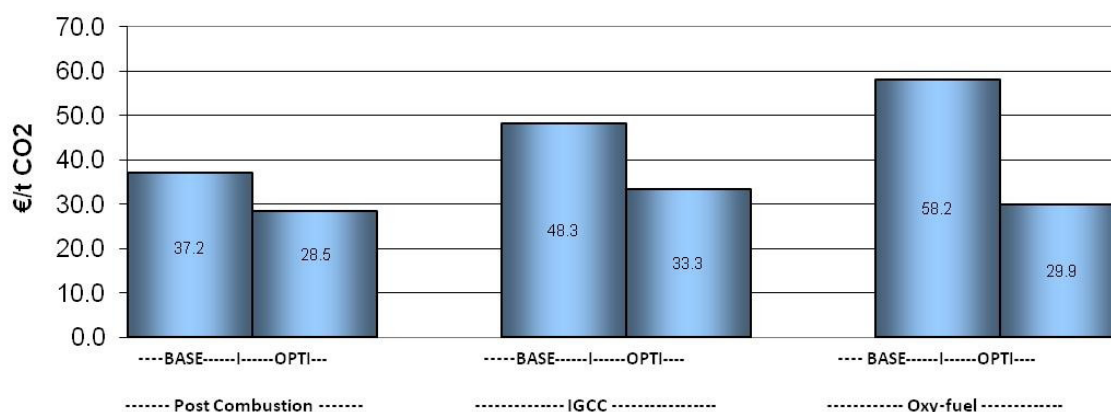
A fentiek ellenére a CCS technológiák alkalmazása minden ország ill. közösség energia stratégiájának lényeges eleme. A prognózisok szerint a 2020 (2030) utáni időszak energia ellátása a széndioxid eltávolítási eljárások széleskörű elterjedése nélkül csak visszafordíthatatlan mértékű klímaváltozási hatás árán biztosítható. A továbbiakban a környezetkímélő erőműi technológiák gazdaságos megvalósíthatóságára és terjedésére irányuló tervek és programok kerülnek bemutatásra.

### **A CCS technológiák bevezetésének költségei**

A CO<sub>2</sub> eltávolítás költség és energiaigényes folyamat. Az Egyesült Államok energia hivatalának becslése szerint a CCS technológiák elterjedése az elektromos energia előállítás költségét 40-76%-kal növeli [3]. Más oldalról közelítve az alkalmazás terjedésének esélyeit, figyelembe kell venni, hogy a karbon eltávolítási eljárások bevezetése a mintegy 85%-s CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentés mellett 8-12% erőműi hatásfok csökkenést is eredményeznek [4].

Az USA-ban szénbázisú erőműveknél a járulékos beruházási költségek 0,5-1,0 MrdUS\$ árkatóriát képviselnek. Technológiától és a tisztítás mértékétől függően a CCS technológiák bevezetését a 30-90\$/tCO<sub>2</sub> ár nagyságrend jellemzi. 90% feletti leválasztás vagy az alkalmazást nehezítő feltételek esetén a fajlagos érték a 160\$/tCO<sub>2</sub> összeget is elérheti. Az adatok a teljes megvalósítási folyamatra vonatkoznak. Ezen belül a széndioxid tonnájának 100 km-re történő transzportja 1-10\$, a tárolás és a folyamat ellenőrzése további 2-5\$/t ráfordítást képvisel. A döntő tétel tehát a leválasztási technológia megvalósítása. A jelenleg technikai színvonal mellett kedvezőnek tekinthető az 1-5\$/t 100km szállítási és 2-5\$/t tárolási és monitor költségeket tartalmazó 50\$/tCO<sub>2</sub> fajlagos érték. Prognózisok szerint a 2030-ig elvégzett fejlesztések hatására a CO<sub>2</sub> eltávolítás és tárolás költsége tonnánként kb. 25 \$-ra csökken [4].

Az európai viszonyokat a jelenlegi (BASE) és a 2020-ra feltételezett piaci forgalmazásnak megfelelő (OPTI) technológiai szinteken és költségekkel megvalósított modellek összehasonlításával vizsgálták [5].



Forrás: *The Costs of CO<sub>2</sub> capture/CO<sub>2</sub> Capture Report 7.0*

1. sz. ábra CO<sub>2</sub> eltávolítási költségek különböző CCS eljárásoknál

Az 1. sz. ábrán az egyes CCS technológiák fajlagos széndioxid leválasztási költségei láthatók. A jelenlegi helyzetben az „oxifuel” eljárás igényli a legmagasabb ráfordítást, ugyanakkor itt prognosztizálják a legnagyobb hatású fejlesztéseket (oxigén előállítás), ami 30€/t költség környezetében a különbségeket minimálisra csökkenti. A „pre-combustion” technológia költségei kissé magasabbak, de a megvalósítási ráfordítások szempontjából várhatóan a helyi adottságok lesznek a mértékadóak. A beruházási költségek nagyságrendje 0,5-1,0 Mrd EUR - gyakorlatilag megfelel az Egyesült Államokbeli értéknek [6]. A szénportüzelésű erőműveknél 2020-ra mintegy 600 \$/kW beruházási költséget prognosztizálnak [7].

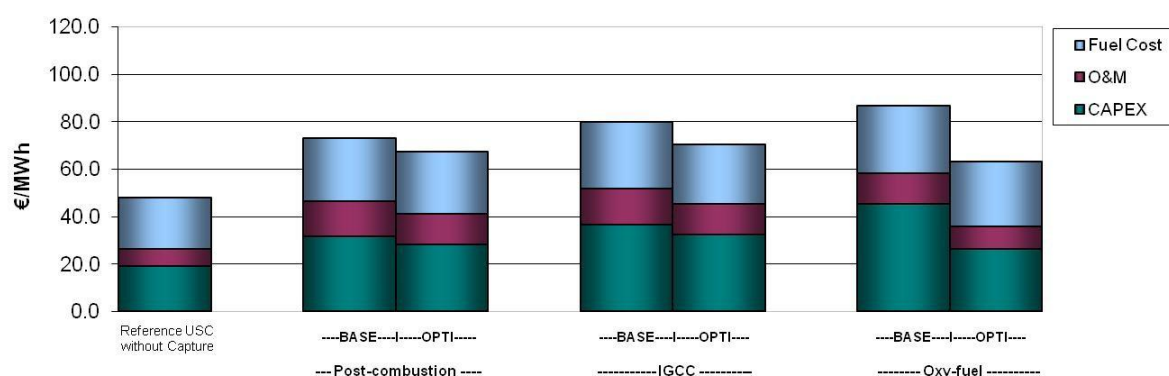
Az adatok meglévő üzemeknek CCS technológiával történő kiegészítésére vonatkoznak. Új erőmű létesítésének ráfordítás igényét a fentiekben tárgyalt taylorwille-i erőmű adata szolgáltatja. A beruházás teljes költsége 3,5 Mrd \$, ami a 716 MW teljesítmény figyelembe vételével 4 888 \$/kW fajlagos értéknek felel meg. A CCS eljárás alkalmazása eszerint mintegy 20% beruházási többlet ráfordítást igényelt. A CCS eljárások valamennyi változatánál a beruházási ráfordítás mellett 25-75% üzemeltetési költségnövekedéssel is számolni kell.

Földgáz tüzelőanyag ellátás esetében a kisebb CO<sub>2</sub> koncentráció miatt a fajlagos költségek magasabbak. A vizsgálatok „post combustion” technológiával kiegészített kombinált ciklusú erőmű viszonyaira vonatkoztak. A fajlagos széndioxid eltávolítási költségek a földgáz árának függvényében az OPTI változat szerint a 60-90 €/t tartományban prognosztizálhatók. Lignittüzelés esetében ugyanez a szcenárió 30 €/t értéket jelöl meg – a tüzelőanyag szárítási fázisát is beleértve.

A magas költségek ténye vitathatatlan. A folyamatosan növekvő energiaigényeket figyelembe véve a fosszilis energiahordozóknak ugyanakkor nincs alternatívája. Az alacsony CO<sub>2</sub> kibocsátás szükségessége pedig elengedhetetlenné teszi a CCS technológiák bevezetését. Elemzések kimutatták,



hogy a globális felmelegedés elfogadható mértékre történő csökkentése 2035-ig globálisan mintegy 36,500 Mrd USD összegű erőműi beruházást igényel, azonban CCS technológiák alkalmazása nélkül a program kb. 70% költség többlettel lenne megvalósítható. A bevezetés tíz éves késleltetése további 1100 Mrd USD többletkiadást generálna. A technológia vonzóbbá tételét szolgálja a Zero Emissions Platform (ZEP) tanulmánya is [8]. Eszerint a CCS eljárások akár a nukleáris energiára, akár megújuló energiahordozóra alapozott elektromos áram termeléssel történő összehasonlításban költségeiket tekintve versenyképes megoldást képviselnek.



Forrás: *The Costs of CO<sub>2</sub> capture/CO<sub>2</sub> Capture Report 6.0*

2. sz. ábra Villamos energia árak különböző CCS eljárásoknál

A széndioxid eltávolítás hatása az előállított elektromos energia költségében is jelentkezik. A 2. sz. ábrán a leválasztás alkalmazása nélküli (referencia) és a BASE ill. az OPTI feltételei szerinti CCS technológiák mellett prognosztizálható villamos energia költségek láthatók széntüzelésű erőmű esetében 2,4 €/GJ tüzelőanyag ár feltételezésével. A kb. 48 €/MWh bázisár az OPTI szerint 60-70 €/MWh értékre emelkedhet. Az ábrán jól érzékelhető mind a beruházási (CAPEX), mind a működtetési és karbantartási ráfordítások (O&M) arányos növekedése.

Földgázüzem esetében a jelentős mértékű változásoknak kitett tüzelőanyag ár alapvetően befolyásolja az előállított villamos energia költségét. A referencia üzemnél 35-88 €/MWh, CCS technológia bevezetésével 52-112 €/MWh költség tartomány prognosztizálható. A vizsgálat szerint 5 €/GJ tüzelőanyag ár jelenti a határt, ahol földgáztüzelés esetén a széndioxid eltávolítási eljárás alkalmazásával adódó villamos energia árak még versenyképesek a CCS technológiájú széntüzelésű erőművek áraival.

Hasonló tendenciák jelentek meg az Egyesült Államokra vonatkozó prognózisokban új berendezéseknél történő CCS eljárás bevezetése esetére [4]. A jelenlegi technikai és költségszinten figyelembe vett megvalósítások az áram árát 2-3 cent/kWh (¢/kWh) értékkel növelik. A 2030-ig

várható fejlesztések következményeként ennek 1-2 cent/kWh-ra történő csökkenése várható. Hatása elsősorban a termelői árakat közvetlenül érzékelő nagyfogyasztókat érinti.

A CCS technológiák alkalmazására vonatkozó döntést jelentős mértékben befolyásolja a széndioxid kereskedelem aktuális ára, ill. a kibocsátási bírságok. Ezek hatásáról készített tanulmány [9] megállapítása szerint szénpor tüzelés esetén 25-30 \$/tCO<sub>2</sub> jelenti azt a határértéket, amely felett a leválasztási eljárások alkalmazása „gazdaságossá” válik. Földgáz tüzelőanyagnál ez az érték 60 \$/tCO<sub>2</sub>. Az adatok szabályozott erőművekre vonatkoznak. Alaperőműveknél néhány dollárral alacsonyabb fajlagos határértékek mutatkoznak. A tanulmány szerint a villamos energia árában a termelési költségek mintegy 60% részarányát véve figyelembe, a CCS eljárások alkalmazásával összefüggésben 30%-t meghaladó árnövekedés még 70 \$/t CO<sub>2</sub> széndioxid ár mellett sem várható. Az alkalmazás gazdasági hatásának megítéléséhez az 1. sz. táblázat adatai nyújtanak segítséget.

A táblázat „Beruházás” oszlopának számértékei 20 éves időszakban történő folyamatos működtetést tételeznek fel. „Működés” megjelöléssel az üzemanyag, üzemeltetés és karbantartás ráfordításai vannak feltüntetve. „Költség” megnevezés alatt a villamos energia előállítás hosszútávon jelentkező, az amortizációt is tartalmazó költségtételei szerepelnek - CO<sub>2</sub> eltávolítással összefüggő többlet ráfordítás és kibocsátási bírság nélkül. 26\$/tCO<sub>2</sub> esetén a fajlagos adatok PC esetében 8¢/kWh, IGCC erőműveknél 6,6¢/kWh értékre nőnek.

	Beruh. (¢/kWh)	Műk. (¢/kWh)	CO <sub>2</sub> (t/MWh)	Beruh. (¢/kWh)	Műk. (¢/kWh)	CO <sub>2</sub> t/MWh
Szénpor (PC)	19,5	1,93	0,774	33,79	3,39	0,108
Szén elgázosítás (IGCC)	20,39	2,06	0,769	26,27	2,79	0,089
Komb. cikl. gáz (NGCC)	7,56	4,67	0,361	15,98	5,53	0,042

*Forrás: Carbon Capture by Fossil Fuel Power Plants: An Economic Analysis 1. sz. táblázat*

#### 1. sz. táblázat erőműi technológiák költségeinek összehasonlítása

A National Technical University of Athens a 2007-ben kidolgozott PRIMES modell segítségével különböző erőmű típusoknak az EU-ban történő megvalósítási feltételeit vizsgálta [10]. Az egyes scenáriók adatai a gazdasági válság következtében már jelentősen megváltoztak, de a beruházási költségeknél megjelenő tendenciák jelenleg is érvényesek. Különböző új építésű erőmű típusoknál a 2. sz. táblázat mutatja be a CCS technológiák alkalmazása esetén felmerülő beruházási többlet költséget, az összhatalásfok csökkenést és a széndioxid eltávolítás %-ban kifejezett értékét. A fejlesztések hatását is figyelembe vevő

modell 2020-ban ill. 2030-ban történő megvalósításokat feltételezve végezte el a számításokat.

A magasabb fajlagos beruházási értékeknél szuperkritikus turbina került figyelembe vételre  $p \sim 150\text{-}300\text{bar}$ ;  $t \sim 540\text{-}600\text{C}^\circ$  bemenő paraméterekkel. A táblázatban szereplő adatokat csak a számítás bemenő paramétereinek pontos ismeretében lehet értékelni (pl. az „oxifuel” technológia egyértelmű előnyét). A fenti számokból is adódóan a CCS technológiák alkalmazása 1,5-2,5 €/kWh költség többletet eredményeznek ill. a CO<sub>2</sub> eltávolítás 25-45 €/t ráfordítást igényel.

A 2020 és 2030 közötti időszakban kidolgozott fejlesztési programok a számítási prognózis szerint 3-8% beruházási költségtöbblet csökkenést eredményeznek, míg a leválasztás okozta határfok csökkenés mértéke gyakorlatilag nem változik. A széndioxid tárolás költségei a modellben 6-20 €/t érték között változnak

Tüzelőanyag	CCS technológia	Ber. többletktg. (€/kW)		Termikus hatásfok csökkenés (%)		CO <sub>2</sub> eltávolítás (%)
		2020	2030	2020	2030	
Szénpor	Post combustion	894	833	12	12	83,5
Szénpor	Oxifuel	685	655	9	9	99,4
Szén elgázosítás	Post combustion	797	776	7	7	85,7
Szén elgázosítás	Pre combustion	467	431	8	8	86,5
Szén elgázosítás	Oxifuel	434	425	6	6	99,4
Lignit por	Post combustion	882	819	11	11	83,5
Lignit por	Oxifuel	666	635	8	8	99,4
Lignit elgázosítás	Post combustion	520	505	5	5	86,3
Lignit elgázosítás	Pre combustion	457	417	7	7	86,5
Lignit elgázosítás	Oxifuel	434	425	6	6	99,5
Földgáz komb. cikl.	Post combustion	520	505	7	7	86,0
Földg. komb. cikl.	Pre combustion	401	388	9	8	86,7
Földg. komb. cikl.	Oxifuel	434	425	9	9	99,4

*Forrás: Energy Systems Analysis of CCS technology 7. o.*

2. sz. táblázat Erőműi CCS megvalósítások számított jellemző adatai

A leválasztási technológiák alkalmazásának rentabilitását az eltávolított széndioxid esetleges további felhasználása is befolyásolja. Olajkutaknál történő alkalmazás esetén a gáz tonnája 0,1-0,5 tonna olaj

többlet kinyerését teszi lehetővé. Az így származó jövedelemtöbblet CO<sub>2</sub> tonnánként 30-150\$. A hasznosításnak ezt a formáját Kanadában több tucat olajmező több száz kútjánál alkalmazzák [4].

### **CCS technológiák bevezetésének középtávú programjai**

A széndioxid kibocsátás csökkentése és a karbonmentes erőműi technológiák bevezetése (terjesztése) az Európai Unió energiastratégiájának egyik központi gondolata. A technológiák alkalmazásának műszaki kidolgozottságát a megvalósított referencia berendezések igazolják. A csővezetéken történő széndioxid szállítás Észak Amerikában normál kereskedelmi tevékenység. A földalatti tározókat Kanadában savas hatású gázok fogadására használják. Világviszonylatban 2009-ben évente több mint 3 mt CO<sub>2</sub> került tárolókba, és 79 kitermelő helyen mintegy 40 mt/év mennyiségben alkalmazták a gázt olaj kinyerésére. A számok azóta nyilván növekedtek.

A műszaki háttér tehát a CCS technológiák elterjedéséhez a folyamat valamennyi fázisában rendelkezésre áll. Az EU első ipari méretű berendezéseinek üzembe helyezése 2015-ben, a már kereskedelmi kategóriát képviselő piaci megjelenés 2020-ra várható. Alkalmazásuk ugyanakkor számottevő hatásfok csökkenést fog jelenteni. Jelenleg a szénpor alapú erőműveket 45-48% átlagérték, a kombinált ciklusú gázturbinákat 57-60% és a szénpor tüzelőanyag elgázosításával működtetett kombinált ciklusú erőműveket (IGCC) 45-50% hatásfok jellemzi. A folyamatos fejlesztések eredményeként 2020-ig az értékek további 3-5%-os növekedése várható. Ugyanezekre a berendezésekre első generációs CCS technológiákkal történő üzemeltetés esetén 33%, 48% ill. 35% hatásfokot prognosztizálnak. A K+F aktivitás itt is eredményez javulást és becslések szerint 2030-ra a karbon eltávolítási technológiával üzemelő egységek hatásfoka legfeljebb 8%-kal lesz alacsonyabb [7]. Ez a körülmény nyilvánvalóan a villamos energiaárak emelkedéséhez, a CCS eljárásokat nem alkalmazó erőművek versenyelőnyéhez vezetnek. A jelenség arra is felhívja a figyelmet, hogy a CO<sub>2</sub> leválasztó eljárások bevezetését nem lehet egyszerű piaci kérdésként kezelni.

Az Európai Unió villamos energia termelésének jelenleg 56%-a fosszilis tüzelőanyag bázison alapul. Előrejelzések szerint ez az érték 2030-ban 40-50% -ra módosul, ami a feltételezett évi 3% átlagos villamos energia előállítás növekedés mellett [11] bővülő fosszilis tüzelőanyag mennyiséget jelent. A tervezett kibocsátás csökkentési programok csak a CCS technológiák intenzív alkalmazásával teljesülhetnek.

Az elterjedtség mértékét 2030-ban mintegy 190 GW beépített kapacitásban prognosztizálják. Távlatos prognózis szerint 2050-ben az EU villamos energia termelésének 19-24%-a fog CCS technológiákkal működtetett erőművekből származni [12]. Az előrejelzések gazdasági realitását a szakértők részint a további fejlesztés hatására bekövetkező beruházási és működési költségek csökkenésével, részint a kibocsátási bírság értékének várható jelentős növekedésével támasztják alá.

Sorsz.	Megvalósítás helyszíne, ber. típus	CCS technológia	Tüzelőanyag	CO <sub>2</sub> tárolás
1	Porto Tolle, Olaszország; erőmű	Post combustion	Kőszén	Tenger alatti
2	Belchatow, Lengyelország; erőmű	Post combustion	Lignit	Szárazföldi
3	Turceni, Románia; erőmű	Post combustion	Lignit	Szárazföldi
4	Peterhead, UK (Skócia); erőmű	Post combustion	Földgáz	Tenger alatti
5	Hunterston, UK (Skócia); erőmű	Post combustion	Kőszén	Tenger alatti
6	Don Valley, UK; erőmű	Pre combustion	Kőszén	Tenger alatti
7	Eston Grange, UK; erőmű	Pre combustion	Kőszén	Tenger alatti
8	Nortz Killingholme, UK; erőmű	Pre combustion	Kőszén	Tenger alatti
9	Drax, UK; erőmű	Oxifuel	Kőszén	Tenger alatti
10	Florange, Franciaország; acélmű	Oxifuel		Szárazföldi
11	„Zöld hidrogén” projekt, Hollandia	Oxifuel		Tenger alatti

Ez utóbbinál 26–35 €/tCO<sub>2</sub> értékben jelölik meg azt a határt, ahol a széndioxid eltávolító eljárások alkalmazása már azonos, vagy alacsonyabb költségszintet képvisel.

*Forrás: 13. ZEP Strategy Review 2012 »9.*

### 3. sz. táblázat NER 300 program keretében megvalósítandó referencia berendezések

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) megállapítása szerint amennyiben 2020-ig nem következik be áttörés a CCS eljárások bevezetésében, úgy más karbonmentes vagy alacsony karbon kibocsátást eredményező erőműi technológiákat kell alkalmazni. Ebben az esetben azonban mintegy 70% ráfordítás többletre kell számítani.

Az EU 2011 májusában hagyta jóvá a NER 300 jelű támogatási programot 5mrd EUR értékben [13]. A támogatás első számú kedvezményezettjei a demonstrációs célú megvalósítási projektek. Kiválasztásra került 11 ipari méretű, CCS technológiát megvalósító projekt, melyek beruházási költségét a program max. 50%-ban támogatja. Az üzemek többsége széntüzelésű erőmű, de a 3. sz. táblázatból láthatóan más kibocsátó létesítmények is szerepelnek a programban.

Kiemelt célkitűzés a hosszútávon is biztonságos beruházási háttér megteremtése. A program keretében egy új piacgazdasági munkacsoportot (TWG ME) hoznak létre, amely tanácsadó testületként kidolgozza a CCS technológiák bevezetésének gyorsításához szükséges feltételeket. A beruházók szempontjából mindenekelőtt a CO<sub>2</sub> kereskedelem és kibocsátás releváns árának és a technológiák invesztálási költségeinek aránya a mértékadó.

A TWG ME feladata a kormányzati szervek árképzési munkájának támogatása az aktuális piaci viszonyokkal történő összhang megteremtése érdekében. A CO<sub>2</sub> szállítási és tárolási infrastruktúra kialakításának gyorsítása szintén fontos eleme a projektnek. Az alapkoncepció értelmében a leválasztott széndioxid szállítási és tárolási infrastruktúrájára vonatkozó döntések meghozatalával célszerű megelőzni a CCS eljárások megvalósítására irányuló terveket. Ez ekkor ösztönzi a technológiai fejlesztéseket. A megújítandó szállítási infrastruktúra munkabizottság feladata a tagállamok nemzeti fejlesztési programjainak gyorsítására, CO<sub>2</sub> klaszterek kialakítására és a határok

korlátozó szerepének megszüntetésére irányulnak. A csővezetéki szállításnak illeszkedni kell az Unió tagállamok energetikai rendszereit összekötő 12 projektéhez.

A tárolás területén új szervezet – tárolási infrastruktúra munkabizottság – alakítandó ki. Feladata koncepciók kidolgozása, a tenger alatti tározás magas költségeinek, az olaj kitermelésnél történő hasznosításhoz szükséges nagyszámú potenciális helyszín előzetes felméréséhez és értékeléséhez szükséges idő- és munkai igénynek ill. a szárazföldi tározókkal kapcsolatos lakossági ellenvéleményeknek figyelembe vételével. Utóbbi hasznosítási eljárásban kiemelt vizsgálati terület az erőmű és a kitermelési technológia (EOR) közötti kapcsolat. A tárolási infrastruktúra kiépítés sürgősségét az is alátámasztja, hogy egy tárolási helyszín értékeléséhez és jellemzéséhez kb. 5 év szükséges. Megalapozott döntés CCS technológia létesítéséről ezt követően várható el. A technológia terjedésének gyorsítását jelentős mértékben segítik elő a jól működő referencia berendezések. A 2010-2012 időszakban az Európai Unió 7-12 Mrd Euro támogatást nyújt a demonstrációs projektek megvalósításához [14].

Angliában az energiával és a klímaváltozással foglalkozó tárcaközi bizottság (DECC) tanulmánya foglalta össze a CCS technológiák bevezetését elősegítő költségcsökkentési területeket. Az anyag

- korszerű kompresszorok rendszerbe építését
- levegő szétválasztási technológiák alkalmazását
- új fejlesztésű, hatékony oldószerek és adszorberek alkalmazását
- az abszorpciós gázleválasztó eljárásoknál a recirkuláció bevezetését
- a tervezésnél szimulációs modellek alkalmazását
- az eljárások paramétereinek optimalizálását
- tervezési időráfordítások csökkentését

tekinti az eljárások gazdaságosságát növelő és a piaci elterjedést hatékonyan támogató lehetőségeknek [15]. Kidolgozásra került a CCS eljárások piacképességét megeremtő, a folyamat valamennyi fázisára kiterjedő program. Klaszterek kialakulását prognosztizálják, amelyek a foglalkoztatottság javulását is eredményezik. A jóváhagyott regionális ill. nemzeti projektek finanszírozására 1 Mrd áll rendelkezésre. A K+F tevékenység 4 éves időtartamban 125m£ támogatásban részesül. Az eredmények ismertetése, a demonstrációs projektek bemutatása ipari partnerek és minisztériumok részvételével megrendezett u.n. ipari napok keretében történik.

A skandináv országokban a fejlesztési célkitűzések jelenleg a CCS technológiáknak a nagyteljesítményű széntüzelésű erőművekben történő alkalmazására összpontosulnak [16]. A kibocsátás jelentős része ugyanakkor kisebb teljesítményű kombinált ciklusú fűtőművekből, cementgyárakból, acélművekből és finomítókból származik. A jövőbeni fejlesztések céljai között a

széndioxid leválasztó eljárásoknak ezekre a területekre történő kiterjesztése szerepel. Szemléletükre jellemző, hogy a biomassza tüzelésből adódó emissziót (54 mt/év) is számon tartják mint kibocsátás csökkentési feladatot.

A leválasztott gáz döntő hányadát az Északi-tengerben tárolják. A magas tárolási és kapcsolódó szállítási költségek az infrastrukturális fejlesztések szükségességére hívják fel a figyelmet.

Az USA-ban az Electric Power Research Institut (EPRI) vizsgálata szerint a villamos energia termeléshez kapcsolódó jelenlegi közel 2,5 Mrd t/év széndioxid kibocsátás csökkentő intézkedések hiányában 2030-ra 3,0 Mrd t/év érték fölé emelkedik. Az emissziót mérséklő megoldások között első helyen a CCS technológiák alkalmazása áll. A tervek mintegy 300 mt/év CO<sub>2</sub> leválasztásával számolnak [17]. A piaci elterjesztés gyorsítását elősegítő feladatokat három csoportban fogalmazzák meg. A technológia népszerűsítése a meglévő CCS demonstrációs berendezésekre vonatkozó kormányzati intézkedéseket igényel (adóhitelek, bónuszrendszer, pénzügyi támogatás). Szükség van a technológiáknak energetikai, környezetvédelmi és gazdaságossági (hőhasznosítás) szempontokból történő továbbfejlesztésére. Végül a fejlesztések során az u.n. hibrid koncepció alkalmazásával a CCS eljárások megújuló energia felhasználással történő kombinálása további gazdasági előnyöket jelentene. Példaként az adszorbensek napenergia felhasználásával történő regenerálása került említésre.

2010-ben közzétett memorandumában Obama elnök is elkötelezte magát a CCS technológiák iránt [18]. Feladatterv készült a hatósági koordinációs tevékenység optimalizálására beleértve a nemzetközi kooperáció szervezését. További feladat a szükséges hatósági kiegészítő tevékenységekre vonatkozó koncepciók kidolgozása. A program végrehajtását az Elnök környezetvédelmi bizottságon keresztül rendszeresen ellenőrzi. A memorandum 2016-ig 5-10 ipari léptékű CCS technológia megvalósítását tartalmazza. A CCS eljárások bevezetésére és elterjesztésére az Egyesült Államok jelentős összeget fordít. Tízéves időtartamban a privát szektorból származó 7 Mrd \$ forrást 3,4 Mrd \$ támogatás egészíti ki [19].

A hazai széndioxid kibocsátás globális mértékben nem számottevő. A csökkentésre vonatkozó tervek a uniós kötelezettségvállalásainkkal összhangban kerültek kialakításra. A Nemzeti Energiastratégia a villamos energia előállításával kapcsolatos CO<sub>2</sub> kibocsátás mértékét 2030-ban közelítőleg 200 t/GWh-ban állapítja meg. Ez a jelenlegi szint 54%-s csökkentését jelenti. A 2050 évi prognosztizált kibocsátás a jelenleginek mintegy 5-7%-a.

A nukleáris energia és megújuló energiahordozók részarányának növelése, és a fosszilis erőművek cseréje ill. korszerűsítése a kibocsátás csökkentés vonatkozásában a CCS eljárások reális alternatíváját kínálja. A 2050-re prognosztizált emissziós elvárások teljesítése azonban már elképzelhetetlen a széndioxid leválasztó technológiák bevezetése nélkül.

Az energiastratégia a villamos energia előállításra vonatkozóan az üzemeltett erőműtípusok kombinációinak 6 változatát dolgozta ki. Az anyag 2050 évre vonatkozóan valamennyi alternatíva esetén tartalmazza a CCS alkalmazása nélküli ill. ennek bevezetésével becsült kibocsátási adatokat és a várható erőmű beruházási költségeket. A két adatsor összevetése azt mutatja, hogy a 2050 évi CO<sub>2</sub> emisszió CCS alkalmazása esetén valamennyi kombinációnál mintegy 20%-ra csökken, a beruházási költségek ugyanakkor 800-1100 Mrd Ft-tal magasabbak.

A jelenlegi helyzetben részint a CCS technológiák költségeinek várható mérséklődése, részint kibocsátás csökkentési kötelezettségeink teljesítésének más lehetőségei miatt a széndioxid leválasztás hazai elterjedése 2030 előtt nem várható.

### CCS technológiák konkrét megvalósítási tervei

A Global CCS Institut (GCCSI) 2010-ben készült felmérése szerint 238 projekt keretében helyeztek üzembe ill. készítették elő megvalósításra széndioxid leválasztási technológiát. 80 nagy teljesítményű berendezés tartalmazza a leválasztás, szállítás, és tárolás fázisát magában foglaló teljes technológiai láncot.

Helyszín	Porto Tolle Olaszország	Janschwalde Németország	Belchatów Lengyelország	Don Valley Anglia	Rotterdam Hollandia	Compostella Spanyolország
Kapacitás	660 MW <sub>e</sub>	300 MW <sub>e</sub>	858 MW <sub>e</sub>	900 MW <sub>e</sub>	1100 MW <sub>e</sub>	323 MW <sub>e</sub>
CO <sub>2</sub> kibocsátás	2,5 mt/év	3,5 mt/év	5,5mt/év	5,9 mt/év	5,0 mt/év	2,0 mt/év
Leválasztás	90 %	92%	90%	90%	90%	91%
CO <sub>2</sub> transzport	1millió t 100 km	1,7millió t 50-300km	1,8 millió t 60-140 km	5millió t 175 km	1,1millió t 25 km	n.a 135 km
Tárolás	tenger alatt	szárazföld	szárazföld	tenger alatt	szárazföld	szárazföld
Tervezett indítás	2015 01 01	2015 12 31	2015 01 01	2015 01 01	2015 01 01	2015 12 31

*Forrás: [Emissziómentes Fosszilis Tüzelőanyagú Erőművek Európai Techn. Platformja ETP-ZEP\) Projects&Communities](#)*

#### 4. sz. táblázat Folyamatban lévő európai megvalósítások

A létesítményeket széntüzelés esetén 1 mt/év, földgáz tüzelőanyagánál 0,5 mt/év értékeket meghaladó mennyiségű CO<sub>2</sub> képződés jellemzi. Közülük 9 egységet már üzembe helyeztek, két berendezés a kivitelezés, a további 69 a megvalósítás és az előkészítés különböző fázisaiban volt. A globális program megvalósítására ajánlott kormányzati támogatás összesen 26 Mrd\$ [20]. A 80



nagyteljesítményű egységből 25 Európában létesül. A 4. sz. táblázat szerinti összeállítás néhány folyamatban lévő európai megvalósítás főbb adatait tünteti fel.

A globális léptékű és jelentős állami (EU) támogatásokkal megvalósított projektek mellett nemzeti kereteken belül is számos új berendezés létesül. Az angliai Drax-ban (Észak-Yorkshire) a White Rose CCS Project keretében oxifuel technológiát terveznek üzembe helyezni 2013-ban. A beruházást az Alstom cég végzi. A 426MW teljesítményű széntüzelésű erőmű 2mt/év CO<sub>2</sub> kibocsátásának 90%-t távolítják el [21].

A norvégiai Mongstad-ban a 100 000 t/év erőműből és finomítóból származó CO<sub>2</sub> eltávolítására alkalmas rendszer 2012 májusában történő üzembe állítását követően 5,8 Mrd norvég korona ráfordítással ugyanott központi CCS rendszert építenek ki. A beruházást a kormány és olajfinomító társaságok finanszírozzák. A skandináv államok tervei szerint 2030-ig 10-30 mt/év, 2050-ig 30-50 mt/év (15-25%) CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentés várható CCS technológiák alkalmazásával. A prognózis feltételezi, hogy a jelenlegi 10-20 €/tCO<sub>2</sub> ár 2050-ig 100 €/tCO<sub>2</sub> értékre nő [2].

Az Egyesült Államokban a fentebb hivatkozott elnöki memorandumban hivatkozott közeli jövőbeli megvalósítások egyik helyszíne az Illionis állambeli Taylorwille, ahol új 716 MW teljesítményű erőmű épül. A szénpor elgázosítási tüzelési technológiával (IGCC) működtetett erőműnél CCS technológiát alkalmaznak. A 2015-ben induló üzem széndioxid kibocsátását az alkalmazott technológia a tervek szerint 65%-kal fogja csökkenteni [22]. A széndioxid csökkentő technológiák terjesztésében jelentős szerepet vállal a Tampa Electric cég. A Siemens-szel együttműködve létesítenek kísérleti üzemet a mintegy 40 évvel ezelőtt létesített floridai Big Bend Power Station széntüzelésű erőmű részére 2013 évi indítást tervezve. A képződött füstgáz egy részénél alkalmazott „Post Combustion” CCS technológia annak 90%-s széndioxid leválasztását eredményezi. A beruházás a taylorwille-i megvalósításhoz hasonlóan a Department of Energy (DOE) támogatásával valósulnak meg. A szervezet további 12 ipari üzem – finomítók, papírgyárak, vegyi üzemek cementgyárak - CCS beruházásához nyújt támogatást.

## **A CCS eljárások elterjesztését támogató K+F projektek**

A széndioxid eltávolítási eljárások bevezetésével kapcsolatban mind a szakmai véleményekben mind a politikai állásfoglalásokban érzékelhető a „kivárás” gondolata. Ennek oka - a fenti költségadatokból is láthatóan – elsősorban a rentabilitás hiánya, ill. a villamos energia árára gyakorolt kedvezőtlen hatás, de megfogalmazódnak a műszaki megoldásokkal kapcsolatos fenntartások is. Mindenfelől várakozással tekintenek az új K+F eredmények megjelenésére.

Az ezredfordulót követően valóban felgyorsultak a kutatás-fejlesztési folyamatok. Számos elkötelezett nemzetközi és nemzeti szervezet valósít meg CCS technológiák piacképesé tételét elősegítő K+F programot – jelentős kormányzati támogatással. A K+F kezdeményezéseket a NER 300 program is támogatja. Kiemelt célkitűzés a nemzeti és uniós fejlesztési programok összhangjának

megteremtése, a tárolási projektek megvalósítása és értékelése ill. a CCS technológiák új, csökkentett költséggel megvalósítható generációjának fejlesztése. A CCS technológiák alkalmazásának jelenlegi fázisában a tárolási infrastruktúra kiépítésének gyorsítása meghatározó eleme a piaci elterjedés folyamatának, így ezek a projektek a jelenlegi koncepció szerint prioritást élveznek. [13].

Az Európai Unió kutatási és innovációs bizottságának energia szektorában számos projekt foglalkozik a CCS technológiákkal [7]. Az 5. sz. táblázat a 2008 -2012 közötti időszakban kidolgozott néhány K+F témát mutat be. A megjelölt támogatási összeget a pályázók a finanszírozási rendszer előírásai szerinti saját hozzájárulásukkal egészítették ki. Az ipari vállalatok a 2003-2008 közötti időszakban 635 m€ összeggel járultak hozzá a K+F tevékenységhez [14]. Kijelölték az évtized további időszakának prioritást élvező K+F célkitűzéseit. Ezek meghatározó része a CO<sub>2</sub> eltávolítás három alaptechnológiájához kapcsolódik.

„Post combustion” technológia:

- Első generációs abszorbensek hatékonyságának javítása katalizátor és új vegyületek alkalmazásával
- Második generációs abszorbensek alkalmazása kombinált CO<sub>2</sub> és SO<sub>2</sub> eltávolításra
- Harmadik generációs szerek alkalmazása (fázis átalakulással járó folyamatok, iontartalmú folyadékok, adszorberek)
- Karbonát képzéssel történő leválasztás
- Kriogén CO<sub>2</sub> eltávolítás
- Füstgáz recirkuláció alkalmazása a hatékonyság növelése érdekében
- Tüzelőanyag cellák alkalmazása

„Pre combustion” technológia:

- Új adszorberek és katalizátorok alkalmazása a CO<sub>2</sub> eltávolítás és a CO konverzió fázisaiban
- A folyamatok optimalizálása

„Oxifuel” technológia:

- Oxigén tüzelésű kazán kiváltása vegyi művelettel
- Oxigénes tüzelés fogadására alkalmas korszerű turbina
- Oxigén előállítás energiaigényének csökkentése

A nyomásfokozás fázisánál az axiál sűrítőknél elérhető magas térfogatáram és a centrifugális berendezések által biztosított nagy nyomást ötvöző új kompresszor kifejlesztése a cél. A szállítás területén a sűrűn lakott területeken keresztül történő transzport és a keverékgázok szállításának modellezése igényel K+F ráfordítást. A tárolás területén új kockázat elemzési módszerek kialakítására, az elhelyezés biztonságát szavatoló modellekre, a szivárgásmentesség megbízható ellenőrzésére van szükség.

Projekt címe	A fejlesztés célja	Támogatási összeg
<b>CACHET II</b>	Membrán alkalmazása CO <sub>2</sub> eltávolításra és hidrogén előállításra	3 900 000EUR
ICAP	Új CO <sub>2</sub> eltávolítási technológia kifejlesztése, a költségek 15 €/t értékre történő csökkentése	4 325 000 EUR
CAOLING	Kalciumoxiddal történő CO <sub>2</sub> eltávolítás üzemi méretű berendezésen történő vizsgálata	3 734 000 EUR
CO2SOLSTOCK	Biológiai bázisú CO <sub>2</sub> tárolás	2 283 000 EUR
CESAR- CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> eltávolítás hatékonyságának növelése, új abszorbense kísérleti vizsgálata	4 000 000 EUR
CAESAR	A CCS technológiák költségeit csökkentő új abszorbensek és berendezések alkalmazása	2 264 000 EUR
DECARBIT	A pre combustion eljárás továbbfejlesztése A költségek 15 €/t-ig történő csökkentése	10 216 000 EUR
CAPRICE	Aminok alkalmazása CO <sub>2</sub> eltávolításra	383 000 EUR
HY2SEPS	Hidrogén és széndioxid szétválasztására alkalmas membrán kifejlesztése	1 559 000 EUR
CACHET	Földgázból történő hidrogén előállítás és a CO <sub>2</sub> eltávolítás költségeinek csökkentése	7 500 000 EUR

Forrás: [Európai Közösség - Energetikai kutatások/Energy research/projects/CCS-CO<sub>2</sub>-Capture](#)

#### 5. sz. táblázat CCS technológiák EU finanszírozású K+F projektjei

A K+F feladatok kidolgozása a 2012-2016 közötti időszakban kb. 950 m€ támogatásban fog részesülni. Azonos összeget terveztek a 2016-2020 időszakra is.

A nagy nemzetközi szervezetek mellett számos kutatási intézményben foglalkoznak a CCS technológiákhoz illeszkedő projektek kidolgozásával. Az MIT-ban (USA) kerámia membránt fejlesztenek [23]. Az ausztráliai Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) fejlesztési témája a CO<sub>2</sub> mosást követő deszorpciós fázis hőigényének szolár energiával történő biztosítására irányul [6]. A Heriot-Watt egyetemen (Edinburgh) szerves anyagok levegőmentes termikus bontása során keletkező magas karbontartalmú anyag (biochare) CO<sub>2</sub> tárolásra való alkalmasságát vizsgálják [24].

A kutatási feladatok kidolgozásában az ipari szektor is részt vállal. A Chevron, ConocoPhillips, ENI, BP, Petrobras, Shell, Suncor Energy és más cégek részvételével létrehozott CO<sub>2</sub> Capture Project (CCP) a technológia valamennyi fázisához kapcsolódóan finanszíroz K+F feladatokat. Programjukban egyebek mellett „oxifuel” technológiával megvalósított fluid katalizátoros krakkolás, normál földgázégőnek oxigénes tüzelésnél történő alkalmazása, olajkitermelésnél alkalmazott gőznek helyszíni előállítása „oxifuel” eljárással, rotációs adszorber fejlesztés, hidrogén-széndioxid elegy szétválasztására alkalmas membrán kifejlesztése szerepelnek [25].

A CCS technológiák színvonalának javítása és költségeinek csökkentése nemzetközi léptékű feladat. Kormányok és cégek dollár (euro) milliárdokat fordítanak az elterjedés piaci hátterének megteremtéséért. Az eljárás általánossá válását azonban néhány további nem műszaki ill. pénzügyi

korlát nehezíti. Hiányzik az alkalmazással összefüggő jogokat és kötelezettségeket keretbe foglaló egyértelmű szabályozási rendszer, a szállítás és tárolás infrastruktúráinak hosszútávú koncepciója. Szükség van a közvélemény korrekt tájékoztatására, az új technológiák biztonságos működtetéséhez szükséges személyzet kiképzésére.

A jelenlegi CO<sub>2</sub> kvóta árak nem ösztönöznék a CCS technológiák bevezetésére. Ezek növekedésében gyorsuló tendencia várható. Reálisnak ítélnél az általánosan hangoztatott vélemény, miszerint a 2020-2030 közötti időszak CO<sub>2</sub> árai továbbá a műszaki színvonal emelését és a költségek csökkentését eredményező fejlesztések már kellő ösztönzést ill. háttérrel fognak jelenteni a széndioxid eltávolító eljárások széleskörű alkalmazásához.

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió résztámogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Összefoglalás

A széndioxid eltávolítási eljárások terjedésének jelenlegi legfőbb akadálya a költség igényesség. A szükséges ráfordítás az alkalmazás helyszíni feltételeitől függően jelentősen különbözhet, de a már megvalósult számos referencia alapján a költségek nagyságrendje jól érzékelhető. A publikáció első része összefoglalja a jelenlegi és várható irányértékeket, az elektromos áramra prognosztizált hatást. A továbbiakban bemutatásra kerülnek a piaci elterjedést támogató kormányzati programok. Ezekhez kapcsolódnak megvalósítás vagy előkészítés fázisában lévő demonstrációs programok.

Az eljárás alkalmazása költségigényes. Jelentős az összhatásfok csökkenést eredményező járulékos energia felhasználás is. A kedvezőle hatások mérséklésére mind Európában, mind az USA-ban átfogó K+F programok kerülnek kidolgozásra. A publikáció tájékoztatást ad a jellemző fejlesztési irányokról is.

## Hivatkozások

1. [Carbon Dioxide Emissions From Power Plants Rated Worldwide](#)
2. [Carbon capture fights its corner](#)
3. [The future of "clean coal"](#)
4. [CO<sub>2</sub> Capture & Storage](#)
5. [The Costs of CO<sub>2</sub> capture/CO<sub>2</sub> Capture Report »](#)
6. [Clean coal/CCS](#) - The current state and future prospects of CCS.
7. [Európai Közösség - Energetikai kutatások](#)
8. [ZEP Statement on COP17/CMP7 »](#)
9. [Carbon Capture by Fossil Fuel Power Plants: An Economic Analysis](#)
10. [Energy Systems Analysis of CCS technology](#)
11. [World energy, technology and climate policy outlook](#)

12. [ZEP Statement on EU Energy Roadmap 2050 »](#)
13. [ZEP Strategy Review 2012 »9.](#)
14. [CCS-EII-Implementation-Plan-final »](#)
15. [Carbon Capture and Storage - Department of Energy and Climate ...](#)
16. [CCS technology offers opportunity for reducing CO2 emissions in the](#)
17. [MIT CCS Retrofits Paper](#)
18. [Interagency Task Force on Carbon Capture and Storage](#)
19. [The future of "clean coal"](#)
20. [Emissziómentes Fosszilis Tüzelőanyagú Erőművek Európai Techn. Platformja ETP-ZEP\)/](#)  
Projects&Communities
21. [White Rose CCS Project Holding - Drax](#)
22. [CCS Technologies to Capture 65% and 90% of CO2 Emissions at ..](#)
23. [Pioneering system could slash future cost...](#)
24. [New method of carbon capture researched at Heriot-Watt University](#)
25. [CCP 2011 Annual Report](#)

## SAJTÓKÖZLEMÉNY

### KÖRNYEZETKÍMÉLŐBB ÚJ BAKTÉRIUMMENTESÍTÉSI TECHNOLÓGIA VÍZMŰVEK SZÁMÁRA

2012 / március / 30.

***Csökkenheti a vízügyi cégek baktériummentesítés során bekövetkező környezetterhelését a COMTRANS Kft. közel 253 millió forintos uniós támogatással megvalósult kutatás-fejlesztési projektjének eredménye. A technológia sikeres piaci bevezetése hozzájárulhat a fenntartható fejlődés céljaihoz, továbbá üzleti siker esetén új munkahelyeket teremthet a COMTRANS Kft.***

A víz az egyik legfontosabb környezeti elem, a vízi ökoszisztémák élettere, a földi élet egyik létfeltétele, de emellett a termelési tevékenység szerves része, jelentős termelési tényező, az ipar és a mezőgazdaság nélkülözhetetlen eleme. Az ivóvíz és szennyvíz környezettudatos baktériummentesítése az emberiség fenntartható növekedése szempontjából kiemelten fontos kérdés. A hagyományos klóros, illetve a 1990-es évektől megjelenő ózonos és UV-fényt alkalmazó baktériummentesítési technológiák magas környezetterhelést okoznak, magas az energiaigényük, állandó szakmai felügyeletet igényelnek és mindezek miatt költségesek.

Egy új, környezetkímélőbb eljárás és technológia kifejlesztésére nyújtott be pályázatot a COMTRANS Kft., mint több évtizedes szoftverfejlesztési és műszaki kutatás-fejlesztési tapasztalattal rendelkező, Miskolcon működő cég a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének együttműködésével. A GOP-1.1.1-08/1-2008-0044 számú projekt 2009. április 1-én indult és 2012. március 31-én zárul. A projekt teljes költségvetése 357.500.000,-Ft, amelyből 252.995.000,-Ft az Európai Unió és a Magyar Állam által nyújtott támogatás.

A projekt újdonságtartalma a nanotechnológiával kezelt fémeknek a vízfertőtlenítésben való alkalmazásában áll, erre sem a hazai, sem pedig a nemzetközi gyakorlatban nincs példa. Az egyenes nano méretű ionos fémek már minimális koncentrációban is toxikus hatással vannak a mikroorganizmusokra úgy, hogy közben az emberi szervezetet nem károsítják, illetve a környezetterhelés mértékét minimalizálják. A technológia alapját az ezüst baktériumölő hatása képezi, amely nano méretű tartományban a felület hatványozott megnövekedésének köszönhetően megsokszorozódik.

A kifejlesztett technológia gyakorlati alkalmazása esetén olyan eljárás válik széles körben elérhetővé a vízügyi cégek részére, amely az eddig alkalmazott módszereknél magasabb minőségi szintet biztosít, környezetkímélőbb, az emberi egészségre gyakorolt hatása kedvezőbb, emellett alkalmazása gazdaságosabb a vízműveket üzemeltetők számára. A kutatás eredményeként, az új eljárás gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálatára, laboratóriumi és félüzemi kísérleti rendszer került kifejlesztésre és megépítésre. Az új technológia prototípusának demonstrációs tesztelése pedig sikeresen lezárult a MIVÍZ Miskolci Vízmű Kft. együttműködésével, annak két üzemi telephelyén.

A prototípus alkalmazásával létrejövő technológia és a technológia üzemspecifikus alkalmazását biztosító tervező szoftver a piacon jelenlévő fenntarthatósági, költséghatékonysági és minőségi igényekre kínál innovatív megoldást, amely szolgáltatás sikeres bevezetésével hozzájárulhat a vízügyi cégek környezetterhelésének csökkentéséhez, továbbá üzleti siker esetén új munkahelyeket hozhat létre a COMTRANS Kft.

#### **Kapcsolat: COMTRANS Kft.**

Cím: 3515 Miskolc, Egyetem u. 7.

Tel.: +36-30/37-000-35

E-mail: halasz.bernadett@comtrans.hu



A projektek az Európai Unió támogatásával valósulnak meg.

## EGY ÚJRA HASZNÁLATOS RÉGI TALÁLTMÁNY A STIRLING MOTOR, AZ LTD VÁLTOZAT FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

Molnár László  
okl. környezetmérnök



Robert Stirlinget az emberszerető megfontolások vezérelték motorjának létrehozásában. A gőzgépekkel dolgozó emberek között gyakran fordultak elő súlyos balesetek. Stirling biztonságosabb, hatékonyabb és csendesebb erőgépet alkotott, úgynevezett hőlégmotort alkotott.

A Stirling-motor működése: a váltakozva hevített és hűtött töltőgáz (amely lehet levegő, de más anyag, például földgáz, hélium vagy hidrogén is) egy dugattyút mozgat, ez hajthat meg egy áramtermelő generátort. A felszabaduló hőt hasznosítani is lehet, vagy éppen fordítva, a Stirling-motor alkalmazható fűtőberendezésként is, mint például a freiburgi stadionban télen a gyep melegítésére. Már ígéretes fejlesztések folynak arra is, hogy káros hajtógáz nélkül, tisztán a légköri nitrogénnel töltve, hűtő- és mélyhűtő berendezésekben is hasznosítsák. Mivel a motor folyamatos lánggal üzemel, lényegesen csendesebb, mint a ciklikus gyújtású belső égésű motorok.

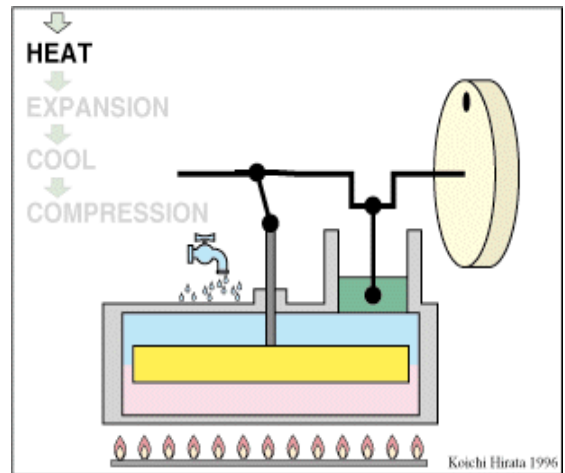
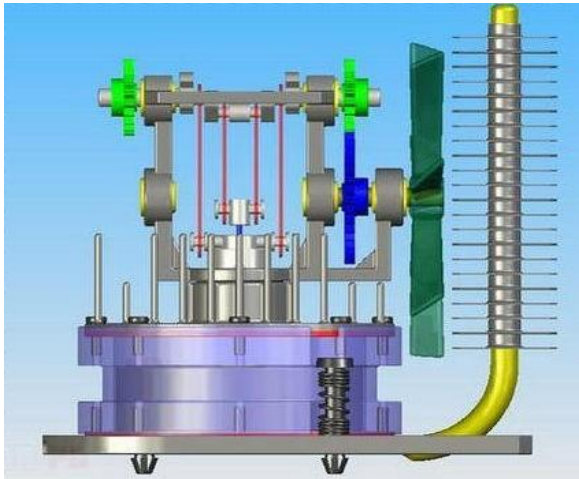
**A Stirling-motor egyik fajtája az LTD típusú az úgynevezett alacsony hőmérséklet különbséggel működő motor, ami véleményem szerint nagyon ígéretes jövő előtt áll. Egy már konkrét megvalósult fejlesztés**



„A budapesti Szent Margit Gimnáziumban frissen érettségizett tanulók egy ún. Stirling-motorral működő processzorhűtő-prototípust építettek, mely a chip üzemi hőjét hasznosítja, hajt egy ventilátort, és dinamó segítségével áramot is tud termelni. Az iskolai technikateremben összebarkácsolt szerkezetet két hete a Csodák Palotájában mutatták be, a projektet az Intel versenyére benevező Magyar Innovációs Szövetség (MISZ) által szervezett minikiállításon – ott beszélgettünk velük mi is.

A hűtő a kiállított PC-ben egy 2,4 GHz-es Intel Core 2 Duo processzort tart 75 fok körüli üzemi hőmérsékleten. A szintén házi készítésű Stirling-motor maga – mondják – akkor lép működésbe, ha a chip hőmérséklete eléri a 60 fokot, ami ideális, hiszen e küszöb alatt a passzív hűtés is elegendő. A megoldás önjáró és ezért környezetbarát, mert úgy hűti az áramkört, hogy a hulladékhőn kívül más energiát, így áramot sem használ. Sőt: a motor által hajtott tengelyre dinamó is köthető, amivel mellékhatásként áramot lehet termelni.” Átalakító elektronika segítségével pedig akár a visszatáplálható lenne csökkentve az elektromos energia ezzel is csökkentve a rendszer fogyasztást. Ez a típusú motor véleményem szerint alkalmas lehetne akár nem koncentrált napenergia vagy kis sűrűségű hőfluxust is hasznosítani.





**Felhasznált irodalom :**

<http://zoldtechnologia.hu/az-oreg-lelkesz-megujult-talalmanya-divatba-jott-a-stirling-motor>

[http://itcafe.hu/hir/hovel\\_hutott\\_processor\\_stirling-motor\\_intel\\_isef.html](http://itcafe.hu/hir/hovel_hutott_processor_stirling-motor_intel_isef.html)  
[portal.bme.hu/...](http://portal.bme.hu/...)