

# TERMÍKUS HULLADÉKKEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK GAZDASÁGI ÉS GAZDASÁGOSSÁGI KÉRDÉSEI

## THE ECONOMIC AND ECONOMICAL QUESTIONS OF THE THERMIC TREATMENT PROCESSES

*Bodnár István\**

### ABSTRACT

*This paper presents the economic side of the thermic treatment processes. It compares the technologies through the most important economic questions that emerge. It examines the specific investment expenses of the technologies from two visual angles, since it matters whether the aim is to dispose a given mass of waste, or to produce one kWh of electric energy. The selection of the power machine depends on this. For the type of the applied power machines not only has an effect on the investment expenses, but also on the measure of the sales income and the times of the outlay. In the course of the calculations I selected a machine with the best electric power efficiency that can be used.*

### 1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években gyakran hallani a hulladékgazdálkodásban a termikus ártalmatlanítási eljárásokról. Számos előnyt és hátrányt fogalmazznak meg mind mellettük, mind ellenük. Kezdetben csak elméleti, a gyakorlatban nem bizonyított érvek és ellenérvek kerültek a köztudatba sokszor valótlan adatokkal. A laboratóriumi és fél üzemi berendezéseknek köszönhetően a kutatási eredmények egyre kedvezőbb értékeket mutatnak. De nem csak műszaki-technológiai szemszögből célszerű ezeket a technológiákat megvizsgálni! A környezetterhelés az energetikai hatékonysági paraméterek és a gazdasági, gazdaságossági mutatók is fontos szerepet játszanak egy-egy technológia létjogosultságában és alkalmazhatóságában. A világgazdaságban bekövetkező változások ideértve a termelékenység visszaesését, a gazdasági recessziót, valamint a fizetőképesség csökkenését, kiemelt fontosságúvá vált a technológiák gazdasági és gazdaságossági mutatói, háttérbe szorítva a többi szintén fontos paramétereket. Időszerűnek, sőt sürgetőnek tartom megvizsgálni, hogy hazai körülmények között mennyire állják meg a helyüket ezek a technológiák gazdasági és gazdaságossági kérdések tekintetében.

\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

Éppen ezért ebben a tanulmányban a gazdasági és gazdaságossági mutatókra és kérdésekre térek ki. A kapott eredmények megdöbbentőek. Egyes technológiák jobban, mások pedig rosszabbul teljesítettek, mint ahogy az előzetes adatok alapján vártam.

### 2. A VIZSGÁLT TERMÍKUS HULLADÉKKEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK BEMUTATÁSA

A hulladékgazdálkodásban jellemzően négy termikus kezelési eljárást használnak. A legismertebb és egyben a leggyakrabban alkalmazott eljárás a hagyományos égetés. Az Európai Unióban üzemelő hulladékégetők több, mint 95 %-a ezt az eljárást alkalmazza. E technológiánál két megoldást vizsgáltam, az egyik energiatermelés nélkül égeti el a hulladékot, a másik égetőmű pedig energiatermeléssel egybekötött ártalmatlanítást valósít meg. A második technológia a pirolízis, amely szintén ismert, de kevésbé elterjedt megoldás, főleg biomassza és gumiabroncs kezelésére használják. E technológiánál a keletkező haszontermékek mindegyike energiatermelés céljából lett hasznosítva. A harmadik technológia a gázosítás, amely világszinten ismert eljárás, azonban napjainkban szinte kizárólag biomassza, valamint tűzifa hasznosítására alkalmazzák. Végül pedig a negyedik, egyben a legfiatalabb eljárás a plazmatechnológia, amely még a szakemberek számára is gyakran ismeretlen [4]. E technológiánál is két megoldást vizsgáltam, egyrészt a hőmérséklet, másrészt pedig az alkalmazott segédáramok tekintetében. A technológiai jellemzők eltérései miatt tartom szükségesnek bemutatni mindkét megoldást [5]. A technológiák reakciókörülményeit és az alkalmazott erőgép típusát az 1. és a 2. jelű táblázatok tartalmazzák.

A segédáramokat tekintve megjegyezném, hogy a levegő kivételével mindegyik segédgáznak üzemeltetési költségnövelő hatása lesz. A levegőt leszámítva a vízgőz lesz a legolcsóbb és az O<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> keverék lesz a legdrágább. Végül melyik segédgázt válasszuk azt a hulladék típusa, az energetikai és a gazdasági mutatók együttesen fogják eldönteni optimalizálás segítségével.

1. táblázat: A vizsgált termikus hulladékkezelési eljárások reakciókörülményei

Technológia	T [°C]	$\lambda$	Segéd- áramok
Pirolízis	500	$\lambda = 0$ endoterm	-
Hagyományos égetés (energia-termelés nélkül)	1150	$\lambda = 1,5$ exoterm	levegő, földgáz póttüzelés
Hagyományos égetés (energia-termeléssel)	1150	$\lambda = 1,5$ exoterm	levegő, földgáz póttüzelés
Gázosítás	1200	$\lambda = 0,55$ parciális oxidáció	levegő
Plazma-technológia	3000	$\lambda = 0,55$ parciális oxidáció	vízgőz
Plazma-technológia	5000	$\lambda = 0,55$ parciális oxidáció	O <sub>2</sub> és CO <sub>2</sub> keverék

2. táblázat: A technológiáknál keletkező főbb végtermékek és az alkalmazott erőgépek típusa

Technológia	Keletkező végtermékek	Erőgép típusa
Pirolízis	pirogáz, piroolaj, pirokoks	gázmotor, dízelmotor és kondenzációs gőzturbina
Hagyományos égetés (energia-termelés nélkül)	füstgáz, salak, hamu, pernye	nincs erőgép
Hagyományos égetés (energia-termeléssel)	füstgáz, salak, hamu, pernye	kondenzációs gőzturbina
Gázosítás	szintézisgáz, salak, hamu	gázmotor
Plazmatechnológia (3000°C)	szintézisgáz, üvegesedett salak	gázmotor
Plazmatechnológia (5000°C)	szintézisgáz, üvegesedett salak	gázmotor

### 3. TECHNOLÓGIÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A FAJLAGOS BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK TEKINTETÉBEN

A legelső kérdés, ami felmerül a tervezés során, hogy milyen technológiát és milyen technológiai paramétereket válasszunk? Ennek a megválaszolását jellemzően az adott hulladékáram veszélyessége fogja eldönteni. Itt

kapcsolódnak be a környezetvédelmi kérdések a gazdasági és gazdaságossági kérdések mellett. Nem veszélyes hulladékok esetén célszerű kisebb hőmérséklet-tartományban (500 ÷ 800 °C) gondolkodnunk, mert a hőmérséklet csökkentése a beruházási költségeket nagyobb mértékben fogja csökkenteni, mint amilyen mértékben növeli a technológia környezetkockázati tényezőjét. Veszélyes hulladékok esetén egy adott hőmérséklet alá (1150 °C) nem mehetünk a törvényi előírások miatt, ezért ott mérlegelnünk kell, hogy melyik az a hőmérséklet, amely környezetvédelmi és gazdasági, gazdaságossági szempontok szerint optimális. Ezt a hőmérsékletet optimalizálási eljárás alkalmazásával, az LCA (Life Cycle Assessment, életciklus-elemzés) adatok birtokában és gazdasági, illetve gazdaságossági mutatók felhasználásával találhatjuk meg. A technológia típusát pedig az fogja meghatározni, hogy a keletkező végtermékekkel mi a célunk. Hagyományos égetésnél füstgáz és salak keletkezik, amely környezetterhelő hatással bír. Ezzel ellentétben a pirolízisnél éghető termékek – pirogáz, piroolaj és pirokoks - keletkeznek, amelyek számos iparban (vegyiparban, kohászatban, olajipar) hasznosíthatók energiahordozóként, vagy alap- és segédanyagként. Gázosításnál a keletkező szintézisgáz lesz hasznosítható, de a salak szintén problémát jelenthet. Plazmatechnológiánál pedig a szintézisgáz és az üvegesedett salak is haszontermék, amelyek értékesítése bevételi forrást jelent a hasznosítómű számára.

A második kérdés, hogy milyen erőgépet, energiatermelő egységet alkalmazunk? A technológiáknál alkalmazott erőgépek típusa jelentősen befolyásolni fogja a gazdasági és a gazdaságossági mutatókat. Nem csak a beruházási, hanem az üzemeltetési és a karbantartási költségek tekintetében is jelentős eltérés figyelhető meg. Mivel az erőgépeket a villamos- és a hőhatásfokkal, valamint ezek arányával lehet jellemezni, ezért e hatékonysági paraméterek meghatározóak lesznek a technológiák létjogosultságában, főleg a megtérülési időkben fognak megmutatkozni. A gőzturbinák villamos hatásfoka általában kisebb, mint 20 %, a hőhatásfoka pedig átlagosan 60 %. Ezzel ellentétben a gáz- és dízelmotorok átlagosan 40 %-os villamos és 45 %-os hőhatásfokkal üzemelnek [6]. Rögtön felmerül a kérdés, hogy a villamos-, vagy a hőenergiára van-e nagyobb szükségünk? Mivel a villamos energia ára csaknem ötszöröse a hőenergia árának, ezért a megtérülési idő fordítottan arányos lesz a villamos hatásfok értékével. Ezért ahol lehetséges, ott célszerű a legnagyobb villamos hatásfokkal rendelkező, és a legnagyobb villamos hatásfok és hőhatásfok arányú erőgépet választani (kondenzációs gőzturbina, gázmotor, dízelmotor). Azonban nem elegendő csak az erőgépek hatásfokát figyelembe venni, mert a technológiáknak és az erőmű segédberendezéseinek, irányítás és vezérléstechnikai eszközeinek önfogyasztása, ezt a hatásfokot csökkenteni fogja. Így végül a nettó energiahatékonysági paramétereket kell figye-

lembe venni a megtérülési idő számítása során. A hatásfok mellett még egy paraméterrel kell számolni, mégpedig a fajlagos kinyerhető hasznos energiamennyiséggel, amely megadja, hogy egy kg tömegű feladott hulladékból mennyi hasznos villamos és hőenergiát lehet előállítani. Részben ez a paraméter és a hatásfok fogja a szükséges erőgép-teljesítményt és egyben a beruházási költségek legjelentősebb komponensét determinálni. Ennek megfelelően a beruházási költségek két fő költséghelyre oszthatók. Az első költséghely maga a hulladékártalmatlanító berendezés, vagy reaktor (égetőkemence, pirolizáló és gázosító berendezés, valamint plazmareaktor) a kiszolgáló- és segédberendezésekkel, valamint a mérő, irányító és vezérlő eszközökkel. A költségek második csoportját pedig az energiatermelő egység (ellennyomósos gőzturbina, gázmotor, dízelmotor) és az ő kiegészítő berendezései alkotják. A teljes beruházási költség ezek összegzéséből adódik.

A fajlagos beruházási költséget két irányból közelíthetjük meg. Egyrészt a viszonyítási alap lehet az egységnyi idő (egy óra) alatt ártalmatlanítandó hulladék tömege, azaz a tömegáram, másrészt pedig az egységnyi idő (egy óra) alatt megtermelendő villamos energiához tartozó villamos teljesítmény, azaz az órás teljesítmény. Ha mindkét alapra elvégezzük a számításokat meglepő értékeket kapunk (3. táblázat).

3. táblázat: Fajlagos beruházási költségek alakulása technológiánként

Technológiák	Fajlagos beruházási költségek	
	eFt/kg-hulladék/óra	eFt/kWh villamos/óra
Pirolízis	735	422,41
Hagyományos égetés (energia-termelés nélkül)	1 597,2	nem értelmezhető
Hagyományos égetés (energia-termeléssel)	1 729,7	3 263,58
Gázosítás	2 325	1 107,14
Plazmatechnológia (3000°C)	6 081	1 192,35
Plazmatechnológia (5000°C)	11 685	889,27

Érdekes, hogy ha óránként egy kg hulladékot szeretnénk ártalmatlanítani, akkor az 5000°C hőmérsékleten végzett plazmatechnológia fajlagos beruházási költsége csaknem hétszerese a hagyományos égetőműnél tapasztalhatónak. Ez az óriási költségtöbblet a nagyobb hőmérséklet miatt jelentkezik. Nagyobb hőmérsékleten a hulladék nagyobb része megy át gáz fázisba, ami a reaktor térfogatának növekedésével jár. Ilyen nagy hőmérsékleten speciális hőálló anyagokat kell használni a reaktor anyagaként, amely szintén jelentős költségnöve-

kedést jelent. A mérés-, a vezérlés- és az irányítástechnikai eszközök, valamint a kiszolgáló berendezések tekintetében ugyancsak költségnövekmények lépnek fel. Mindezek a költségek 72 %-át teszik ki. A maradék 28 % a gázmotor és segédberendezéseinek az ára. Ezek összessége adja ezt az óriási költséget. Ami szintén szembevetendő, hogy ha óránként egy kg hulladék ártalmatlanítása a cél, akkor a plazmatechnológia a legdrágább, de ha óránként egy kWh villamos energia előállítása a cél, akkor ez a második legolcsóbb megoldás. Ez azért lehetséges, mert ennél a technológiánál lehet egységnyi tömegű hulladékból a legnagyobb energiamennyiséget kinyerni (itt a legnagyobb a fajlagos kinyerhető hasznos energiamennyiség). Csaknem 25-ször többet, mint a hagyományos égetésnél.

#### 4. A VÁRHATÓ MEGTÉRÜLÉSI IDŐK ÉS A VILLAMOSENERGIA ELŐÁLLÍTÁS KÖLTSÉGE

A várható megtérülési idő számítása során az erőmű teljes élettartamára (15 év) vonatkozóan kell figyelembe venni az összes kiadást és az összes árbevételt, természetesen az adók és az egyéb járulékok levonásával, valamint a várható inflációval kompenzálva. Az itt felmerülő kérdések: Mekkora létszámú személyzettel lehet biztosítani a hulladékhasznosító erőmű biztonságos üzemvitelét? Mennyi üzemviteli mérnökre, karbantartóra és egyéb személyzetre lesz szükség? Mekkora legyen az ő fizetésük? Ezek megválaszolása némi technológiai jártasságot, ismeretet igényel. A számítások során négy üzemviteli mérnököt, két karbantartót és egy üzemvezetővel számoltam. Az üzemviteli mérnökök felelősek az erőmű biztonságos üzemvitelért, a felügyeletért és a szükséges beavatkozások, valamint a technológiai paraméter-beállítások módosításáért. Az ő fizetésüket egy átlagos főiskolai, vagy alapszakos diplomával rendelkező mérnök átlagfizetésével vettem figyelembe. A karbantartók felelősek a napi karbantartási feladatok ellátásáért. A beállítások módosításának elvégzéséért. Az ő fizetésük egy hazai szakmunkás átlagos bérével megegyező mértékű. Végül pedig az üzemvezető, aki az értékesítéssel, bérkifizetéssel, valamint a hulladéklogisztikával foglalkozik. Az ő fizetése az üzemviteli mérnökök fizetésénél 20 %-kal nagyobb. A bérek tekintetében a munkáltatói járulékot a hatályos jogszabály alapján 27 %-nak vettem [2]. A villamos energia kötelező átvételi ára napi átlagban 28,61 Ft. Mivel a hulladék kevert (szerves) ipari hulladék, amely egyaránt tartalmaz veszélyes és nem veszélyes komponenseket, ezért azok arányának megfelelően határoztam meg a hulladék átvételéből származó bevételt, amely 30 Ft/kg-hulladék. A számítás során feltételeztem, hogy a bevételek és a kiadások az infláció mértékével megegyezően fognak nőni (2,5 %) [1]. Az üzemeltetés egyéb költségeit, mint a segédáramok, és a karbantartási költségek, technológi-

ánként külön-külön határoztam meg. Az ÁFA és a társasági adó a hatályos jogszabályoknak megfelelően 27 és 35 % [2][3]. Az erőmű kapacitása 1 t/h. Az így kapott várható megtérülési időket ( $t$ ) és a villamos energia fajlagos előállítási költségét ( $k_{\text{villamos}}$ ) a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A termikus hulladékkezelési technológiák várható megtérülési ideje és a villamos energia fajlagos előállítási költsége

Technológia	$t$ [év]	$k_{\text{villamos}}$ [Ft/kWh <sub>e</sub> ]
Pirolízis	2,34	2.4546
Hagyományos égetés (nincs energiatermelés)	7,39	-
Hagyományos égetés (energiatermeléssel)	10,37	8,1583
Gázosítás	5,75	2,1338
Plazmatechnológia (3000°C)	7,11	0,8562
Plazmatechnológia (5000°C)	5,76	0,7697

Megfigyelhető, hogy a legkisebb megtérülési idővel a pirolízist alkalmazó erőmű rendelkezik, a második helyen a gázosítás foglal helyet. Egy hajszállal lemaradva a harmadik helyen az 5000°C hőmérsékletet alkalmazó plazmatechnológia végzett. A hagyományos égetés esetében az energiatermelést elhagyó égetőműnek közel 30 %-kal kisebb a megtérülési ideje, mint az energiatermeléssel egybekötött ártalmatlanítóé. Ennek az a magyarázata, hogy az energiatermelő egység beruházási költsége, nagyobb, mint magáé az égetőé, és ezt a többletet még az energiatermelésből származó árbevétel se tudja kompenzálni. Ezért találunk világszerte, többek között Magyarországon is energiatermelés nélküli hagyományos hulladékégetőket. Ha a villamos energia fajlagos előállítási költségét tekintjük, akkor viszont az 5000°C hőmérsékleten végzett plazmatechnológiával tudunk a legolcsóbban és hagyományos égetéssel tudunk a legdrágábban villamos energiát előállítani. Viszonyítási alapként: 1 kWh villamos energiát földgázból 25,128 Ft-ért lehet előállítani. Ebből az következik, hogy a hulladékok energiatermelésre történő használata mindamellett, hogy fosszilis energiahordozókat vált ki, gazdaságilag is sokkal kedvezőbb megoldás!

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A hulladékok termikus ártalmatlanítására szolgáló technológiái közül, az optimális kiválasztásának folyamata során számos kérdés merül fel, amelyek megvála-

szolása rendszerszintű gondolkodást igényel. Célszerű a technológiákat komplex módon összehasonlítani és értékelni, amely eredményeként a legjobb technológiák kiválasztásra kerülnek. Gazdasági és gazdaságossági kérdések tekintetében a hagyományos égetés teljesített a legrosszabban, ezért is lenne indokolt az új termikus ártalmatlanítási technológiák alkalmazása a hulladék-gazdálkodásban.

## 6. SUMMARY

In case of the thermic treatment processes, a number question arises during the process of choosing the best and it requires systematic thinking to respond them. It is expedient to compare and evaluate the technologies in a complex way, so that the best technologies could be selected. Regarding economic and economical questions, the conventional incineration performed the worst, so the application of new thermic treatment processes would be justified in the waste management.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A tanulmányban ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 jelű és a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projektek részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

## 8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. HORVÁTH ZS.: Képletgyűjtemény. Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest, 2011.
- [2] DR. BOZSIK S.: Pénzügyi számítások. Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem, 2009.
- [3] TÓTHNÉ DR. SZITA K.: Környezetgazdaságtan. Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem, 2012.
- [4] ÖRVÖS M.: Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal. BME oktatási segédlet, 2008.
- [5] BODNÁR I., MANNHEIM V.: Szerves ipari hulladékok kezelésére szolgáló technológiák vizsgálata környezetterhelési, energiahatékonysági, és gazdasági aspektusokból. Multidiszciplináris Tudományok. A Miskolci Egyetem kiadványa. 2. kötet. 2012. 1. sz. pp. 9-20.
- [6] MANNHEIM V., BODNÁR I.: Hulladékkezelési eljárások környezetterhelési és energiahatékonysági vizsgálata. Energiagazdálkodás. 54. évf. 3. sz. 2013. pp. 8-11.