

## SZEKUNDER ENERGIAHORDOZÓ GÁZOK TERMIKUS HASZNOSÍTÁSA THERMAL UTILIZATION OF GASEOUS SECONDARY ENERGY SOURCES

*Dr. Kapros Tibor*

*ny. egyetemi docens*

*Műszaki Anyagtudományi Kar, Energiahasznosítási Intézeti Kihelyezett Tanszék*

### **Abstract**

The paper focused on the utilization of gaseous secondary energy sources – stressed of the gasification products of wastes and of the metallurgical gaseous by-products. Giving an overview about the present situation of the thermal utilization of communal and industrial solid wastes, it summarizes the gasifying processes. The second part of the publication introduces a simplified calculation method for defining of the transferred heat at the firing chamber if natural gas would be substituted by non conventional gaseous fuel. The difference could achieve the range of 2-4% resulting important modification of the total energy utilization process.

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A dolgozat a hulladékok elgázosítási folyamataiban és a metallurgiai eljárásokban képződött szekunder energiahordozók termikus hasznosítására összpontosít. Bemutatja a szilárd kommunális és ipari hulladékok hasznosításának jelenleg elterjedten alkalmazott módszereit kiemelt figyelemmel az elgázosítási technológiákra. A folytatásban egyszerűsített számítási módszer kerül ismertetésre, amelynek segítségével különböző gázok tüztéri hőátadásának mértéke határozható meg. Az összehasonlító számítási eredmények szerint földgázt nem hagyományos gáznemű tüzelőanyaggal – pl. kamragázzal - helyettesítve 2-4% energia megtakarítás is elérhető.

### **BEVEZETÉS**

Villamos vagy fűtési célú energia előállítására a földgáz ill. PB gáz mellett jelentős és egyre növekvő mennyiségben használnak hulladékok termikus kezelésével nyert szintézis gázokat. Alkalmazásuk többnyire a földgáz kiváltásának lehetőségéhez kapcsolódik. Ugyanakkor a gáztüzelő berendezések és rendszerek alapesetben „normál” földgáz ill. PB gáz tüzelőanyag bázison történő üzemeltetés céljára kerültek kifejlesztésre, ahol a gáz szénhidrogén tartalma általában meghaladja a 90%-t. A szintézis gázoknak a földgázéhoz képest eltérő összetétele a fűtőértékek különbözősége mellett azonban az alkalmazás számos egyéb járulékos szempontját is felveti. Ezek egyik eredő hatása a tüztéri hőátadási viszonyok megváltozása. Ez befolyásolja az elektromos vagy hőenergia termelés hatásfokát, de

magasabb tüztéri hőmérséklet a falazatra nézve is nagyobb termikus igénybevételt jelent. A hulladék gázoknak vagy szilárd hulladék hőbontásával képződött szintézis gázoknak meglévő rendszereknél történő alkalmazása mindezek figyelembe vételét igénylik.

### Hulladék alapú energia termelés

A hulladék kezelés ma már Európa minden országában a környezetvédelem kiemelt feladata. A megoldás több irányból közelíthető meg. Értékelve ezek összesített végső hatását környezetünkre, a rangsorolás az 1. sz. ábrán bemutatott „piramis” alapelvnek megfelelően történik [1].

Felmérés szerint világméretben a hulladékkezelési módok közül jelenleg a tárolás képviseli a legmagasabb részarányt (57%). Az égetés a hulladékok 18%-ra terjed ki, míg a hulladékok 25%-nál alkalmaznak újrahasznosítási technológiát [2]. Európában a termikus hasznosítást elterjedtebben alkalmazzák. Az átlagos érték 20%, de Dániában és Svájcban a hulladéknak közel felét használják energia termelésre. Az arány Németországban is 34% [3]. Előrejelzések szerint a legnagyobb fejlődés ez utóbbi eljárásoknál várható, de a termikus hasznosítás hányada is növekvő tendenciát képvisel. Jóllehet a „hulladékból energia” csábító stratégia, azonban a technológiák gazdaságos és környezetkímélő megvalósítása összetett folyamat, ahol számos feltételnek kell teljesülni. A termikus hasznosítás támogatói és ellenzői egyaránt számos érvet sorakoztatnak fel.



**Forrás:** Hornyák M. *Hulladékok termikus hasznosításának szerepe az új keretirányelv tükrében. Konf. ea. Veszprém 2010. április*

1. ábra Hulladékkezelési hierarchia

Az energia előállításának gyakorlatban jelenleg alkalmazott technológiái a hulladék termikus kezeléséhez kapcsolódnak. Ennek előnyei az alábbiak szerint összegezhetők.

- A hulladékból jelentős mennyiségű elektromos, ill. hőenergia nyerhető. Ez hálózati betáplálás szempontjából is számottevő, de a lokális energiaellátásban is fontos szerepet tölthet be.
- A termikus kezelések „melléktermékei” számos esetben (jobb) lehetőséget biztosítanak a nem éghető hulladékok újrahasznosítására.
- Hulladéktároló helyek kapacitását szabadítja fel, ill. teszi szükségtelemmé sűrűn lakott vidékeken új, helyigényt és környezeti terhelést jelentő tároló kialakítását.
- A termikus kezelés megteremti kórházi és egyéb veszélyes hulladékkezelés lehetőségét
- Csökkenti a nyitott depóniatelepek metánkibocsátásából származó üvegházhatást.

A technológia ellenzői az alábbi érveket fogalmazzák meg

- Az égetési technológia az egészségre rendkívül ártalmas dioxin és furán komponensek megjelenését eredményezi.
- A beruházás megvalósítása jelentős költséget igényel.
- A teljes folyamat az alapanyag előkészítő és a füstgáz, ill. salakkezelő fázisokban egyúttal jelentős mennyiségű energiát használ fel. A nettó energiahozamot ez jelentősen csökkenti.
- Az elégetlen, ill. hasznosíthatatlan végtermékek biztonságos deponálásánál további kezelésre van szükség.
- A végtermékek ismét a hulladéklerakóba kerülnek. A hulladék szervesanyag tartalma folyamatosan csökken. A folyamat energiahozama idővel negatívvá válhat.

Mindkét oldalon jelennek meg pozitív, ill. elrettentő hatású bizonyítékok valamely álláspont védelmében. A hulladékkezelési módok sorában az újrahasznosítás prioritása általánosságban nem vitatható – amennyiben a technológia garantálni képes az elvárt minőséget. A termikus kezelést minden esetben elutasító vélemények azonban az előnyök alulértékelése és a negatív példák általánosítása mellett nem (vagy csak idealizált mértékben) veszik figyelembe

- a hulladékok gyűjtésének, rendelkezésre állásának meglévő rendszerét mint realitást,
- más hulladékkezelési technológia adott helyszínű megvalósításának akadályait, időigényét
- a hulladékégetést „helyettesítő” más technológiák, vagy a tárolás energia igényét és környezeti hatását.

A megvalósíthatóság döntő szempontja a technológiának a környezetre gyakorolt hatása. Brit célvizsgálat mutatta ki, hogy 1 t városi hulladéktelepi hulladék elégetésekor 132 kg CO<sub>2</sub>, 1,1-5,5 g

korom és más szilárd részecske, 16,5 g sósav-gáz, 275 g SO<sub>2</sub>, 1925 g NO<sub>x</sub>, 82,5 g CO és 10<sup>-6</sup>g dioxin képződik.

Az előállított energia mennyisége – 20% hatásfok és 8 000 kJ/kg fűtőérték feltételezésével - kb. 130 m<sup>3</sup> földgáz eltüzeléséből származó villamos energiának ( $\eta_{el} = 0,35$ ) felel meg. A képződött füstgáz mennyisége földgáztüzelés esetén 1615m<sup>3</sup> (n=1,2). A keletkezett CO<sub>2</sub> mennyisége 220 kg. A füstgáz NO<sub>x</sub> tartalma 100 mg/m<sup>3</sup> kibocsátást tételezve fel 161,5 gramm. A szénmonoxid kibocsátás nagyságrendje 20 gramm.

Az adatokból kitűnik, hogy szilárd hulladék eltüzelésekor a széndioxid terhelés kisebb. További előny, hogy a hulladékban elégetett karbon 50-60%-a nem fosszilis eredetű, klíma semleges komponens. Egyéb szennyezők vonatkozásában azonban nagyobb kibocsátási értékek adódnak, mint földgáztüzelés esetén. A fosszilis tüzelés füstgázával összehasonlítva további szennyezőanyagok is jelennek meg. A példa jól érzékelteti a kérdés összetettségét. A döntéshozatalnál a kibocsátási értékek egyszerű összehasonlításán kívül vizsgálni kell a képződött szilárd végtermékek további kezelésének és tárolásának feltételeit, az égetés elmaradása esetén jelentkező, egyéb kezelési technológiákhoz vagy a tároláshoz kapcsolódó – gyakran jelentős - környezeti ártalmakat és természetesen mindezek pénzügyi vonzatát.

### **Hulladék alapú szintézis gázok előállítása**

A szilárd hulladékok közvetlen energetikai hasznosítása rostélytüzelésű vagy forgódobos kemencében történő elégetéssel, egyéb tüzelőanyagokkal történő együttégetés formájában, ill. plazmatechnológia megvalósításával történik. A termikus hasznosítás céljára szolgáló hulladék alapú gázok előállítása hőbontással történik. A szerves anyagú hulladékok összetett vegyületei hő hatására, oxigénmentes (pirolízis) vagy oxigénszegény (elgázosítás) közegben, szabályozott körülmények között kémiai bomlási folyamatban vesznek részt. Az eljárás során gázmotorokban is felhasználható pirolízis-gáz, folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó víz) és szilárd végtermék (pirolízis-kocsz) keletkezik.

A pirolízis alkalmazása főként homogén hulladékokra korlátozódik (gumi, műanyag, fa, kábelhulladék, stb.). Az eljárás alkalmas tiszta, magas fűtőértékű gáznak homogén hulladékból, vagy biomasszából történő előállítására. A feldolgozott hulladék anyagtól függően a gáz jellemzően 22 - 30 MJ/m<sup>3</sup> fűtőértékkel rendelkezik. A hulladék szénhidrogén tartalma szintézisgáz formában jelenik meg és mind gázmotorokban kapcsolt villamos energia előállításának tüzelőanyagaként, mind kazántüzelésre alkalmas. Ez utóbbi esetben az átalakítás hatásfoka kedvezőtlenebb (gőzturbina), azonban a füstgáz kezelése elmaradhat, az eljárás kisebb ráfordítást igényel.

Az elgázosító technológia alkalmazásának elterjedt formája az ún. parciális pirolízis. A 650-980 C° hőmérséklet tartományban üzemeltetett égetőkamrában oxigénhiányos tüzelést valósítva meg a gáznemű bomlási és parciális oxidációs termékek az utóégető térbe áramlanak. Ennek hőmérséklete 1100 C°. A füstgáz hőtartalmát melegvíz vagy gőztermelés formájában hasznosítják. Esetenként az utóégetés és hőhasznosítás egységeit különválasztva önálló, nagy turbulenciájú utóégető kerül kialakításra.

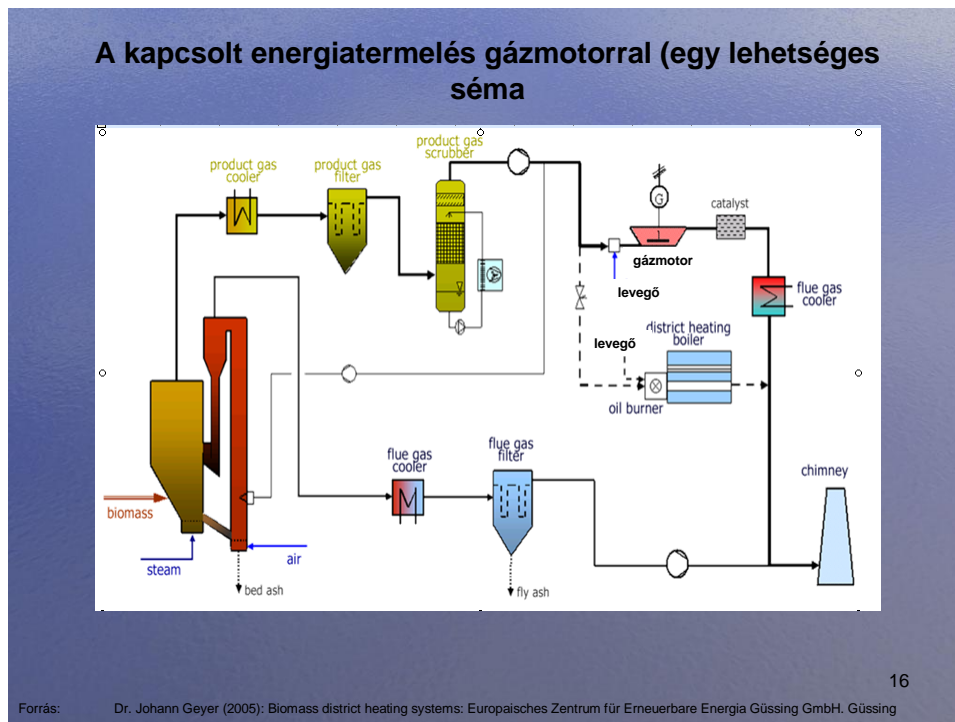
A hőbontási technológia forgódobos kemencében történő is alkalmazható a dob külső fűtése által megvalósított pirolízis alkalmazásával. A képződött gázok a hulladék kezdeti energiataralmának mintegy 65%-t tartalmazzák. Tisztítás után a tüzelőanyag gázmotorban használható fel villamos energia előállítására. A külső fűtés hőigénye a képződött pirolízis kokszt elégetésével nyert füstgázból biztosítható.

Az elgázosítás elterjedtebben alkalmazott eljárás. A technológia minden éghető hulladékanyag-fajtára alkalmas. A folyamatban valamennyi szerves anyag elbomlik és a keletkező gáz többfokozatú tisztítás után hasznosítható. Az elgázosító technológiák lényege, hogy léghiányos arálynak megfelelő oxigén (levegő) befűvást – esetenként vízgőzadagolást - alkalmazva a hulladékok illó anyagai a hőmérséklet hatására szabaddá válnak, illetve a lejátszódó oxidációs folyamatok eredőjeként az égési végtermékek mellett jelentős fűtőértéket képviselő parciális oxidációs reakciótermékek képződnek. A hőenergiát az exoterm oxidációs folyamatok kialakulásához szükséges levegőtényező alkalmazása vagy külső fűtés biztosítja. A távozó szintézisgáz kezelést vagy további feldolgozást követően energetikai vagy vegyipari céllal hasznosítható.

Az eljárás általános előnyei az alábbiakban foglalhatók össze.

- elgázosítás esetén a kibocsátás ellenőrzése a szilárd anyag tüzeléséhez képest kevesebb eszközt igényel
- a képződött melléktermékek jól hasznosíthatók.
- rugalmas üzemmenetet, többféle alapanyaggal történő működtetést enged meg.
- a képződött gáz közvetlenül alkalmas földgáz kiváltására

Egy gőzbefűvást alkalmazó elgázosító rendszer vázlatát a 2. sz. ábra mutatja be [4]. A képződött szintézisgáz energiataralma kéntelenítő, szárító és porleválasztó egységeken átáramoltatva gázmotor-generátor rendszerben közvetlenül hasznosítható villamos energia termelésére. Más megoldásoknál kétfokozatú aggregát formájában valósítják meg az energiatermelést. Az első lépcsőben alacsony hőmérsékleten, oxigénszegény körülmények között a hulladékot bontják, és a keletkező gáznemű termékek tökéletes elégetése magas hőmérsékletű termikus reaktorban történik. Kémiai és hőenergiája itt hasznosul gőztermelés áttétellel villamos energia előállítás, ill. szekunder hőhasznosítás formájában.



2. ábra Villamos energia termelése elgázosítási folyamatban

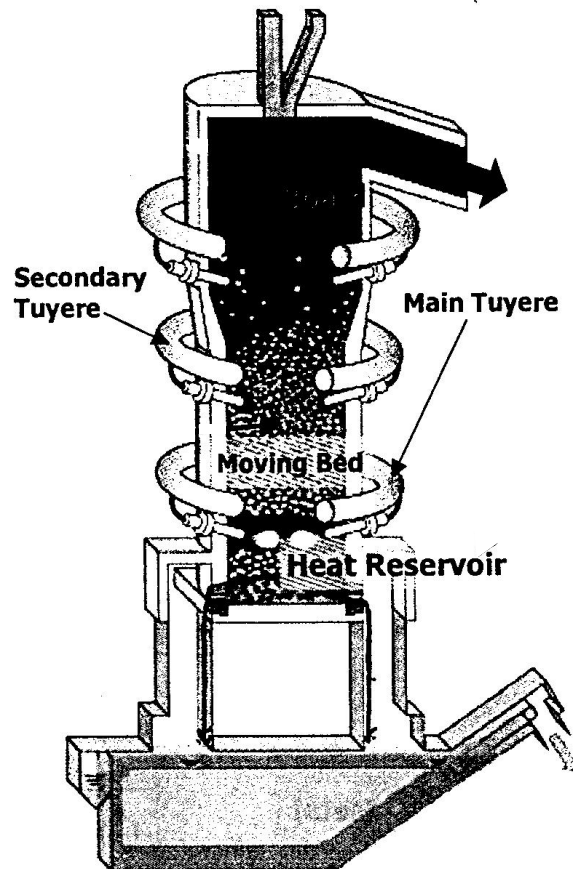
A hulladékégetési technológiákra érvényes tüztérhőmérsékletet és az előírt tartózkodási időt az utóégető berendezés, ill. a gázmotor konstrukciós kialakításai biztosítják.

Hulladék termikus kezelése esetében az elgázosító eljárás további előnye, hogy lehetőséget biztosít veszélyes hulladékok együttégetés formájában történő termikus kezelésére - mennyiségi és a halogéntartalomra vonatkozó korlátok figyelembe vételével. Az alacsony bomlási hőmérséklet miatt a füstgázban csak minimális mennyiségű nehézfém szennyeződés jelenik meg és a salaklágyulás veszélye is csökken. Ez utóbbi technológiai adottság a hagyományos berendezések biztonságos üzemeltethetősége miatt kedvező, azonban a salak újrahasznosításának szempontjai éppen az olvasztás folyamatát részesítik előnyben célorientált szerkezeti kialakítások alkalmazásával.

Az elgázosítás elvén üzemelő hulladékégetők egyik korszerű változatát a japán JFE cég dolgozta ki. Az elgázosító reaktor elvi vázlata a 3. sz. ábrán látható [5].

A függőleges tengelyű készülék a nagyolvasztók működési elvével mutat rokonságot. Felül adagolják be a hulladékot mészkövet és aktív szenet keverve hozzá. A levegő három fűvósíkon át áramlik a térbe. A lefelé haladó anyagáram száradási, illó anyag eltávolítási, elgázosítási, ill. pirolízis folyamatokban vesz részt. Az intenzív anyag és hőátadást a középső fűvósíkon nagy sebességgel befűvott levegőáram turbulencia keltő hatása és a kialakult fluid állapot biztosítja.

A reaktor alsó zónájába oxigénben dúsított levegőt vezetnek be. Az izzó szénágy által létrehozott magas hőmérsékleten a salak, ill. a fémek megolvadnak. Elkülönített eltávolításuk újrahasznosításukra ad lehetőséget.



*Forrás: JFE Engineering Corporation termékismertető*

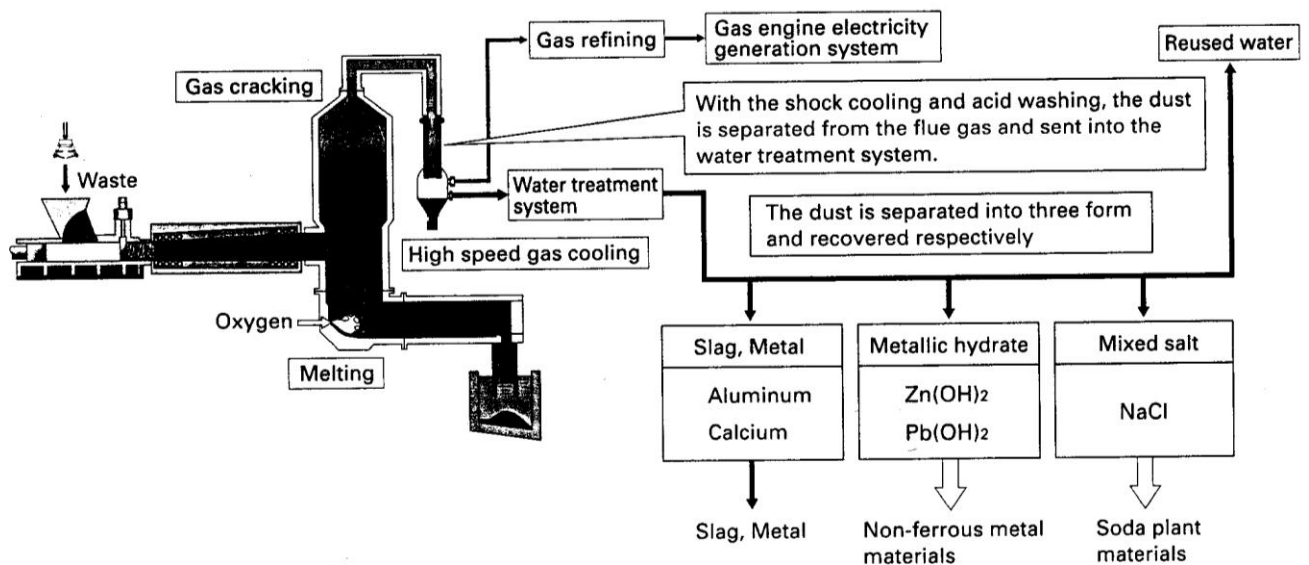
3. ábra Magas hőmérsékletű elgázosító-olvasztó kemence

Elgázosító technológián alapul a kommunális hulladékok termikus kezelésének egy új eljárása [6]. Itt a reaktortérbe szabályozott mennyiségű oxigént juttatnak – a hulladék összetételétől függően 200 Nm<sup>3</sup>/t nagyságrendben – megfelelő irányítottságú fúvóka rendszeren keresztül. A lejátszódó exoterm és endoterm reakciók szintézisgáz, ill. metanol termékeket eredményeznek. A képződött szintézisgáz a hidrogén-klorid és a kénhidrogén eltávolítását követően gázmotorba betáplálható. A technológia kátrány, dioxin és aromás vegyület mentes szintézisgázt és jelentős CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkenést eredményez. Az eljárás külön utóégető alkalmazását nem igényli.

A Thermostelect rendszerben [5] a hulladékot annak 1/5 részére tömörítve szakaszos mozgatható dugattyú továbbítja a külső fűtésű vízszintes reaktorban. Itt történik meg az anyag szárítása és elgázosítása. A reaktorok elvi kialakítását a 4. sz. ábra szemlélteti.



A képződött gázok a függőleges tengelyű 1200 C° hőmérsékletű krakkoló egységbe lépve keverednek a pirolízis szilárd szénnek oxigénárammal történt égetésekor képződött égéstermékekkel és távoznak a rendszerből. A legalább 2 másodperc tartózkodási idő és a kilépő gázelegy gyors hűtése minimális káros komponens kibocsátást eredményez. A szállópor szennyezést a reaktor alsó részén történő oxigén befúvás által eredményezett magas hőmérsékletű salak- és fémolvasztási fázis akadályozza meg. Az olvadékok szelektálhatók és újrahasznosíthatók.



**Forrás:** JFE Engineering Corporation termékismertető

4. ábra JFE rendszerű külső fűtéses elgázosító reaktor

Általánosságban megfogalmazható, hogy a pirolízis eljárás rugalmasabb, de alacsonyabb villamos hatásfok értéket eredményez. Az elgázosítás hatásfoka kedvezőbb, de fokozottabb előkészítést igényel.

Az optimális eljárás kiválasztásának folyamatát

- az alapanyag minősége, a veszélyes komponensek aránya
- az alapanyag előkezeltségének mértéke,
- a gáz hasznosításának tervezett technológiája
- a végtermék (salak) kezelésének, értékesítésének szempontjai
- segédenergia ellátás feltételei
- füstgázkezelésre vonatkozó igények

befolyásolják. A döntés az együttes hatások részletes műszaki és gazdasági elemzése alapján hozható meg.



## Hulladék alapú szintézis gázok eltüzelésének általános irányelve

Mind a hulladék alapú gázok termikus hasznosítása, mind az ártalmatlanítási eljárások utóégetési folyamataiban szigorú tüzeléstechnikai és technológiai feltételeket kell biztosítani [7].

- 1 m/m% halogéntartalmat el nem érő gázok esetében a hőmérséklet a tüztér valamennyi pontjában el kell, hogy érje a 850 C° értéket. Az elégetésre kerülő gázoknak a gázáram útjában levő utolsó oxigén bevezetés helyétől számítva legkevesebb 2 sec időtartamot kell a tüztérben tölteni 6% O<sub>2</sub> tartalom mellett. Amennyiben a halogéntartalom meghaladja az 1 m/m% értéket, a tüztérben 1100 C° hőmérsékletet kell biztosítani.
- A kilépő füstgáz NO<sub>x</sub> tartalmát a technológia és a telepítés adottságaihoz illeszthető eljárással kell csökkenteni (többlépcsős tüzelés, alacsony tüztérhőmérséklet, füstgáz visszakeringtetés). Az égéslevegő előmelegítés mértékét az energetikai és kibocsátási szempontok kompromisszumaként, de az utóbbi prioritásának figyelembe vételével kell meghatározni.
- A tüztér minimális hőmérsékletére vonatkozóan a termikusan lebontható szennyezőanyagokra vonatkozó megengedett kibocsátási értékek az irányadók.

A szintézis gázok tüzelésével kapcsolatos műszaki szempontok értékelésénél a földgáztüzelő berendezések és rendszerek adottságaiból célszerű kiindulni. A járulékos fejlesztési feladatok ill. a földgázüzemhez képest eltérő megoldások a tüzelési rendszer szerkezeti kialakításánál, a korróziós és eróziós hatások figyelembevételénél és a tüztér kialakításánál jelentkeznek. Külön figyelmet igényel a megváltozott lánghőmérséklet, láng alak és égési sebesség (lángleszakadás, visszagyulladás) veszélye. 40-45% metántartalom alatt a biztonságos égetés már égéslevegő előmelegítést, vagy a tüztér előzetes felfűtésére szolgáló kiegészítő tüzelőberendezés alkalmazását teszi szükségessé.

A szennyező anyagok jelenléte miatt a tüzelés során fennáll a dioxin, ill. furán képződésének veszélye. Ennek ellensúlyozására a tüztér kialakítás és az üzemeltetési paraméterek vonatkozásában az alábbi követelményeknek kell teljesülni:

- minimális tüztérhőmérséklet 1000C°,
- tartózkodási idő legkevesebb 0,3 sec,
- belső szigeteléssel ellátott, közel adiabatikus égetést megvalósító tüzelőkamra,
- optimális levegőtényező biztosítása (gázösszetételtől függően, de  $n > 1,15$ ),
- gáz és az égéslevegő intenzív keveredése,
- hideg zónáktól mentes egyenletes tüztérhőmérséklet,
- a lángnak teljes terhelés esetén is a tüztéren belül kell maradni,
- távozó füstgáz oxigéntartalmáról történő arányszabályozás,
- gyors reagálású vezérlő elemek alkalmazása az esetleges mennyiségi és gázminőségi ingadozások hatásának ellensúlyozására.

### Szintézis gázzal történő tüzelés hatása a hőhasznosítás folyamatára

A szintézis gázoknak a földgázétól különböző tüzeléstechnikai tulajdonságai és az eltérő füstgázösszetétel együttes hatására megváltoznak a hőátadási viszonyok mind a tüztér, mind a távozó füstgáz hőtartalmát hasznosító berendezések esetében [8]. Változik a láng- és füstgáz sugárzás mértéke, de a tüzelőanyag összetételétől függő füstgáz térfogatáramok befolyásolják a konvektív hőátadást is [9]. A tüzelési tulajdonságok megváltozása a termikus hasznosítás hatásfokát is befolyásolja. A tüzelőanyag váltásnak a tüztéri hőátadási folyamatokra gyakorolt hatását számítási modell segítségével vizsgáltuk. Az elemzést a hulladék alapú szintézis gázokéhoz hasonló tüzeléstechnikai tulajdonságokkal rendelkező, a kohászati vertikumokban elterjedten alkalmazott u.n. kamragázra végeztük. A gázelegy a kokszyártási folyamatban a szén pirolízise során képződik. Összetételét az 1. sz. táblázat mutatja be.

CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Benzol	Toluol	Xilol	H <sub>u</sub>
25,9%	3,75	0,4%	6,0%	59,3%	1,6%	0,2%	2,7%	4,3 g/m <sup>3</sup>	0,6g/m <sup>3</sup>	0,2g/m <sup>3</sup>	18 MJ/m <sup>3</sup>

1. sz. táblázat

A vizsgált esetben a rendszer földgáz tüzelőanyaggal 5,3 GJ/h tüzelési teljesítménnyel üzemelt. A tüztéri hőátadás szempontjából releváns adatok a 2. sz. táblázatban vannak feltüntetve. A hengeres kialakítású technológiai berendezés éghető komponenseket is tartalmazó hulladék gáz termikus megsemmisítésére szolgált. A táblázatban szereplő füstgáz mennyiségi adatok az így képződött - mindkét tüzelőanyag változatnál azonos értékű - járulékos füstgáz mennyiség figyelembe vételével kerültek meghatározásra.

Megnevezés	Földgáztüzelés	Kamragáz tüzelés
Tüzelőanyag m <sup>3</sup> /h	150	288
Primer égéslevegő (n = 1,1) m <sup>3</sup> /h	1559	1484
Füstgáz m <sup>3</sup> /h	2834	2798
Nitrogén %	70,3	69,2
Vízgőz %	24,4	26,7
Széndioxid %	5,3	4,1
Elméleti láng hőmérséklet (C°; n = 1,1)	1910	2035
Tényleges láng hőmérséklet (C°; n = 1,1)	1662	1770
Tüztéri sugárzási tényező	0,27	0,29

2. sz. táblázat Földgáz és kamragáz tüzelési jellemzői

Egydimenziós áramlási viszonyok feltételezésével a füstgáz hőtartalma egy részét az áramlás irányában értelmezett  $ds$  szakasz megtétele során a „K” kerületű palást felületnek adja át. Az időegység alatt átadott hő mennyisége

$$\dot{Q}_h = \alpha_h \cdot K \cdot ds \cdot (T_{fg} - T_h) - c_{fg} \cdot \dot{V}_{fg} \cdot dT_{fg} \quad [1]$$

Az egyenletből levezethetően a  $T_{fg0}$  kezdeti hőmérsékletű (adiabatikus láng hőmérséklet) füstgáz a állandó  $T_h$  falazati hőmérséklettel rendelkező tüztéren történő áramlása során az „x” koordinátájú helyen közelítőleg

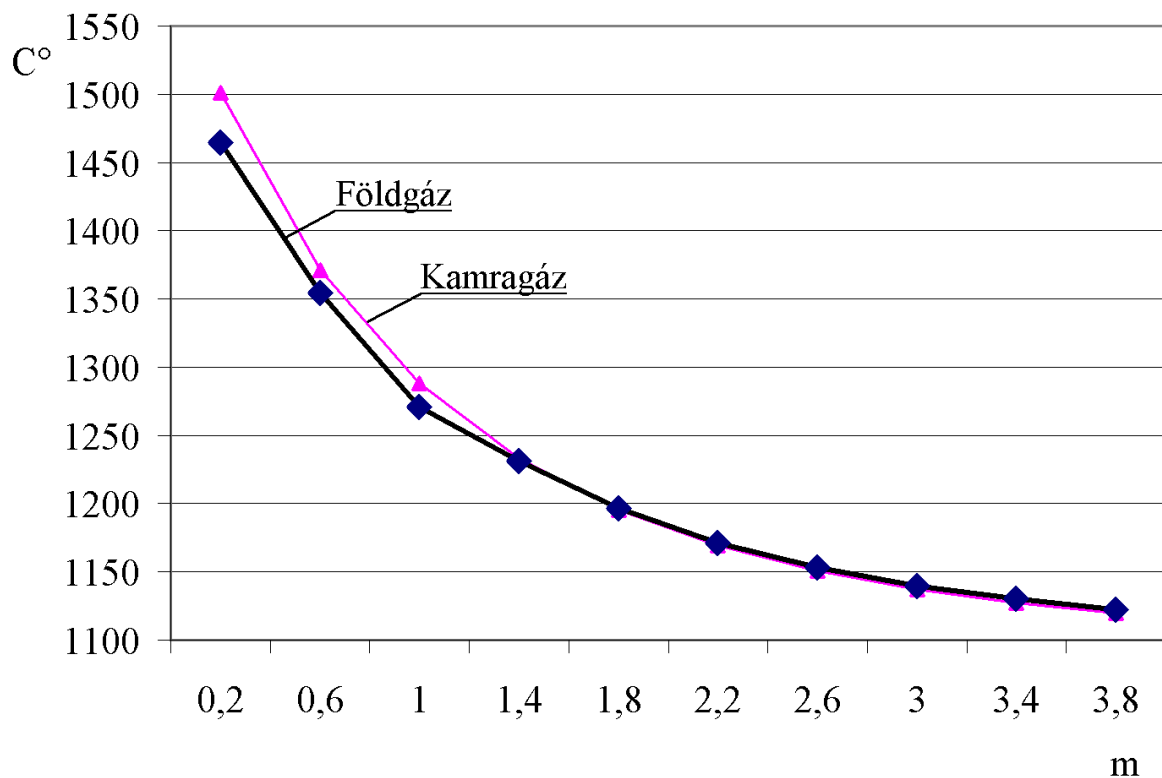
$$T_{fg} = T_h + (T_{fg0} - T_h) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot K}{c_{fg} \cdot \dot{V}_{fg}} \cdot x} \quad [K] \quad [2]$$

hőmérsékletre hűl. Az „L” hosszúságú tüztében a falazatnak átadott hő teljes mennyiségét a

$$\dot{Q}_h = c_{fg} \cdot \dot{V}_{fg} \cdot (T_{fg0} - T_h) \left[ 1 - e^{-\frac{\alpha \cdot K}{c_{fg} \cdot \dot{V}_{fg}} \cdot L} \right] \quad [kJ/s] \quad [3]$$

összefüggés szolgáltatja.

Az 5. sz. ábra a füstgáz hőmérsékletének változását mutatja be földgáz ill. kamragáz esetén a tüzelőberendezésből történő kilépéstől számított 4m szakaszon. A diagramból látható, hogy kamragáz tüzelés esetén a kezdeti szakaszban a füstgáz hőmérséklete mintegy 70 C°-kal meghaladja a földgázüzemét. A különbség csökken, és a vizsgált szakasz végén a földgázüzemi füstgáz már néhány C° értékkel magasabb hőmérsékletű. A számítás 1100 C° falazati hőmérséklet figyelembe vételével készült.

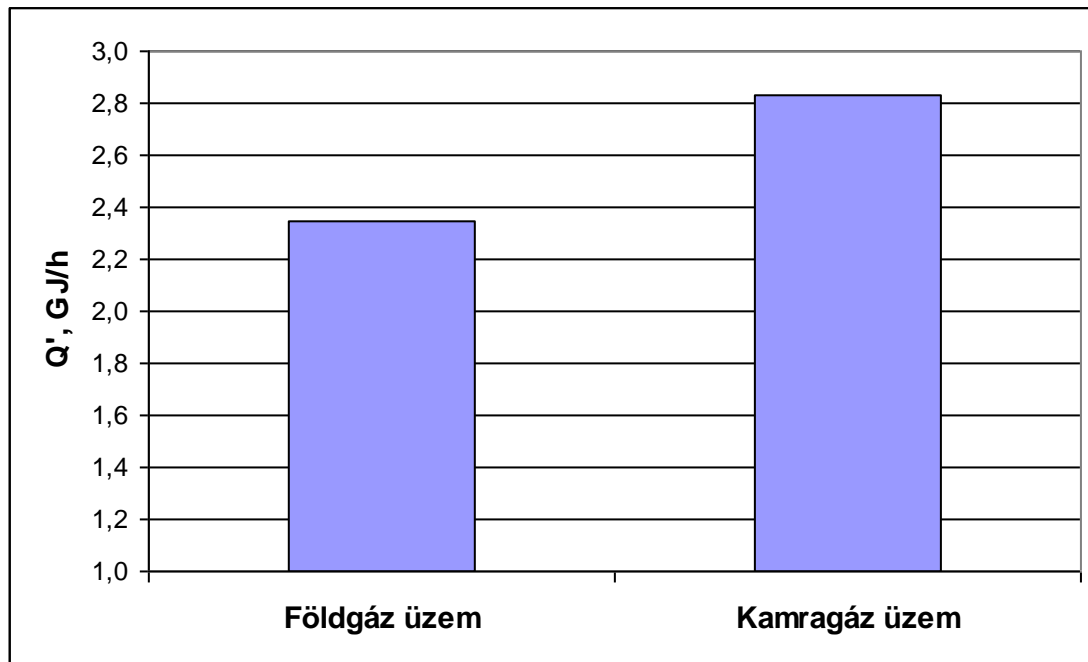


5. sz. ábra. Tűztéri hőmérséklet lefutás földgáz és kamragáz tüzelés esetén

A 3. sz. összefüggés segítségével meghatározhatók a vizsgált 4m hosszúságú szakaszon a tűztéri falzatnak átadott hőmennyiség. A földgáz ill. kamragáz tüzelés esetén nyert értékek a 6. sz. ábrán láthatók.

A tüzelőanyagok füstgázának térfogatárama és emissziós tényezője csak kis mértékben különbözik. Hatásuk az  $\alpha$  hőátadási tényező értékére csekély, a hőátadásra érdemi hatást nem gyakorol. A kamragázzal történő tüzelés során ugyanakkor több mint 20%-kal nagyobb hőmennyiség kerül átadásra.

A modellben a jelenség alapvetően a magasabb hőmérsékletre vezethető vissza. A sugárzással átadott hőmennyiséget ennek negyedik hatványával arányos. A kezdeti szakaszban átadott nagyobb hőmennyiség hatására a kamragáz füstgáza gyorsabban hűl és eléri a földgáz üzemenél mutatkozó értéket. A továbbiakban - azonos hőmennyiség betáplálása esetén – már földgáztüzelésnél valósul meg intenzívebb hőleadás.



6. sz. ábra. Tüztéri falazatnak átadott hőmennyiségek

A tényleges viszonyok azonban ennél összetettebbek. A befolyásoló tényezők az alábbiak szerint foglalhatók össze.

- A vizsgált esetben a füstgázzal mindkét tüzelési módnál azonos mennyiségű, hőmérsékletű és összetételű hulladékgáz keveredett. Emiatt csökkent a füstgáz „belépési” hőmérséklete, a térfogatáram növekedése ugyanakkor lassította a hűlési folyamatot. Hasonló hatás jelentkezik magasabb levegőtényezővel történő tüzelés esetén.
- A vízgőz és széndioxid emissziós tényezői között érdemi különbség van. Különböző tüzelőanyagoknál ezek eltérő aránya különböző hőátadási feltételeket teremt. Hasonló hatást fejt ki a füstgáz térfogatáramok különbözősége.
- A magasabb hőáramsűrűség a hőfelvevő falazati belső réteg magasabb hőmérsékletét eredményezi. Hőfelvevő képessége csökken.
- A kemencetérben a füstgáz keveredik, az áramlási út menti hőmérséklete nem követi pontosan a modell szerint meghatározott függvényt. Egy kiegyenlítődesi hatás érvényesül. A magasabb hőmérsékletűnek feltételezett szakaszok hőmérséklete a valóságban alacsonyabb, a „lehűlt” szakaszokban a füstgáz hőmérséklete ennek megfelelő mértékben emelkedik. A jelenség magasabb füstgáz hőmérsékletnél nagyobb hatást fejt ki csökkentve az átadott hőmennyiségek közötti különbséget.

A kapott eredmények érvényessége nem korlátozódik a hulladék alapú szintézisgázok és a kamragáz viszonyaira. Hasonló feltételek vonatkoznak a nagyolvasztókban felhasznált kokszi parciális oxidációs

folyamatában képződött  $3 \text{ MJ/m}^3$  fűtőértéket képviselő kohógázra vagy az acélgyártás oxigén befűvású konvertereiben a földgáz parciális oxidációja során keletkezett mintegy  $9,5 \text{ MJ/m}^3$  fűtőértékű konvertergázra is. A megváltozott hőátadási feltételek befolyása érvényesül a magas inert tartalmú földgázok és biogázok különböző fajtáinak - gyakorlatilag a földgázt kiváltó NC (non conventional) gázok valamennyi típusának - alkalmazása esetén is.

A számítási modell érzékelteti a lánghőmérsékletnek, az emissziós tényezőnek és a képződött füstgáz térfogatáramnak a hőátadási viszonyokra gyakorolt befolyását. A legjelentősebb hatás nyilvánvalóan a tűzterekben mutatkozik, de eltérő füstgáz térfogatáramok esetén a hőcserélőknél is adódhat számottevő változás. A bemutatott példában a kamragáz alkalmazása kedvező termodinamikai hatást eredményez. Más esetben azonban – pl. alacsony égési hőmérsékletű kohógázzal történő üzemeltetésnél – azonos hasznos hőmennyiség előállítása nagyobb hőbevitelt igényel.

A hulladékok hőbontásából keletkező szintézisgázoknál jelentkező hatás az adott gáz tüzelési jellemzői és füstgáz összetétele alapján egyedi vizsgálat alapján határozható meg.

Jóllehet általános érvényű számszerű megállapítások nem tehetők, mint tendenciát a modell is igazolja, hogy a magasabb lánghőmérséklet kedvező hatása a kezdeti szakaszban érvényesül. A rövidebb áramlási úthossz ill. magasabb hőmérsékletű tűztér eredményez intenzívebb hőátadást. Alacsonyabb égési hőmérsékletű gázok eltüzelésénél a helyzet fordított. A kezdeti szakaszban a földgáztüzelés viszonyaihoz képest kevésbé intenzív hőleadás valósul meg. Itt a hosszabb áramlási úthossz ill. az alacsony tűztér hőmérséklet teszi lehetővé a gáz hőtartalmának nagyobb mértékű hasznosulását.

A hulladék alapú szintézis gázok jelentős része az elgázosító (pirolizáló) egységgel közös rendszert képező hőhasznosító kazánban nyer felhasználást. A rendszert szállító cégek a kazán méreteit, tűztér kialakítását és a garantált hőteljesítményt a fenti szempontok figyelembe vételével határozzák meg.

A fenti egyszerűsített számítás segítségével elsősorban gőz körfolyamatú villamos és hőenergia energia előállítás esetén nyerhető hasznos információ a tűztér kialakításra – vagy adott rendszerben történő földgáz kiváltás esetén a hatásfok várható módosulására vonatkozóan. Gázturbinák, gázmotorok más típusú hőátadási modell alkalmazásával vizsgálhatók.

Az NC gázok kémiai energiája ideális esetben összességében 90% hatásfokkal hasznosítható. Ez mintegy 40% villamos energiát és 50% hőenergiát jelent. Kombinált ciklusú erőmű esetében gázturbina, hőhasznosító kazán és gőzturbina együttes alkalmazásával 56-58%-nak megfelelő villamos energia mennyiség állítható elő. Üzemeltetési adatok ugyanakkor azt igazolják, hogy az elektromos átalakítási hatásfoka a 40%-t nem éri el, de vannak 30% alatti értékkel üzemelő rendszerek is [10].

Az alkalmazott technológiának meghatározó szerepe van. Gázmotorok, gázturbinák alkalmazása kedvezőbb hatásfokot eredményeznek. Gőzkörfolyamat esetén az nyomásszint, a turbinák állapota gyakorol jelentős befolyást a hasznosulás mértékére. Mindezekkel együtt a tüzelési folyamat termikus

hatásfoka szintén nem hanyagolható el és az alkalmazott tüzelőanyag minősége a gőz előállításának fázisában 2-4% hatásfok különbséget is eredményezhet [11].

A szekunder energiahordozó gázok hőjének hasznosítása természetesen a teljes folyamatnak csak egy része. A szintézis gázok alapanyagának (hulladéknak) előkészítése, az elgázosítási technológiák megvalósítása, a gázok tisztítása és felhasználáshoz történő előkészítése (pl. tárolás, nyomásfokozás) jelentős mértékben befolyásolják egy adott hulladéktípus termikus hasznosítási rendszerének rentabilitását. Az optimális hulladékkezelési eljárás (ld. 1. sz. ábra) ill. termikus hasznosítás esetén a technológia mindezek együttes figyelembe vételével választható ki.

### Hivatkozások

1. Hornyák M. Hulladékok termiku hasznosításának szerepe az új keretirányelv tükrében. Konf. ea. Veszprém 2010. április
2. Energy report- Municipal Waste Combustion  
[www.window.state.tx.us/specialrpt/energy/renewable/municipal.php](http://www.window.state.tx.us/specialrpt/energy/renewable/municipal.php)
3. Települési szilárd hulladékok energetikai hasznosítása
4. Lang M. Varga M. Németh G. Faipari hulladékok hasznosítása kapcsolt hő, és villamosenergia fejlesztésre ea. innoLignum Sopron 2009. szeptember
5. JFE Engineering Corporation termékismertető
6. Raisz I. Barta I. Kommunális hulladékból szintézisgáz és eco-methanol előállítása Környezettudatos energiatermelés és –felhasználás Környezet és Energia Konferencia ea. Debrecen, 2009. május Kiadvány 76 old.
7. Why High Temperature Combustion of Landfill Gas? Hofgas know-how 05, H - Hasonló oldalak
8. Gőzkazánok hőátadási feltételeinek javítása, légszennyezésének csökkentése MeAKKK kut. téma jelentés 2007.
9. Sevcsik M. Kapros T. A földgázétól eltérő összetételű gázok tüzeléstechnikai hasznosítása. Kohászat 141. évf. 2008/6
10. Kapros T. Elektromos energia termelése tüzelésre szánt hulladékok felhasználásával ÉMOP-1.2.1-2008-0012 kódjelű projekt tanulmány
11. Sevcsik M. Kapros T. Optimization of Fuel Composition of Boilers Heat Engines and Environmental Protection. 10th Jubilee International Conference 23-25 May 2011 Balatonfüred