

## BIOMASSZA PLAZMAGÁZOSÍTÁSÁNAK ENERGETIKAI KÖLTSÉG-HASZON ELEMZÉSE

**Bodnár István**

intézeti tanszékvezető adjunktus, Miskolci Egyetem, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [vegybod@uni-miskolc.hu](mailto:vegybod@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*A tanulmány egy plazmatechnológiával végzett, biomassza energetikai célú hasznosításának energetikai költség-haszon elemzését mutatja be. Az energetikai költség-haszon elemzésem nem klasszikus pénzügyi elemzés. Az energetikai költség-haszon elemzés lényege, hogy a plazmagázosításnál az alternatív segédgáz fajlagos energia kihozatalra gyakorolt hatását, valamint a bevétel növekedést és annak bekerülési költségét vizsgáljuk. Amennyiben egy segédgáznál az energetikai és a pénzügyi haszon magasabb, mint az energetikai, vagy pénzügyi költség, akkor az a segédgáz előnyösen alkalmazható.*

**Kulcsszavak:** biomassza, plazmagázosítás, szén-dioxid, költség-haszon elemzés

### **Abstract**

*The study presents a cost-benefit analysis of plasma technology for biomass energy purposes. My energy cost-benefit analysis is not a classic financial analysis. The main point of energy cost-benefit analysis, that we look at the effect of alternative auxiliary gas on specific energy output in plasma gasification and look at revenue growth and its extra cost. If an auxiliary gas has higher energy and financial benefits than the energy or financial costs, then that auxiliary gas is preferably applicable.*

**Keywords:** biomass, plasma gasification, carbon-dioxide, cost-benefit analysis

### **1. Bevezetés**

A plazmatechnológia 1973-as megjelenése óta első sorban a veszélyes ipari, valamint a klór tartalmú hulladékok ártalmatlanítására alkalmazzák. A plazma nagy hőmérsékletű ionizált gáz, amely lehetővé teszi a környezetre veszélyes anyagok és vegyületek teljes lebontását. Napjainkban egyre nagyobb ütemben terjed alkalmazása főleg az Amerikai Egyesült Államokban és egyes ázsiai országokban. A kisebb hőmérsékletű plazmatechnológiát, vagy plazmagázosítást hatékonyan alkalmazzák települési szilárd hulladék, valamint biomassza környezetbarát energetikai hasznosítására is. Ezen technológiák nagy előnye, hogy a hulladékol, illetve biomasszából éghető szintézisgázt állítanak elő, amely ez által hatékonyabban hasznosítható gázmotorokban és gázturbinákban. Mind emellett gyorsan (néhány tíz per alatt) indítható erőművek is üzemeltethetők, ellentétben a hagyományos égetést alkalmazó több órás, vagy napos indítási idővel rendelkező víz-gőz körfolyamatú erőművekkel. Az ilyen erőművek szabályozása is gyorsabb, rugalmasabb, mert a plazmafákllyakkal és a segédgázok mennyiségével, illetve típusával a folyamat gyorsítható, vagy lassítható. Amennyiben nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű települési szilárd hulladék, vagy biomassza, akkor lignit, vagy barnaszén hasznosítására is

alkalmasak. A plazmareaktorok igen nagy napi feldolgozókapacitással is építhetők, így akár többszáz MW teljesítményű erőművi blokkok kiszolgálására is alkalmasak.

Jelen kutatómunka során fás szárú biomassza plazmagázosítással történő energetikai célú hasznosítását vizsgáltam energetikai költség-haszon elemzés módszerével az alkalmazott szén-dioxid gázosító közeg mennyiségi változásának függvényében.

## 2. A plazma-gázosítás

A plazmatechnológia működésének megértéséhez elsőként célszerű definiálni a plazma fogalmát. A plazma ionizált gáz, ami inert gázáramban nagy áramerősségű elektromos ív hatására alakul ki az elektródok között. A folyamat során a katódból kilépő töltött állapotú elektronok gerjesztik az ívtérben elhelyezkedő atomokat, részecskéket. A gerjesztés fényjelenséget okoz, amit villamos ívnek nevezünk. A nagy átfolyó áramok miatt az ívtérben a kialakuló nagy hőmérséklet hatására, az anyagok plazma állapotba kerülnek, ami a negyedik halmazállapotnak tekinthető [1].

Plazmatechnológiák esetén a maghőmérséklet rendszerint 3.000–5.000 °C közötti, de akár 30.000 °C is elérhető lenne [1]. Műszaki megközelítésből már az 5.000 °C hőmérséklet is jelentős problémát jelent, mert költséges műszaki kerámiák és fémötvözetek alkalmazását teszi szükségessé [2]. Ilyen hőmérsékleten a hulladékok összetevői, mint például a toxikus anyagok, alkotóelemeikre bomlanak. 5.000 °C felett a vegyi anyagok és a mérgező gázok (dioxinok és a furánok) teljesen lebomlanak. Környezetet károsító anyagok csak kis mennyiségben, vagy egyáltalán nem képződnek [3]. Ugyan bevett kereskedelmi technológiának számít, azonban az eljárás rendkívül összetett, drága és képzett üzemeltető közreműködését igényli [4, 5].

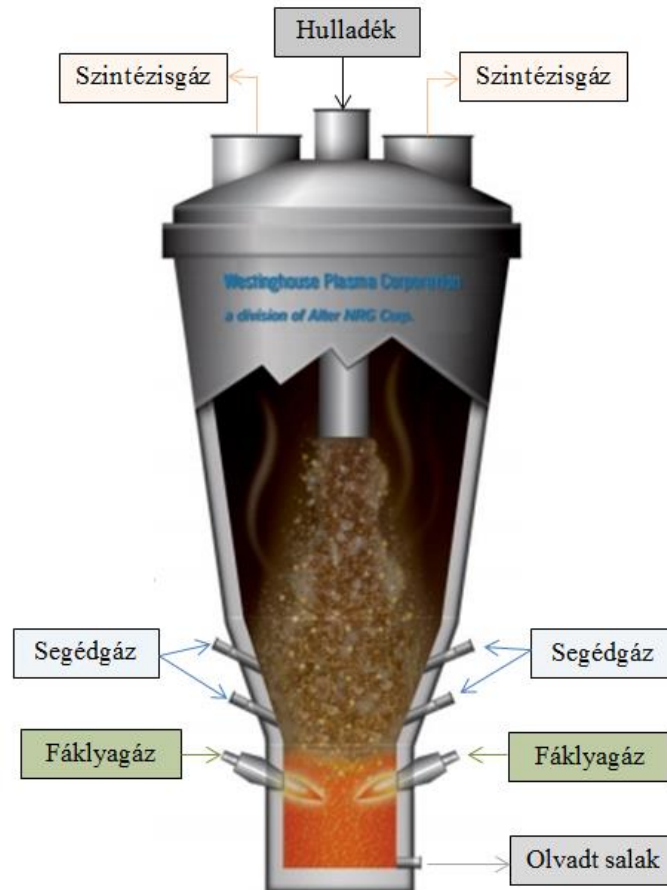
Az 1. ábra egy plazmareaktor elvi felépítését és működését szemlélteti az anyagáramokon keresztül. A reaktor felső kiáramlású és ellenáramú működést biztosít. Megfigyelhető, hogy a reaktor három jól elhatárolható térrészre osztható, és lefelé szűkülő kialakítású. A felső térrész a szintézisgáz-gyűjtő rész, amely térfogata a reaktor térfogatának mintegy kétharmadát teszi ki. A középső rész a hulladék-tér, amely fogadja a feladott hulladékot és a felszálló szintézisgáz felhasználásával előmelegíti. A segédgáz bevezető csomópontjai itt helyezkednek el. A segédgáz előmelegítéséről a szintézisgáz hűtéséből származó hő gondoskodik. A harmadik térrész az olvadt salak gyűjtésére szolgál. A plazmafáklya a salakgyűjtő rész felső részén helyezkedik el. A reaktor belső felületei hőálló kerámiaszigeteléssel vannak ellátva [6].

A reaktor méretei és arányai a méretnövelésnél, a nagyobb kapacitásra történő tervezésénél játszik fontos szerepet. Két eltérő feldolgozó képességű reaktor akkor nevezhető geometriailag, valamint áramlás- és hőtechnikai szempontból is hasonlónak, ha bennük a hőmérséklet-eloszlás és az áramlási jelleg azonos képet mutat. Ekkor biztosítható, hogy ugyanaz a folyamat játszódik le bennük. Mivel a plazmafáklyákat teljesítménykategóriákba sorolják, ezért a méretnövelés során az üzemi nyomás lesz a változó paraméter. Így előállhat, hogy két ugyan olyan geometriai méretekkel (térfogattal) rendelkező reaktor eltérő kapacitással rendelkezik. A nagyobb nyomáson üzemelő reaktor nagyobb feldolgozó képességgel bír. Az üzemi nyomás befolyásolja a lejátszódó reakciók milyenségét, ezen keresztül pedig az előállított szintézisgáz összetételét és fűtőértékét [6].

### A plazmatechnológia környezetvédelmi előnyei [3, 6, 7, 8, 9, 10]:

- Nem igényli a hulladékok előzetes válogatását, tehát azok vegyesen kerülhetnek feladásra, összetételüktől függetlenül.
- A szerves hulladékok részben lebomlanak, részben pedig megoldvadnak és elüvegesednek.

- A szerves anyagok teljesen lebomlanak.
- A halogének kémiaiilag megkötődnek a keletkező üvegben, és onnan nem oldódnak ki.
- A plazma által kibocsátott erős ultraibolya sugárzás meggyorsítja a klór tartalmú szerves vegyületek lebomlását.
- A plazma térben keletkező ultraibolya sugárzás „bennragad” a plazmaívben, így további gerjesztést idéz elő, amely a hőmérséklet növekedésével jár.



1. ábra. Plazmareaktor felépítése és anyagáramai.

A plazmatechnológia műszaki és gazdasági előnyei [6, 7, 9, 10, 18]:

- A plazmatechnológia a nagy hőmérséklet miatt hatékonyan használható minden fajta hulladék-típus (veszélyes, mérgező, halálos) lebontására.
- A folyamat teljesen zárt térben játszódik le, így káros anyagok nem kerülnek a környezetbe.
- A folyamat melléktermékei ártalmatlanok, amelyeket a kohászat valamint az építőipar alapanyagként fel tud használni.
- A hulladékok térfogatának csökkenése 300:1 arányú a hagyományos égetéssel szemben, ahol ez az arány a nagymennyiségű hamu miatt csak 5:1 (szilárd hulladéknál).

- A plazmatechnológia napi kapacitása a legnagyobb, akár 500 tonna/nap is lehet.
- A plazmatechnológiát alkalmazó gépek számítógép-vezéreltek, csendesek, valamint lehetnek helyhez kötött és mobil kivitelűek.
- A plazmatechnológia alkalmazása során keletkező, a salakba távozó szennyező anyagok, mint például a higany, a kadmium, a kén, a különböző dioxinok valamint a nehézfémek mennyisége jelentősen csökkenthető speciális mosóvíz, száraz gázmosók és szűrők alkalmazásával.

#### Plazmatechnológia hátrányai [3, 6, 7, 8, 9, 10]:

- A kisebb hőmérsékletű (2.000 °C alatti) plazma alapú eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb.
- A technológia alkalmazása során keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell.
- Az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égés-termékek képződésének.

### **3. Energetikai költség-haszon elemzés**

A költség-haszon elemzés egy olyan döntéstámogató módszer, amely segítséget ad egy termék, technológia, vagy szolgáltatás egységnyi költség befektetésével elérhető haszon becslésére. A módszer a releváns költségek és hasznok beazonosításának kiindulópontjaként szolgál, az alternatív lehetőségek összehasonlításához és értékeléséhez. Vizsgálja az adott projektberuházás során felhasználni kívánt források és az általuk nyerhető bevételeket az összes lehetséges megoldási módozatra vonatkozóan. Ideális esetben a költség-haszon elemzés bebizonyítja, hogy az egységnyi beruházási költségre jutó haszon nagyobb értékű, ekkor célszerű az adott beruházást végrehajtani. A legfőbb cél tehát mindig a maximális nettó haszon elérése [11].

A gazdasági haszon bármely olyan jólét-növekedéssel mérhető nyereség, amely a projekt által érintett egyéneknél, vagy program, politika esetén társadalmi szinten jelentkezik. A költség-haszon elemzés elvégzésének kétségtelenül az egyik legnehezebb és legidőigényesebb feladata a hasznok azonosítása és számszerűsítése [11].

A költség-haszon elemzést gyakran egészítik ki kockázatelemzéssel, hogy a reális választási lehetőségek közül a gazdaságilag legstabilabb és emellett a legnagyobb fajlagos haszonnal rendelkező alternatíva kiválasztható legyen. A költség-haszon elemzés elemei a kereslet-kínálati függvény, a nettó jelenérték, a jövedelmezőségi index és a megtérülési ráta [12]. A költségek figyelembe vételekor mind a beruházási, mind a működési költségeket figyelembe kell venni. A bevételek számba vétele során a társadalmi, környezeti (települési, regionális, nemzeti, közösségi) haszonnal is számolni kell, a pénzügyi, gazdasági hasznok mellett. A profit valamely gazdasági tevékenység során felmerült, számszerűen kifejezett bevételek és ráfordítások különbsége [11].

A költség-haszon elemzés metodikáját tekintve cash-flow szemléletben készül, különös tekintettel a pénz időértékére, mert az egységnyi pénz ma többet ér, mint ugyan az az egységnyi pénz holnap. A cash-flow egy előre meghatározott időszak alatt a pénzforrások képződésének és a felhasználásának a folyamata, állományváltozása. Megmutatja, hogy a vállalkozás a rendelkezésére álló pénzeszközei mely tevékenységi területeken, milyen folyamatok révén keletkeztek és azok felhasználására hol kerül sor. A cash-flow kimutatás egy forgalmi szemléletű kimutatás, amely megmutatja, hogy az egyes tevékenységek milyen hatást gyakorolnak a vállalkozás pénzeszközeire [11].

A költség haszon elemzés során először a beruházás megvalósulásának költségeit kell megbecsülni, majd az új projektberuházás üzemeltetési költségeit. A tőkeszükséglet meghatározásánál a megvalósulás során felmerülő forgótőkeigényt is figyelembe kell venni [12].

A kutatómunkám során egyszerűsített, hagyományos értelemben véve nem klasszikus költség-haszon elemzéseket végeztem arra vonatkozóan, hogy a termikus kezelési technológiák során alkalmazott segédgáz lecserélésével milyen gazdasági előnyt lehet elérni. Ennek megfelelően a költség-haszon elemzés az energetikai hatékonyság-vizsgálatokat kiegészítő módszerként alkalmazható, és így az energetikai költség-haszon elemzés kifejezés helytállóbb lehet.

Mivel a plazmatechnológia rendelkezik a legnagyobb beruházási költséggel az alkalmazott 3.000 °C hőmérséklet miatt, ezért ennél a kezelési módszernél célszerű olyan üzemeltetést befolyásoló intézkedéseket, fejlesztéseket megvalósítani, ami tovább növeli a technológia energetikai hatékonyságát, ezen keresztül pedig csökkenti a fajlagos üzemeltetési költségeket.

#### A költség-haszon elemzés a következő fő lépések sorozata [12]:

1. A projektjavaslatok elvárt eredményeinek megerősítése (tisztázása).
2. Az elemzés meghatározó feltételek, hipotézisek lefektetése.
3. Az elemzési (értékelési) időszak kijelölése.
4. Minden jelentős költség és haszon beazonosítása, realitásának ellenőrzése.
5. Amennyiben lehetséges, pénzben kifejezhető érték rendelése az egyes hasznokhoz és költségekhez (magának a hozzárendelési mechanizmusnak a kiválasztása és alkalmazása).
6. A hasznok és költségek diszkontálása, jelenértékének kiszámítása
7. A kockázatok és bizonytalanság értékelése.
8. A pénzben nem, vagy nehezen mérhető hasznok és költségek hatásainak felmérése.
9. A megfelelő javaslat kidolgozása.

#### A költség-haszon elemzések három legfontosabb típusa [12]:

- Változatok elemzése, amelynek célja annak alátámasztása, hogy a projekt a megvalósítható alternatívák közül a legjobb.
- A pénzügyi elemzés, amely a kiválasztott műszaki megoldásra vonatkozóan a beruházónál, kedvezményezettinél felmerülő költségeket és bevételeket veszi számba és veti össze, pénzáram (cash-flow) szemléletben. Ennek keretében kell a pénzügyi fenntarthatóságot is vizsgálni.
- A közgazdasági költség-haszon elemzés, amelynek célja a kiválasztott műszaki megoldásra vonatkozóan a társadalmi hasznosság és költségek vizsgálata. Tekintettel arra, hogy ennek a vizsgálatnak a keretében a pénzügyi hasznokat és költségeket kell kiegészíteni vagy felváltani társadalmi költségekkel és hasznokkal, ezért ezt társadalmi-gazdasági elemzésnek is tekinthetjük.

Az energetikai hatékonyság növelésének egyik módszere a segédgáz összetételének módosítása, aminek költség vonzata is létezik. A cél, hogy olyan segédgáz-keveréket találjunk, ami a legkisebb anyagi ráfordítás mellett, a legnagyobb fajlagos energia kihozattal biztosítja, ezért egy optimumkeresési eljárást kell alkalmazni, ami kvázi pénzügyi költség - energetikai haszon elemzést jelent. Ennek eredményeként előáll az anyagösszetételtől és nedvességtartalomtól függő, minden tekintetben optimális összetételű segédgáz keverék.

Az energetikai költség-haszon elemzés lényege, hogy az alternatív segédgáz fajlagos energia kihozatalra gyakorolt hatását, valamint a bevétel növekedést és annak bekerülési költségét vizsgáljuk. Egy segédgáz akkor nevezhető költséghatékonyak, ha az általa elért nyereség nagyobb, mint a ráfordított költség. A levegővel történő kezelés esetében ez egyértelműen érvényesül, mert a levegő korlátlan mennyiségben áll a rendelkezésünkre. Legnagyobb problémája, hogy a benne lévő energetikailag inert gázok (nitrogén) nagy mennyisége miatt az előállított szintézisgáz fajlagos mennyisége megnő, emiatt kicsi az energiasűrűsége. Az energiasűrűség növelése a ballasztként viselkedő összetevők leválasztásával megvalósítható, de ennek jelentős költségvonzata ismeretes. Reális megoldásként a levegő lecserélésével, vagy a levegő és egyéb gáz megfelelő arányú keverékének alkalmazásával számolhatunk.

Az energiasűrűség növekedésével a gázkezelő rendszer beruházási és üzemeltetési költségei is csökkenthetők. Az erőmű teljes élettartama alatt előállított energia kihozatalra nézve a segédgáz bekerülési költsége a mérvadó, ezért a számítások során csak ezt vettem figyelembe.

Egy alternatív segédgáz alkalmazása akkor nevezhető gazdaságos megoldásnak, ha a levegő közegehez viszonyított energiatöbbletből származó bevétel nagyobb, mint az alternatív segédgáz bekerülési költsége. Ennek megállapítása érdekében további modellvizsgálatokat végeztem. A modellezés során azt vizsgáltam, hogy a levegő segédgáz lecserélése, illetve szén-dioxiddal, valamint vízgőzzel történő keverése, hogyan változtatja a szintézisgáz kémiai összetételét, valamint milyen mértékben növeli a fajlagos energia kihozatalát. Az elemzések elkészítettem tiszta szén-dioxidra és tiszta vízgőzre vonatkozóan is. Példaként egy átlagos összetételű biomasszára kapott eredményeket mutatom be. Az átlagos fás szárú biomassza moláris képlete:  $CH_{1,25}O_{0,4}$ .

A szén-dioxid nagy bekerülési költsége miatt arra az eredményre jutottam, hogy a szén-dioxid segédgázként történő alkalmazása fás szárú biomassza plazmatechnológiával történő kezelése során nem gazdaságos megoldás. A palackozott, tiszta szén-dioxid átlagosan 280-300 Ft/kg-os ára mellett alkalmazása még levegővel történő keveréssel sem gazdaságos. Ellenben, ha nem élelmiszeripari minőségű, hanem vegyipari szintézisekből származó szén-dioxidot alkalmazunk, a gazdasági mutatók javíthatók. Mivel a metanol gyártás során jelentős mennyiségű szén-dioxid szabadul fel, ezért célszerű egy kombinált rendszert kialakítani. Az így létrejött technológia-együttesben a metanol reakciók során felszabaduló szén-dioxid a plazmatechnológiába segédgázként bevihető.

Másik lehetőség a keletkező szintézisgázban, illetve az erőművi hasznosítást követően felszabaduló, füstgázban található szén-dioxid leválasztása és segédgázként történő visszavezetése a technológiába. Üzemi költségként a leválasztáshoz használt segédanyagok ára és a berendezések energiaigényének költségei jelentkeznek, amelyek így befolyásolják a plazmatechnológia gazdaságosságát és működési hatékonyságát [13].

Alapadatként a 38%-os nettó villamos hatásfokkal rendelkező gázmotoros energiatermelést tekintettem [14]. A megtermelt villamos energia kötelező átvételi ára 2020-ban a napi csúcs, a völgy és a mélyvölgy időszakok időarányos felosztása alapján átlagosan 31,88 Ft/kWh, a szén-dioxid ára 280 Ft/kg. A 15%-os nedvességtartalmú fa plazmatechnológiával történő kezelése során, a szén-dioxid segédgázzal elérhető energiasűrűség növekedés mértékét, valamint a kiadási és a bevételi oldalt az 1. táblázat tartalmazza. A számításokat a [15, 16] irodalmak által ismertetett példák alapján végeztem el.

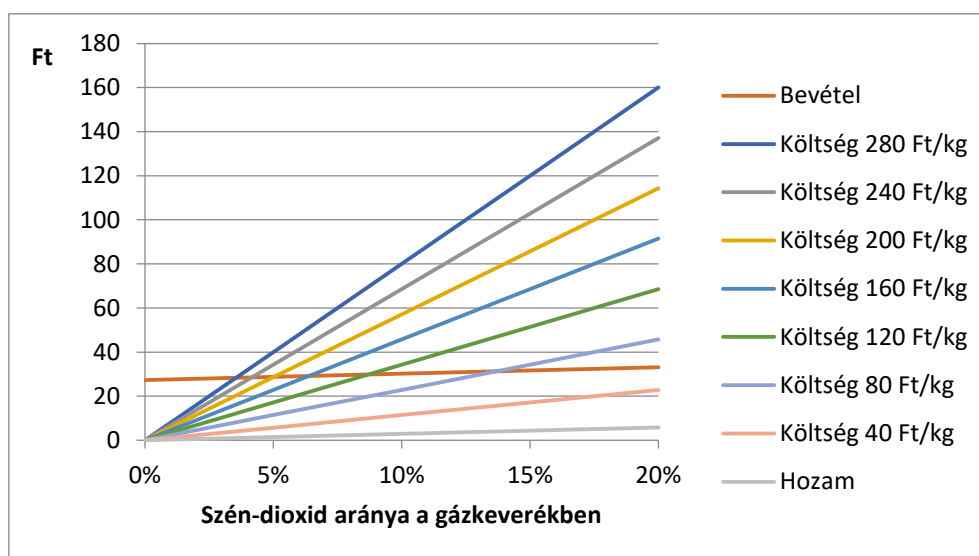
**1. táblázat.** Szén-dioxid segédgáz alkalmazásának energetikai hatása és pénzügyi vonzata plazmatechnológiánál.

Levegő [kg/kg <sub>fa</sub> ]	CO <sub>2</sub> [kg/kg <sub>fa</sub> ]	CO <sub>2</sub> tartalom	$e_k$ [MJ/kg <sub>fa</sub> ]	$\Delta e_{ak}$ [-]	Kiadás [Ft/kg <sub>fa</sub> ]	Bevétel [Ft/kg <sub>fa</sub> ]	Profit [Ft/kg <sub>fa</sub> ]
2,8572	0,0000	0%	11,0083	1,0000	0,00	27,30	27,30
2,7143	0,1429	5%	11,5929	1,0531	40,00	28,75	-11,25
2,5714	0,2857	10%	12,1764	1,1061	80,00	30,19	-49,81
2,4286	0,4286	15%	12,7614	1,1593	119,99	31,64	-88,36
2,2857	0,5714	20%	13,3453	1,2123	160,00	33,09	-126,91

Jelölések jelentése:

- $e_k$  a fajlagos energiakihozatal,
- $\Delta e_{ak}$  az abszolút összesített energiasűrűség-változás.

A szén-dioxid bekerülési költségének változására vonatkozóan érzékenységi vizsgálatot végeztem. Megvizsgáltam, hogy a felhasznált szén-dioxid ára hogyan befolyásolja a költség-haszon görbét, a fedezeti pontot (2. ábra).



**2. ábra.** Széndioxid bekerülési költségének hatása a fedezeti pontra.

Megfigyelhető, hogy a széndioxid bekerülési költsége nagyobb meredekségű függvénnyel írható le, mint a bevételi görbe. Amennyiben csökken a szén-dioxid ára, nagyobb keverési arány mellett érjük el a fedezeti pontot. Ennél nagyobb keverési arány mellett a technológia működtetése veszteséges lesz. A számítások azt eredményezték, hogy csak abban az esetben érhetünk el bevételtöbbletet (hozamot), ha a szén-dioxid előállítás, vagy bekerülési költsége 10,13 Ft/kg értékhatár alatt marad.

Megvizsgáltam azt az esetet is, amikor a szén-dioxid bekerülési költsége mellett a keverési arány, az erőgép hatásfoka, valamint a villamos energia kötelező átvételi ára is változik. Mindezek figyelembe vételével sikerült felírnom egy összefüggést a legkisebb négyzetek módszerének alkalmazásával (1. összefüggés), amely megmutatja, hogy ha változik az előbb említett paraméterek egyike, akkor hogyan alakul a bevételi oldal. A függvény átrendezésével megadható az a keverési arány, amelynél a technológia bevételi és kiadási oldala megegyezik (különbségük nullával egyenlő), azaz a fedezeti pont.

Mindezek alapján a haszon:

$$H = 0,5352 \cdot \sqrt{A_{CO_2}} + 0,01519 \cdot \eta_{egv}^2 - 0,1428 \cdot KTG_{CO_2} + 0,01519 \cdot B_e^2 \quad (1)$$

függvénnyel írható le, ahol:

- $H$  a haszon,
- $A_{CO_2}$  a szén-dioxid keverési aránya,
- $\eta_{egv}$  az erőgép nettó villamos hatásfoka,
- $KTG_{CO_2}$  a szén-dioxid bekerülési költsége és
- $B_e$  a villamos energia átvételi ára.

A modellezések során a vízgőz alkalmazása pozitív eredményt hozott. A vízgőz előállításának nincs közvetlen költsége, mert a szintézisgáz hűtéséből származó hő közvetlenül alkalmazható vízgőz előállítására. Mind önálló segédgázként, mind a levegővel keverten történő alkalmazása egyaránt növeli a fajlagos energia kihozatalt [17]. Ebből következik, hogy a vízgőz alkalmazása nagyobb haszonnal jár, mint költséggel. Alkalmazhatósági korlátját a kezelésre kerülő alapanyag nedvességtartalma jelenti. A nedvességtartalom növekedésével arányosan csökken az energia sűrűség növekedés mértéke. 40%-os nedvességtartalommal rendelkező alapanyagoknál már nem érhető el energia kihozatal növekedés. Az elemzés alapadatai az előzőekben elmondottakkal megegyező. Az így kapott eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

**2. táblázat.** Vízgőz segédgáz alkalmazásának energetikai hatása és pénzügyi vonzata plazmagázosításnál

Levegő [kg/kg <sub>fa</sub> ]	Gőz [kg/kg <sub>fa</sub> ]	Gőz- tartalom	$e_k$ [MJ/kg <sub>fa</sub> ]	$\Delta e_{ak}$ [-]	Kiadás [Ft/kg <sub>fa</sub> ]	Bevétel [Ft/kg <sub>fa</sub> ]	Profit [Ft/kg <sub>fa</sub> ]
2,8572	0	0%	11,0083	1,0000	0,00	27,2957	27,2957
2,7143	0,1429	5%	11,4693	1,0419	0,00	28,4387	28,4387
2,5714	0,2857	10%	11,9383	1,0845	0,00	29,6017	29,6017
2,4286	0,4286	15%	12,4108	1,1274	0,00	30,7734	30,7734
2,2857	0,5714	20%	12,8886	1,1708	0,00	31,9579	31,9579

A nagyobb H/C és O/C aránnyal rendelkező fás szárú biomasszák esetében az energia sűrűség növekedés mértéke az aránypárok növekedésével arányosan csökkenő tendenciát mutat. Ezekben az esetekben a segédgáz cseréjével kisebb energia sűrűség növekedés, és profítnövekedés érhető el.



#### 4. Összefoglalás

Egyszerűsített energetikai költség-haszon elemzést végeztem a plazmatechnológiánál alkalmazott különböző gázosító közegek fajlagos energiakihozatalra gyakorolt hatásának függvényében. A palackozott, tiszta szén-dioxid nagy bekerülési költsége miatt, arra az eredményre jutottam, hogy annak segédgázként történő alkalmazása nem gazdaságos a fás szárú biomassza plazmatechnológiával történő kezelése során. Felírtam egy összefüggést a gazdasági haszonra a szén-dioxid bekerülési költségének és keverési arányának, a villamos energia átvételi árának, valamint az erőgép hatásfokának függvényében. A vízgőz előállításának nincs közvetlen költsége, mert a szintézisgáz hűtéséből származó hő közvetlenül alkalmazható. A vízgőz, mind önálló segédgázként, mind levegővel keverten történő alkalmazása egyaránt növeli a fajlagos energiakihozatalt. A vízgőz alkalmazása 40%-os nedvességtartalmú alapanyagig nagyobb haszonnal jár, mint költséggel [19].

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Irodalom

- [1] Thompson, W.: Bevezetés a plazma fizikába. Budapest, 1970.
- [2] Murphy, J. D., McKeogh, E.: Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Renewable Energy* 29. 2004. pp. 1043–1057 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.12.002>
- [3] Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D.: Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization. *Energy Conversion and Management* 49. 2008. pp. 2264–2271. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.025>
- [4] Örvös, M.: Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal. Oktatási segédlet BME, 2011. p. 31.
- [5] Huang, H., Tang, L.: Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management* 48. 2007. pp. 1331–1337. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.08.013>
- [6] Klinghoffer, N., B., Castaldi, M., J.: Waste to energy conversion technology. Woodhead Publishing, Philadelphia, USA, 2013. p. 234. <https://doi.org/10.1533/9780857096364>
- [7] Szuhi, A.: Új termikus technológiák és hagyományos hulladékégetők. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium 2009. p. 36.
- [8] Szuhi, A.: Az új termikus technológiák környezeti hatásai (pirolízis, elgázosítás és plazma technológia). Humusz Szövetség és Vidékfejlesztési Minisztérium 2013. p. 14.
- [9] Szépvölgyi, J.: Anyagok átalakítása magas hőmérsékletű plazmákban. *Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények*. 2000. (36. évf.) 65. sz. p. 4.
- [10] Lee, S., Speight, J., G., Loyalka, S., K.: Handbook of alternative fuel technologies. Taylor & Francis, 2015. p. 686. <https://doi.org/10.1201/b17157>

- [11] Kóródi, M. (szerkesztő): Turizmus kutatások módszertana. Pécsi Tudományegyetem. 2011. p. 200.
- [12] A közigazgatási Informatikai Bizottság 29. számú ajánlása: Az elektronikus közigazgatási projektek költség-haszon elemzéséről. 2009. p. 69.
- [13] Kapros, T.: Erőművi CCS technológiák költségei, a piacképességet fokozó intézkedések. hulladékOnline, elektronikus folyóirat. 3. évf. 2012. 2. sz. p. 16.
- [14] Huang, H., Tang, L.: Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management* 48. 2007. pp. 1331–1337. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.08.013>
- [15] Horváth, Zs.: Képletgyűjtemény. Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest, 2011.
- [16] Bozsik, S.: Pénzügyi számítások. Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem, 2009. p. 175.
- [17] Schuster, G., Löffler, G., Weigel, K., Hofbauer, H.: Biomass steam gasification - an extensive parametric modeling study. *Bioresource Technology*. Vol. 77. 2001. pp. 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00115-2)
- [18] Young, G., C.: Municipal solid waste to energy conversion process, economic, technical, and renewable comparisons. John Will & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2010. p. 379. <https://doi.org/10.1002/9780470608616>
- [19] Bodnár, I.: Hulladékok energetikai célú hasznosításának vizsgálata energiahatékonyság, költség-haszon és élelciklus-elemzési módszerekkel. Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2016. p. 161.