



MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**Kombinált termikus ártalmatlanítási technológiák
vizsgálata életciklus-elemzéssel**

Sipos László

I. éves gépészmérnök mesterszakos hallgató

Konzulens:

Dr. Mannheim Viktória

egyetemi docens

Vegyipari Gépek Tanszéke

Miskolc, 2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Vegyipari hulladékok kezelése	4
3. Termikus kezelési technológiák	7
3.1. Termikus kezelési eljárások fogalma és feltételei	7
3.2. Ismertebb termikus kezelési technológiák bemutatása.....	8
4. LCA (életciklus-értékelés) bemutatása.....	14
4.1. Mi az LCA?	14
4.2. Az LCA lépései.....	15
4.3. GaBi5 LCA-szoftver bemutatása.....	17
5. Kombinált, termikus technológiák vizsgálata	18
5.1. I. technológia: plazmatechnológiával kiegészített pirolízis.....	19
5.1.1. A veszélyes hulladék pirolízise.....	19
5.1.2. A pirokoksz ártalmatlanítása a plazmatechnológia segítségével.....	20
5.1.3. Az éghető gázok átalakítása hasznos energiává.....	21
5.1.4. Eredmények hatáskategóriánkénti kiértékelése	23
5.2. II. technológia: elgázosítással kiegészített pirolízis	25
6. Eredmények kiértékelése	28
6.1. A környezeti hatáskategóriák összehasonlítása	28
6.2. A gázmotorokhoz tartozó környezeti terhelések	33
6.3. Megtérülési idők számítása.....	34
6.4. Kombinált technológiák összehasonlítása	36
7. Összefoglalás	38
8. Köszönetnyilvánítás.....	40
9. Irodalomjegyzék	41

1.Bevezetés

A szerves ipari és vegyipari hulladékok kezelésének legelterjedtebb megoldását napjainkban a veszélyes hulladékégetőkben történő égetés, illetve a veszélyes hulladéklerakókban történő elhelyezés képezi. A veszélyes hulladékégetőkben történő égetés kémiai reakciói során olyan veszélyes vegyületek keletkezhetnek, amelyek általában nagyobb veszélyt jelenthetnek a környezetünkre, mint a kezelni kívánt hulladékok. Az integrált hulladékpiramis alapján az említett alternatívák ártalmatlanítási eljárásoknak számítanak, amelyek nem versenyképesek a piramis többi lépcsőjén elhelyezkedő hulladékkezelési megoldásokkal. Ettől valamivel preferáltabb megoldást jelentenek a termikus kezelési/energetikai hasznosítási technológiák, amelyek ugyan nem versenyezhetnek az újrahasznosítással, de a szerves ipari és veszélyes hulladékáramokat illetően az előnyösebb megoldások nem kerülhetnek előtérbe. Tudományos kutatómunkám célja, olyan termikus, kombinált technológiák megtervezése és többkritériumos vizsgálata volt, amelyek megoldást nyújthatnak a szerves ipar és a vegyipar területén keletkező hulladékok kezelésére is. A megfelelő kombinált technológiák kiválasztása érdekében fontos az egyes termikus kezelési eljárások külön-külön történő vizsgálata. A termikus kezelési eljárások összehasonlítása során egyszerre kell a környezetvédelmi, az energetikai és a gazdaságossági szempontokat vizsgálni. Az életciklus-értékelés (LCA) alkalmazása a termikus kezelési eljárások vizsgálata során megfelelőnek tűnik. Tudományos diákköri dolgozatom előzményeként egy többhónapos, tanszéki kutatómunka keretében (a TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-0001-2010 jelű projekt kapcsán), már megvizsgáltam az egyes termikus kezelési technológiákra irányuló kérdéseket. Előzetes kutatásaim során elsősorban az egyes technológiákra vonatkozó anyag- és energiaáramok mérlegének felírásával és a technológiák gazdaságossági kérdéseivel foglalkoztam. Így született döntés arra vonatkozóan, hogy az egyes termikus kezelési eljárások külön-külön történő vizsgálata mellett, a kombinált technológiákat is megvizsgáljam, a környezetterhelési, energiahatékonysági és a gazdaságossági téren is.

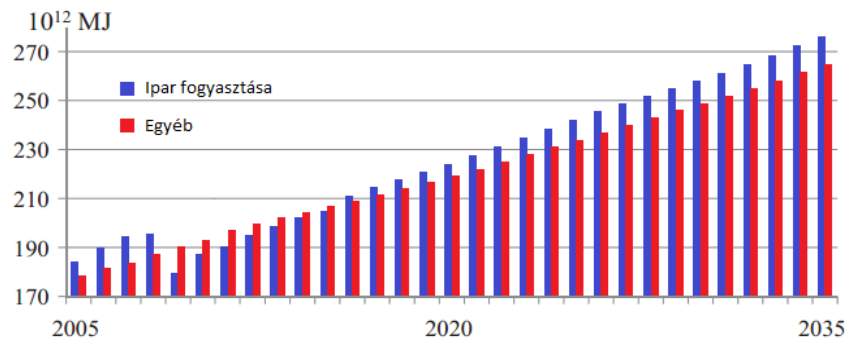
2.Vegyipari hulladékok kezelése

Napjaink egyik sürgető problémája, az egyre nagyobb mértékben jelenlévő szerves ipari (veszélyes) hulladékok kezelése. A keletkező veszélyes hulladékok káros hatásainak kiküszöbölése érdekében alapvetően két eljárás ismert a szerves ipari technológiák során:

- 1) Termelési technológiák megváltoztatása zöld kémiai módszerekkel és recirkulációval.
- 2) A már keletkezett szerves, ipari hulladék megfelelő kezelése.

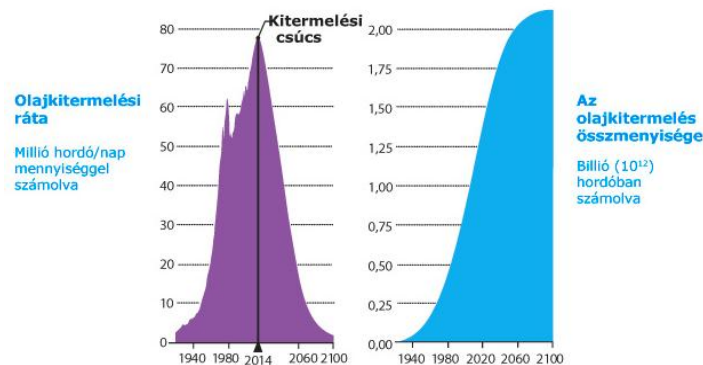
A vegyipari hulladékok kezelésének legelterjedtebb módja a veszélyes hulladékégetőkben történő égetés és a veszélyes hulladéklerakókban való elhelyezés. A hulladéklerakókban történő elhelyezés a kevésbé fenntartható módszer, köszönhetően a hulladéklerakók véges mennyiségének, továbbá csak rendkívül nehezen oldható meg a hulladék környezettől való elszigetelése. A veszélyes hulladékégetőkben történő égetés kémiai reakciói során veszélyes vegyületek keletkezhetnek. Számos lehetőséggel kecsegtet a veszélyes hulladékok termikus kezelése, mivel egy helyesen kivitelezett termikus eljárás eredményeképpen nem csupán energiát nyerünk, hanem egy olyan óriási problémára is megoldást kapunk, mint a világ hulladékkészletének feldolgozása.

A francia Total olajtársaság becslése szerint 2030-ig, 25%-al fog emelkedni a világ energiafogyasztása (ld. **1. ábra**). Hasonló számokat mutatnak más forrásból származó kutatások is, amelyek szintén drasztikus emelkedésről számolnak be. A fent említett olajtársaság elmondása szerint 2030-ban várhatóan a világ energiaigényének 76%-át a fosszilis energiahordozók fogják biztosítani, ehhez azonban növelni kell a 86-87 millió hordónyi napi olajkitermelést 96 millió hordóra [1, 2].



1. ábra A világ energiafogyasztása a XXI. század első harmadában [2]

Aggodalomra az ad okot hogy várhatóan 2014-re az olajtársaságok elérik kitermelési maximumukat, azaz ezt követően rohamosan fog csökkenni kitermelhető olaj mennyisége (ld. **2. ábra**). Ez pedig egy olyan társadalomra, amely ezen energiahordozókra épült, bénítóan hathat.



2. ábra Olajtermelési ráta (Scientific American ábrája) [3]

A fenti jóslatok figyelembevételével belátható, hogy mennyire fontos átállni más, megújuló energiaforrások használatára. Szerencsére azonban, már láthatóak az erre vonatkozó törekvések. Az **1. táblázat** mutatja, hogy a megújuló energiaforrások milyen arányban járulnak hozzá a megadott régiók energiatermeléséhez (GWh-ban). Ahogy azt a fenti táblázat is mutatja, a megújuló energiaforrások közül a hulladékkezelés során termelt villamos energia járul hozzá leginkább az össztermeléshez. Mindezek indokolják a termikus kezelési technológiák vizsgálatának fontosságát.

1. táblázat A megújuló energiaforrásokból származó villamosenergia termelés [2]

Régió	Települési hulladék	Ipari hulladék	Szilárd hulladék	Biogáz	Folyékony bioüzemanyag	Szélenergia
Ázsia	0	0	4801	39	0	61
nem-OECD	2984	2587	40745	196	0	30596
OECD	55136	8620	122080	31239	3443	187908
Világ	58120	11207	162825	31435	3443	218504
Régió	Geotermális energia	Napenergia	Vízenergia	Solar PV (napelem)	Apály-dagály energia	
Ázsia	19022	0	66003	5	0	
nem-OECD	23654	0	1906,363	247	0	
OECD	40594	898	1381,191	11769	546	
Világ	64608	898	3287,554	12061	546	

3.Termikus kezelési technológiák

3.1. Termikus kezelési eljárások fogalma és feltételei

A termikus kezelési eljárások elsősorban a hulladékok ártalmatlanítással történő kezelésére irányulnak, ezen belül is leginkább a veszélyes hulladékok kezelésére. A veszélyes hulladékok termikus kezelését a jogi szabályozás jelenleg ártalmatlanításnak tekinti az Európai Unióban, és ebből adódóan hazánkban is. Az ártalmatlanítás részletes szabályait a hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről szóló 3/2002. (II.22.) KöM rendelet tartalmazza. Az égethető hulladékok termikus kezelése során az elsődleges szempont a szervesanyag-tartalom oxidálása és a hulladékban lévő veszélyes anyagok ártalmatlanítása, amely mellett természetes igény a képződő hőenergia kinyerése és hasznosítása is. Mivel az ártalmatlanításra kerülő hulladék rendkívül vegyes és változó összetételű lehet, illetve szerves anyagokat, ásványi anyagokat, fémeket és vizet tartalmazhat, ezért a termikus kezelési eljárások vizsgálata kapcsán elengedhetetlen feladat a rendelkezésre álló valamennyi termikus technológiai lehetőség mérlegelése és összehasonlítása. A termikus ártalmatlanítási technológiák olyan műveletek, amelyek alkalmasak a megsemmisítésre váró hulladékokat valamely szempontból kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező termékekké (pl. H_2 , HCl), illetve energiává átalakítani. Az eljárások mellékterméke - a salak és a pernye mellett - gyakran a szintézisgáznak is nevezett füstgáz, ami energiaforrásként használható fel (köszönhetően a viszonylag magas CO , H_2 , CH_4 tartalmának). Továbbá, a folyamatot kísérő hulladékhő felhasználható más technológiák fűtésére is.

Termikus kezelési eljárások alapvető feltételei [12]:

- A hulladék főbb jellemzőinek ismerete
- Megfelelő áramlási viszonyok, turbulencia (turbulence)

- Megfelelő tartózkodási idő (time)
- Megfelelő mennyiségű/minőségű égéslevegő
- Megfelelő égéstér hőmérséklet (temperature)
- Hulladék megfelelő előkészítése
- Technológiai paraméterek pontos betartása, jó konstrukciójú égésterek, megfelelő szabályozás

3.2. Ismertebb termikus kezelési technológiák bemutatása

Az egyéb termikus hulladékkezelési technológiákat (pirolízis, gázosítás, plazmaeljárás) elsősorban az különbözteti meg a hagyományos égetéstől, hogy a hulladék kezelése oxigénszegény vagy oxigénmentes környezetben történik (**ld. 2. táblázat**).

2. táblázat Termikus kezelési eljárások főbb jellemzői [12]

Eljárás megnevezése	Hőmérséklet (Celsius fok)	Segédanyagok Segédáramok	Főbb végtermékek
Hagyományos égetés	850-1100	olaj/földgáz póttüzelés	füstgáz, salak/pernye
Alacsony, közepes és nagy hőmérsékletű pirolízis, parciális pirolízis	450-1200	inert gáz (pl. nitrogén)	pirogáz, pirolaj, szilárd maradék (pirokoks, grafit, salak)
Ultramagas hőmérsékletű pirolízis, gázosítás	1200-2000	oxigén, vízgőz, levegő	gáznemű anyagok, szilikátos végtermékek
Plazma technológia	> 3000	mosófolyadék, hűtővíz, semleges/oxidáló/redukál ó gázok	szintézisgáz, üvegesített salak

Hagyományos égetés

A hulladékégetés exoterm folyamat, amelynél a tökéletes oxidáció, megfelelően nagy légfeles-leggel biztosítható. Az égetés során a hulladék szervesanyag-komponensei a levegő oxigénjével reagálva gázokká, vízgőzzé alakulnak és füstgázként (lényegesebb szennyező komponensek: sósav, kén-dioxid, kén-trioxid, szén-monoxid, szénhidrogének, szén-szén vegyületek, elemi szén, hidrogén-fluorid) távoznak az égető rendszerből. Az éghetetlen szervesanyagok salak vagy pernye formájában maradnak vissza. Teljes oxidációs technológiában a hulladék az első égéstérben (a kemencében) a sztöchiometrikus levegőigény 1,5-2,5-szeresének megfelelő égéslevegővel intenzíven érintkezve 90-95%-os hatásfokkal oxidálódik. A tüztér hőmérséklete a hulladék beadagolása után azonnal nőni kezd és kb. 5-7 perc után eléri a maximumát. Az adagolás környezetében a falazat hőmérséklete magasabb, mint a tüztér hőmérséklete, ezért az intenzív hősugárzás nagyon rövid idő alatt megindítja a kigázosodás folyamatát. Az égés vegyi reakciói (pl. klórkötések lebomlása sósavvá, fém-kloridok, szulfátok képződése) gyorsak, azaz az égés sebessége nagyobb, mint maga a bomlási sebesség. A még 5-10% éghető gázt, illórészt tartalmazó füstgáz az utóégető kamrába (második égéstérbe) áramlik, ahol az előírt hatásfokú égetés befejeződik. A gáz áramlása az utóégető kamrában lelassul és a turbulencia (a nagy sebességgel befűjt szekunder levegő keveredése ellenére) lecsökken. Az előírt 850°C-1100°C hőmérsékletet csak olaj/földgáz póttüzeléssel, ill. támasztóégőkkel (alacsony fűtőértékű hulladék esetén) lehet tartani. Ennek oka az, hogy a kamrában hőveszteség lép fel, valamint a szekunder levegő befűvása is hűlést okoz. Általános előírások szerint a füstgáznak az utóégető kamra szekunder levegősugár feletti terében legalább 2 másodpercig kell tartózkodnia, hogy a füstgázban maradt éghető anyagok tökéletesen elégjenek. A hagyományos égetés nagy hátrányára szolgál a hulladékok szükséges előkezelése, a szénhidrogének tökéletes égéséhez szükséges rövid tartózkodási idő (2 másodperc általában nem elégséges), az utóégető kamra szükséges jelenléte és a keletkező füstgáz káros gázhalmazállapotú szennyezői miatt

szükséges füstgáz és füstgáz-tisztítási maradékok kezelése. Tökéletes égés csak akkor jöhet létre, ha a technológiai paraméterek helyesen vannak beállítva, továbbá az égőtér kialakítása is megfelelő [4, 12].

Fontos tényezők:

- megfelelő mennyiségű oxigén jelenléte,
- megfelelő égéstér hőmérséklet,
- éghető anyag,
- minimális tartózkodási idő elérése és
- a fejlődő gázok és az égéshez szükséges levegő keveredését okozó turbulencia.

Pirolízis

A pirolízis oxigén hiányában, hő hatására végbemenő endoterm kémiai folyamat. A folyamat során képződő elemek lehűlés közben újraegyesülnek, és egyszerűbb vegyületeket alkotnak; a veszélyesebb hulladékokból kevésbé veszélyes szilárd és gáz halmazállapotú reakciótermékek keletkeznek. Mivel itt a feladott anyag összetételében csak kisebb ingadozás engedhető meg, ezért az előkezelés költségesebb és külön figyelmet kell fordítani arra, hogy a reakciótér oxigénben szegény maradjon. A technológia füstgáz-tisztítási, szennyvízkezelési és szilárd maradékkezelési eljárásokat igényel. Ellentétben a jogi értelmezéssel, műszaki értelemben a pirolízis üzem nem tekinthető hulladék „égetőnek”. A hőbontás (pirolízis) a szerves anyagú hulladékok megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben –esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetése közben –szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása. A folyamat végeredményeként általában folyékony végtermék (pirolízis olaj) és/vagy gáznemű végtermék (pirolízis gáz) és/vagy szilárd végtermék (pirolízis koks/salak) keletkezik. Az hogy a három fő végtermékből, melyik és milyen arányban képződik, az nagyban függ az adott technológiai eljárástól. Az alkalmazott reaktorok a fűtési mód szerint lehetnek közvetett (reaktorfalon keresztül, ill. cirkulációs közeg segítségével) és közvetlen fűtési megoldásúak. A

használatos főbb reaktortípusok: vertikális/aknás, horizontális fix, forgódobos és fluidizációs reaktorok.

A szabályozott termikus oxidáción alapuló pirolízis technológia lényege, hogy az első kamrában oxigénmentes körülmények között a szilárd hulladékot alkotó szénvegyületek gázfázisúvá alakulnak át. A második kamrában (az ún. utóégetőben) a gáz levegővel turbulens áramlással keveredik, ez által magasabb hőmérsékletet elérve, biztosítjuk a lehetséges veszélyes anyagok teljes ártalmatlanítását. Salakolvasztásos eljárásoknál nagyobb a kibocsátott pirolízis gáz mennyisége és a kiégetett maradékanyag a környezettel szemben teljesen közömbös, gyakorlatilag bárhol lerakható. A pirolízis üzem kibocsátásai, környezeti, társadalmi és gazdasági hatásai közel azonosak a hagyományos égetőkéhez. Az égetési folyamatok során keletkező dioxinok képződésére a 800°C alatti hőmérséklet a legkedvezőbb. Leválasztásuk egyik problémáját az jelenti, hogy a füstgáz-csatorna különböző hőmérsékletű helyein újra keletkeznek és átalakulnak, valamint a szilárd részecskék felületén is előfordulhatnak. Klórtartalmú vegyületek égetésénél előírás 1150°C-os hőmérsékleten, a legalább 2 másodperces tartózkodási idő biztosítása. A teljes oxidációs technológiához képest számos előnnyel bír a parciális pirolízis, ahol kevesebb a füstgázokban lévő nehéz- és átmeneti fémszennyezés és a lassú, jól szabályozott égés folyamán kisebb emisszió lép fel. A parciális pirolízis azonban költséges és szerkezeti problémákkal jár [4, 12].

Gázosítás, elgázosítás

A gázosítás az anyagok gyors hőbontásán alapszik parciális oxidációval kis mennyiségű oxigén vagy levegő hozzáadása mellett. Az égés segédanyagok, mint például levegő, oxigén, vagy vízgőz mellett megy végbe. Ezen eljárás legfőbb célja a hulladékártalmatlanítás mellett, a legnagyobb gázkihozatal. Az elgázosításhoz szükséges energiát a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A gáztermék döntően hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, mely fűtőértéke sajnos jelentősen az alacsony hőmérsékletű pirolízis gáz fűtőértéke alatt van. A gáztisztítás esetén is, ahogy a pirolízises módszereknél komplex tisztítási eljárásokat kell alkalmazni. A füstgáz és a salakmaradék hasonló a hagyományos égetőkéhez. Kevés levegő

hozzáadásával történő részleges oxidáció, melynek előnye, hogy majd minden hulladék kezelhető az eljárással, hátránya viszont, hogy érzékenyebb a hulladék előkészítésre, mint a többi technológia [4, 12].

Gázosítás főbb alaptípusai

1. Siemens-eljárás: a pirolízis és az azt követő nagyhőmérsékletű égetés kombinációja.
2. Lurgi-eljárás: a Siemens-eljárástól főként az elülső, termikus feltáró egységben különbözik, ahol cirkuláló fluidágyas kemencét alkalmaznak.
3. Noell-féle eljárás: a szilárd hulladék termikus feltárása közvetetten fűtött forgódobos reaktorban, aprítást követően történik.
4. Thermoselect-eljárás: alapvetően szilárd települési és ipari hulladékok kezelésére dolgozták ki. A települési hulladék előkezelés nélkül feldolgozható a berendezésben.

Gázosítás előnyei:

- Kisebbségi a tisztítandó gázmennyiség.
- A nagy molekulájú szénhidrogének, elsősorban az ártalmas klórtartalmú vegyületek nagyhőmérsékletű lebontása, a dioxinok és furánok redukáló atmoszférával gátolt képződésével.
- Az üvegszerű salakgranulátum előállításával (nehézfémek megkötésével) a szilárd maradékok másodlagos környezetszennyező hatásai minimalizálhatók, egyúttal könnyebben hasznosítható végtermék nyerhető ki (hasonlóan a salakolvasztásos égetéshez).
- Olyan tiszta gáztermék állítható elő, amely sokoldalúan hasznosítható.

Plazmaeljárás

A termikus hulladékkezelés egyik ígéretes és sokoldalú lehetősége, a plazmaeljárás, amely technológiáról a hazai hulladékgazdálkodás még meglehetősen kevés információval és szakirodalmi háttérrel rendelkezik. A technológiának tudományos érdekességén túlmenően igen jelentős gyakorlati vonzatai is vannak, hiszen a plazmák alkalmazása jelentősen csökkentheti az adott folyamatok energiaigényét. A plazmát plazmagenerátorral képezett, villamos íven átbocsátott gáz vagy gázelegy magas hőmérsékletre történő felhevítésével hozzák létre. A villamos ív elektromos energiája hővé alakul, ami a plazmaképző gázt (semleges, oxidáló és redukáló gázok) a célnak megfelelő hőmérsékletre hevíti ($T > 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) [12].

4. LCA (életciklus-értékelés) bemutatása

4.1. Mi az LCA?

Az életciklus-értékelés vagy LCA olyan vizsgálati eljárás, amely egy termék, vagy szolgáltatás teljes életútja során létrejövő hatásokat vizsgál. A módszert e sajátossága miatt nevezik „bölcsőtől a sírig” eljárásnak is. A kutatómunka keretében

az LCA számszerűsítést ad arra vonatkozóan, hogy a tervezett és vizsgált ártalmatlanítási technológia milyen környezeti terheléseket okoz.

Az LCA-nak azért lehet létjogosultsága az átfogó elemzést nyújtó eszközök között, mert egy termék, vagy szolgáltatás előállítása során mindig keletkeznek anyag- és energiaáramok, amelyek többé-kevésbé hatással vannak környezetünkre. Az LCA



3. ábra Egy termék egyszerűsített életútja [5]

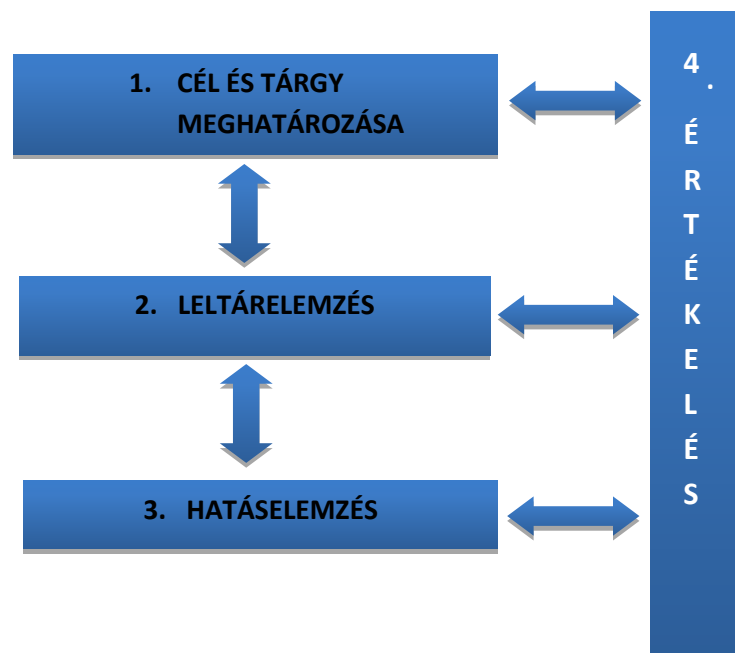
figyelembe vesz ökológiai következményeket (pl. globális felmelegedés, ózonlyuk keletkezés), emberi egészséget befolyásoló káros hatásokat (pl. szmog képződés, humán toxicitás), valamint a nyersanyagok felhasználásával társuló egyéb hatásokat (pl. vízfelhasználás) [5].

Maga az életciklus-szemlélet (az előzetes 2012. évi XXVIII. törvény függvényében) már fontos szerepet kap, a várhatóan 2013. évtől hatályba lépő új

hulladékgazdálkodási törvényben is, ami által a hazai hulladékgazdálkodás szerves részévé válik. Az LCA eredmények alapján megfelelően járhatunk el az egyes termikus kezelési eljárások vizsgálatát és azok kombinációinak helyes kiválasztását illetően.

4.2. Az LCA lépései

Az első szakaszban, a cél és tárgy meghatározásában ki kell jelölnünk, hogy mire vonatkozóan vizsgálódunk, mi motiválja a felmérés elkészítését, várhatóan mihez kezdünk az eredménnyel. A második lépésben, azaz az életciklus leltárelemzésben anyag-és energiaáramok felírása történik, azt követően pedig a környezeti hatások vizsgálata, az életciklus hatásvizsgálat módszereivel. Végezetül az életciklus értelmezés során következtetéseket vonhatunk le az eredmények fényében, vizsgálhatjuk azok minőségét.



4. ábra Az életciklus-elemzés lépései

A hatáselemzés során a vizsgált termék, vagy szolgáltatás létrejöttét kísérő anyagáramokat vizsgáljuk aszerint, hogy mennyire hozhatóak összefüggésbe különböző környezeti problémákkal, és eszerint sorolhatóak be hatáskategóriákba.

Például a CO₂, a CH₄, vagy a NO₂ az üvegházhatást okozó gázok csoportjába tartoznak, így azokat célszerű a globális felmelegedéssel összefüggő hatáskategóriába sorolni. Miután az anyagokat a megfelelő hatáskategóriába soroltuk, az anyagáramokhoz rendelünk egy jellemzési faktort, amely arányos az aktuális anyagáram környezeti hatásával. Minden hatáskategóriához tartozik egy jellemzési egység, amely az adott hatáskategória mértékegysége. Például a globális felmelegedéssel kapcsolatos hatáskategória mértékegysége a kg CO₂ -egyenérték. Mivel a metán 25-ször erősebben járul hozzá a globális felmelegedéshez, mint a szén-dioxid, így 1 kg metán jellemzési faktora 25 kg CO₂ -egyenérték.

3. táblázat Környezeti hatáskategóriák (CML 2001 kiértékelési módszer szerint)[6]

Hatáskategóriák megnevezése	Hatáskategóriák értelmezése	Egyenérték
Globális felmelegedési Potenciál (GWP)	A különböző üvegházhatású gázok globális felmelegedéshez való hozzájárulásának a mértéke egységnyi CO ₂ -hoz viszonyítva.	kg CO ₂ -egyenérték
Savasodási Potenciál (AP)	A SO ₂ -hoz viszonyított savasodás.	kg SO ₂ -egyenérték
Eutrofizációs Potenciál (EP)	Az eutrofizáció mértéke.	kg Foszfát-egyenérték
Humán Toxicitási Potenciál (HTP)	Az emberi szervezetre mérgező hatású anyagokra vonatkozó, maximálisan megengedett koncentráció mértéke 1,4 diklórbenzol (DCB) egyenértékben.	kg DCB-egyenérték
Fotokémiai Ózonképződési Potenciál (POCP)	Az illékony szerves vegyületek ózontermelő képessége.	kg Etilén-egyenérték
Ózonréteg elvékonyodás (ODP)	Főként a halogénezett szénhidrogének rovására írható, referens összetevőként az R11 került kiválasztásra.	kg R11-egyenérték
Földi öko-toxicitás (TETP)	Növény és állatvilágra vonatkozó mérgező anyagok, DCB egyenértékben.	kg DCB-egyenérték
Tengervízi öko-toxicitás (MAETP)		
Édesvízi öko-toxicitás (FAETP)		
Abiotikus kimerülő források (ADP)	Magába foglalja a nagyszámú fémércet.	kg Ólom-egyenérték
Abiotikus kimerülő fosszilis források (ADP)	Magába foglalja a kimerülő fosszilis energiaforrásokat.	kg MJ

Az egyenértékek bevezetése úgy könnyíti meg az életciklus-elemzést, hogy az átváltás után az anyagok összegezhetőek. Azaz, például 1 kg szén-dioxid, és 1 kg metán együttes hatását 26 kg CO₂ -egyenértékkel fejezhetjük ki (A további hatáskategóriák értelmezése a későbbiekben történik meg) [5].

4.3. GaBi5 LCA-szoftver bemutatása

Az LCA-szoftverek olyan eszközök, amelyek képesek életciklus-elemzésen alapuló modellek felállítására, így hasznos segítséget nyújt nagy adatmennyiségek egyszerűbb modellekbe való tömörítésében, továbbá segít elemezni, értelmezni az eredményeket. A szoftverek olyan módszereket tartalmaznak, amelyek képesek számszerűsíteni egy termék, vagy szolgáltatás gazdasági vonatkozásait, környezetre gyakorolt hatásait, valamint technológiai folyamatok átláthatóságát is segíti.

A legújabb LCA-szoftverek már számos előnnyel rendelkeznek a korábbi verziókhoz képest, így például az egyik – tavaly novemberben megjelent – verzió már egyszerre kínál a felhasználóknak frissített, a 2012-es év április hónapjára vonatkozó adatbázist is; egyszerűsített és gyorsított életciklus modell felépítést; valamint hatékonyabb, interaktív LCA tanulmánykészítő funkciót.

Az LCA-elemzés elkészítéséhez a legújabb LCA-szoftvert, a GaBi5 elnevezésűt használtam. A GaBi5 szoftver moduláris felépítésű, grafikus kezelést tesz lehetővé, mely nagyban megkönnyíti annak átláthatóságát. Az adatok rugalmasan változtathatóak csaknem a teljes vizsgálat során, kiterjedt adatbázisa pedig számos munkaórát spórol meg felhasználójának.

5. Kombinált, termikus technológiák vizsgálata

Munkámban két kombinált technológia vizsgálata, majd azok összehasonlítása a cél. Fontos megemlítenem, hogy ehhez hasonló technológia kombinációk hazánkban kevésbé ismertek a gyakorlatban, ennek köszönheti fontosságát a számítógéppel segített modellezés, elemzés. Mindkét kombináció-szimuláció első technológiája egy 500 °C-on végzett pirolízis, amely 1 tonna peszticid gyártó üzemből származó hulladék ártalmatlanítását végzi úgy, hogy a pirolízis során keletkező, 430 kg tömegű pirokokszot egy másodlagos technológiával kezelik tovább. A másodlagos technológiák egyike, egy 3000 °C-on végzett plazmatechnológia, míg a másik egy 1600 °C-on történő elgázosítás (ld. 4. táblázat).

4. táblázat Alkalmazott értékelési módszer és vizsgált eljárások jellemzése

Vizsgált eljárások és rendszerhatárok az LCA során	Hatásvizsgálati módszer és funkcionális egység	Főbb vizsgált kategóriák, paraméterek
I. Pirolízis (500 °C) és plazmaeljárás (3000 °C) <u>Rendszerhatárok:</u> a hulladék beszállításától (50 km-es távolságban) és feladásától (pirolizáló berendezésbe) a keletkezett üvegesedett salak ideiglenes tárolásáig. <u>(Gázmotor típusa és teljesítménye:</u> Cat G3612, 2900 kW)	Értékelési módszer: CML 2001 (2009. nov.) Funkcionális egység: 1000 kg veszélyes hulladék	GWP AP ODP HTP EP
II. Pirolízis (500 °C) és gázosítás (1600 °C) <u>Rendszerhatárok:</u> a hulladék beszállításától (50 km-es távolságban) és feladásától (pirolizáló berendezésbe) a keletkezett salak ideiglenes tárolásáig. <u>(Gázmotor típusa és teljesítménye:</u> Cat G3516C, 1555 kW)		η_{NV} η_{NH} t

5.1. I. technológia: plazmatechnológiával kiegészített pirolízis

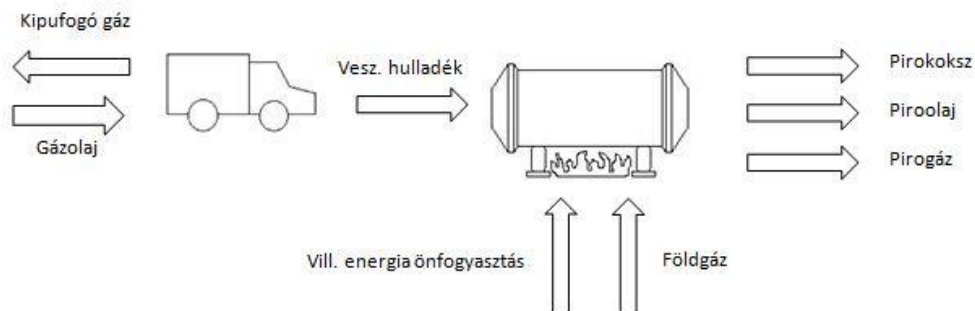
A vizsgált technológia kombináció alapvetően három fő egységre bontható:

1. A veszélyes hulladék pirolízise
2. A pirokokszt ártalmatlanítása a plazmatechnológia segítségével
3. Az éghető gázok átalakítása hasznos energiává

A három fő egységhez tartozó elvi ábrák nagyban segítik az rendszer átláthatóságát az anyag-és energiaáramok tekintetében, így az LCA szoftver segítségével készített „plan” (folyamatábra) is könnyebben értelmezhető. A pontos áramokról csak ritkán tesztek említést, mivel azok egyértelműen leolvashatóak a „plan”-ról.

5.1.1. A veszélyes hulladék pirolízise

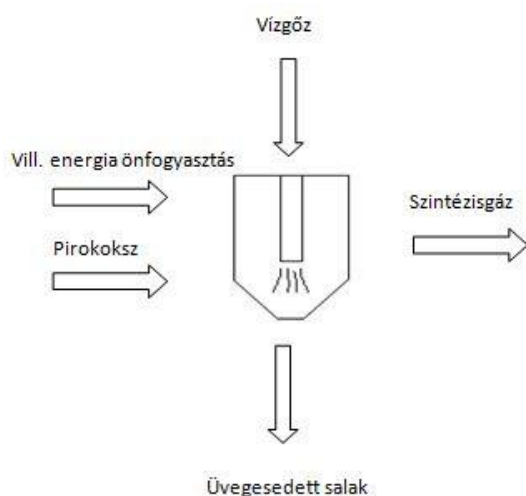
A technológia kombináció első fő egysége a kb. 500 °C-on történő pirolízis, melynek output oldalán keletkező pirokokszt, pirogázt, illetve pirololaj %-os mennyiségének megadása a technológiára jellemző átlagos értékekkel történt [7]. Az elemzés során feltételeztük, hogy az 1 tonna tömegű hulladékot olyan teherautó szállítja az 50 km-re lévő pirolizációs berendezéshez, amely útja során 7,97 kg gázolajat használ fel (az üzemanyag mennyiségének becslése a szoftver adatbázisának segítségével történt). Meg kell említenem, hogy a jelen LCA elemzés nem veszi figyelembe a veszélyes hulladék keletkezése során fellépő hatásokat, azonban azt követő minden ismert hatást számításba vesz. Így a szállítás során keletkező környezeti tényezőket nem szabad elhanyagolni, mint ahogy azt sem, hogy mit okoz a pirolízis során elégetett földgáz, és a gázmotor emissziója.



5. ábra Az első technológiai egység (szállítás+pirolízis) elvi sémája

A pirolízis során keletkező pirololaj további kezeléséhez nem kívánunk további technológiákat beiktatni, az adott állapotában is felhasználható (pl. kenőolaj, transzformátorolaj). A pirogáz, viszonylag magas fűtőértékének köszönhetően a gázmotorban, a következőekben tárgyalt plazmatechnológia során keletkező szintézisgázzal együtt kerül elégetésre. Végül a fokozottan veszélyes hulladéknak minősülő pirokoks további ártalmatlanítási célból, a plazma reaktorba kerül. A pirolízis kivitelezéséhez szükséges villamos energiát a technológia végén lévő gázmotor által termelt villamos energia szolgáltatja.

5.1.2. A pirokoks ártalmatlanítása a plazmatechnológia segítségével



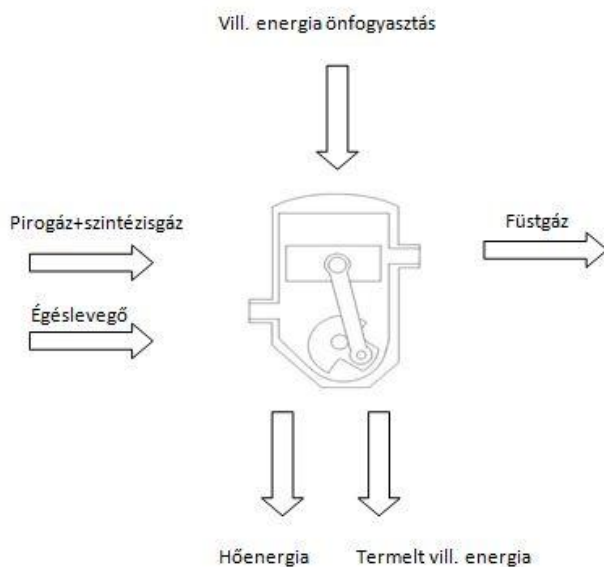
7. ábra A harmadik technológiai egység (gázmotor) elvi sémája

A pirolízis plazmatechnológiával való kiegészítése főként, a viszonylag nagy mennyiségben keletkező (430 kg) pirokoks ártalmatlanításához szükséges. Nem csupán a veszélyes hulladék ártalmatlanítása magyarázza a plazmatechnológia jelentőségét, ugyanis azon felül, értékes termékek is keletkeznek. Az üvegesedett salak, melynek mennyisége körülbelül a pirokoks 1/5-e, már kémiaiilag

rendkívül stabil maradékanyag, amely akár az építőiparban is felhasználható, annak esztétikai értéke miatt. (A reaktort folyékony állapotban hagyja még el, így tetszőleges alak önthető ki belőle, továbbá adalékanyagokkal a színük, is változtatható.) Továbbá, a szintézisgáz, a már tárgyalt pirogázzal együtt a gázmotorban égethető el, melynek termelt villamos energiája elégíti ki a plazmareaktor energiaszükségletét is.

5.1.3. Az éghető gázok átalakítása hasznos energiává

A technológia kombináció harmadik fontos egysége a tárgyalt ártalmatlanító technológiákhoz szükséges villamosenergia igényt fedező, illetve az ezen felül megtermelt villamosenergiát szolgáltató gázmotor.

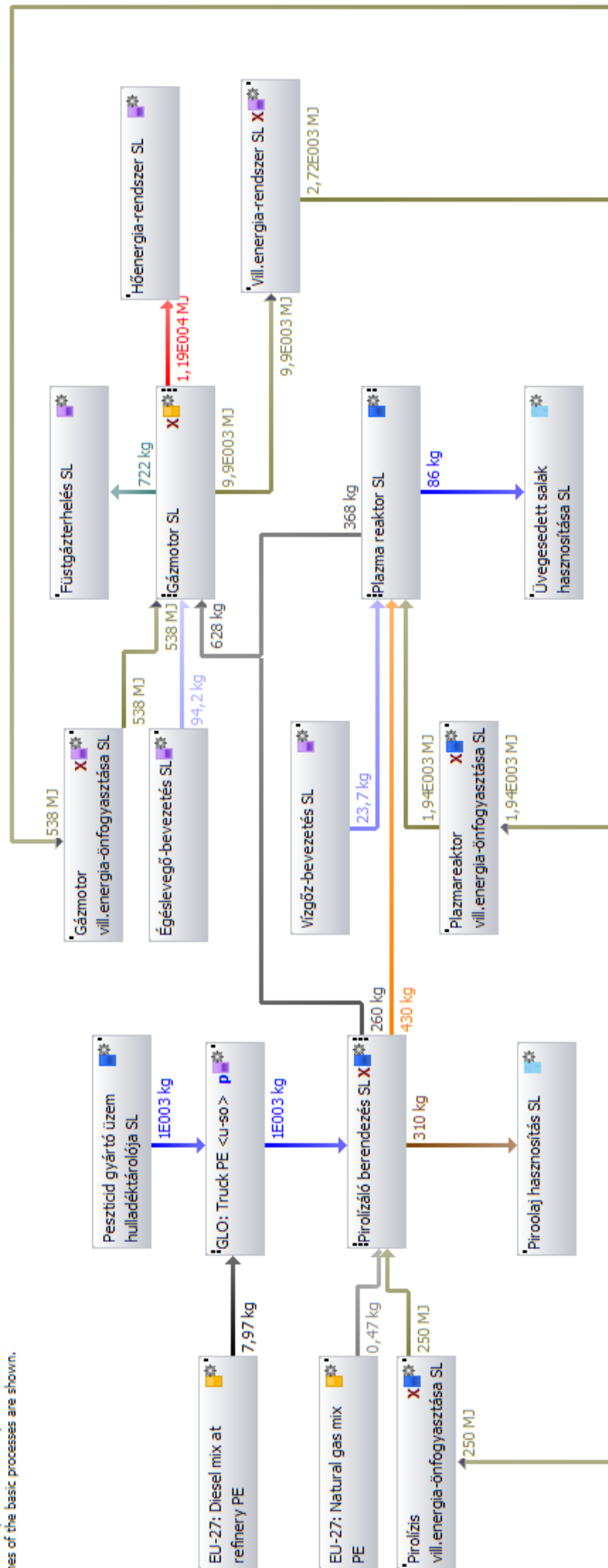


A gázmotor egy Otto-motorhoz hasonló felépítésű motor, melynek tengelyteljesítményét az arra applikált generátor villamos teljesítménnyé alakítja, továbbá az üzemeltetés során, a motor, illetve a füstgáz lehűtésével kinyert hőenergia is hasznosítható. Átlagosan 1 kW, illetve 15 MW közötti teljesítménnyel rendelkező gázmotorok

6. ábra A második technológiai egység (plazmatechnológia) elvi sémája

terjedtek el, melyek energiatermelésének összhatásfoka 60-87%, villamosenergia-termelés hatásfoka pedig 25-45% között mozog [9].

Pirolízis (TDK S Laci)
 GaBi 5 process plan; Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.

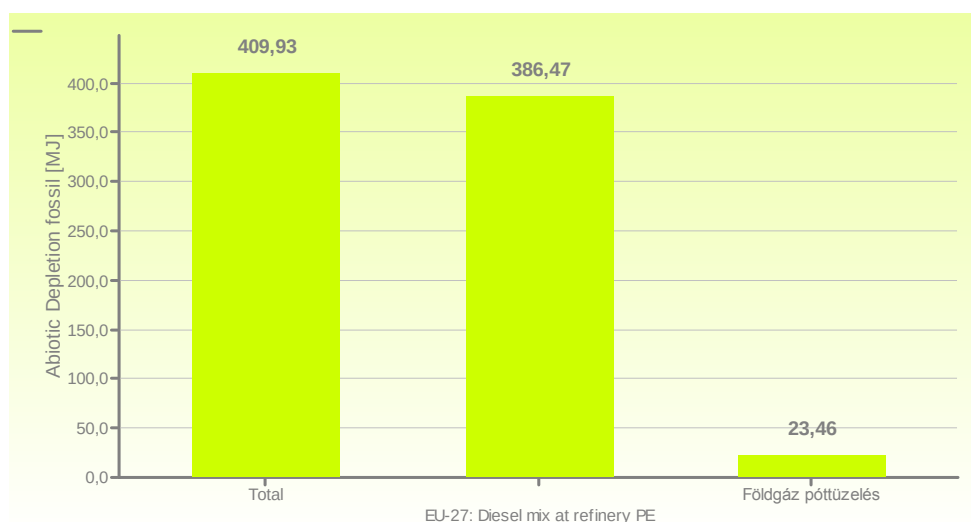


8. ábra Az első kombinált technológiai folyamatábrája (plan)

5.1.4. Eredmények hatáskategóriánkénti kiértékelése

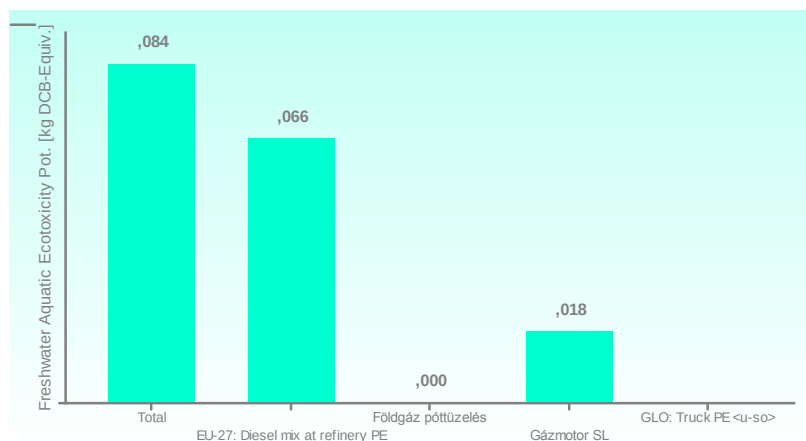
Ebben a fejezetben az I. kombinált technológiához tartozó környezeti terhelések jellemzése történik úgy, hogy a későbbiekben tárgyalandó, kiemelt fontosságú környezeti hatáskategóriák tárgyalásától eltekintek, azokat ugyanis majd a 6. fejezetben, a két kombinált technológia összehasonlításakor teszem meg.

Az **erőforrások csökkenése** diagram (ADP, MJ) a kimerülő fosszilis energiaforrásokról ad tájékoztatást. Nem meglepő módon, a szállítás során elhasznált üzemanyag képviseli az ide vonatkozó legnagyobb hatást, mivel a felhasznált földgáz mennyisége rendkívül csekély (0,47 kg) a szállításához szükséges gázolaj mennyiségéhez (7,97 kg) képest.

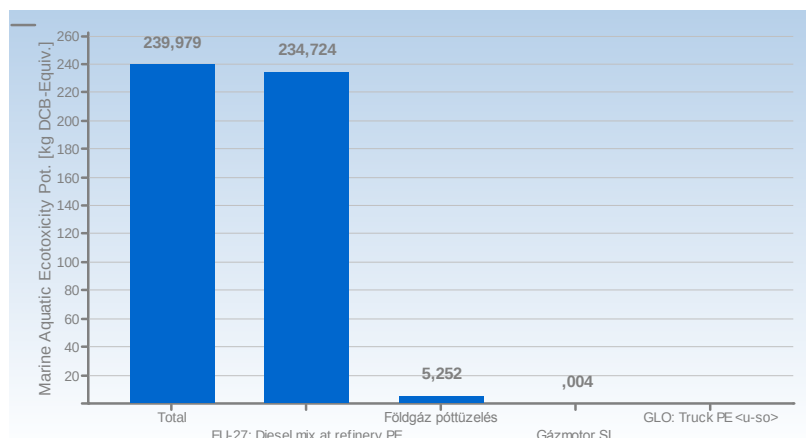


9. ábra Az erőforrások csökkenésére gyakorolt hatás (ADP)

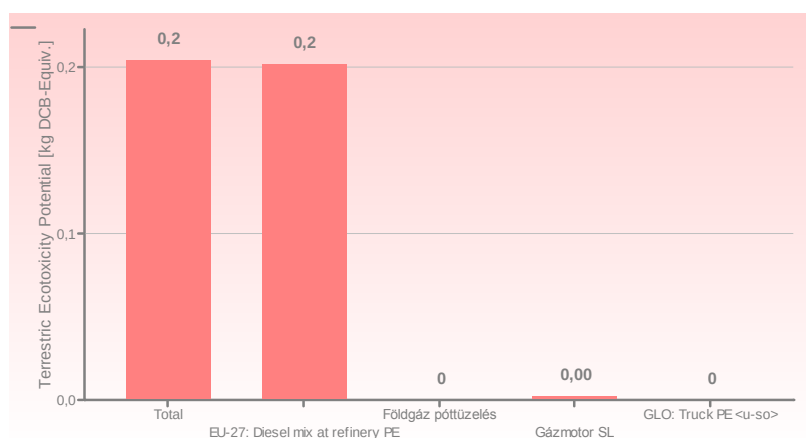
Az **ökotoxicitás** nevű hatáskategóriáknak azért van létjogosultságuk, mert vannak olyan toxikus anyagok, amelyek közvetlenül mérgezik a vízi, a szárazföldi, illetve az üledéki ökoszisztémákat [8]. Hatáselemzés készült az édesvízi, a tengeri, valamint a szárazföldi ökotoxicitásról. Mindhárom diagram arról árulkodik, hogy a szállítójármű működtetéséhez szükséges gázolaj finomítása okolható legnagyobb mértékben a tárgyalt környezetterhelésekért.



10. ábra Az édesvízi ökototoxicitás (FAETP)



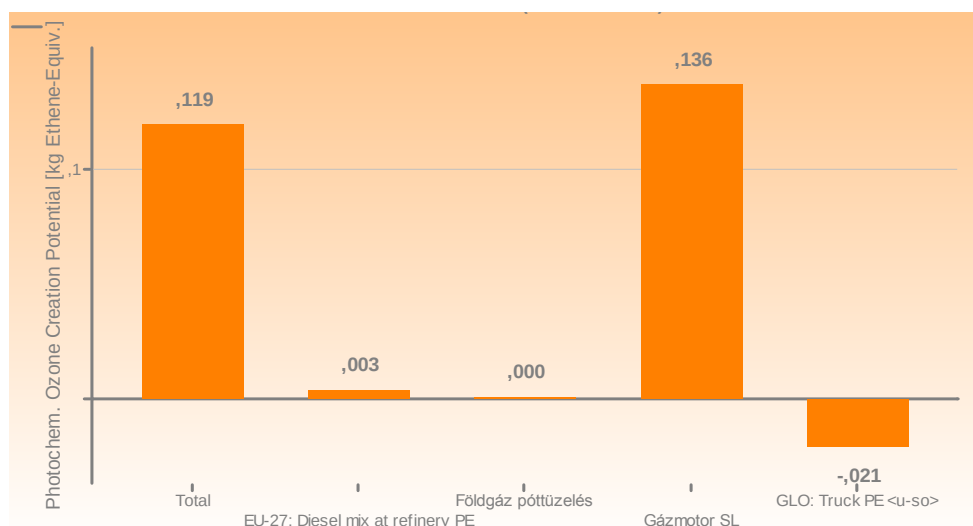
11. ábra A tengeri ökototoxicitás (MAETP)



12. ábra A szárazföldi ökototoxicitás(TETP)

A troposzférában ultraibolya fény hatására, illékony szerves vegyületek, valamint szén-monoxid fotokémiai oxidációja során, nitrogén-oxidok jelenlétében olyan fotooxidánsok keletkezhetnek, amelyek károsítják az emberi egészséget, az ökoszisztémát, vagy akár a szántóföldi növénykultúrát. A folyamat neve **fotokémiai oxidáció**, vagy nyári szmog [8].

A grafikon azt mutatja, hogy a gázmotor tesz legtöbbet a fotokémiai oxidáció létrejöttéhez, bár a szállítás kis mértékben csökkenti a nyári szmog kialakulásának esélyét. Ennek oka, hogy a nyári szmog tulajdonképpen a talaj közelében feldúsult ózonréteg, amelyet a kipufogógázból távozó nitrogén-oxid képes bontani [13].



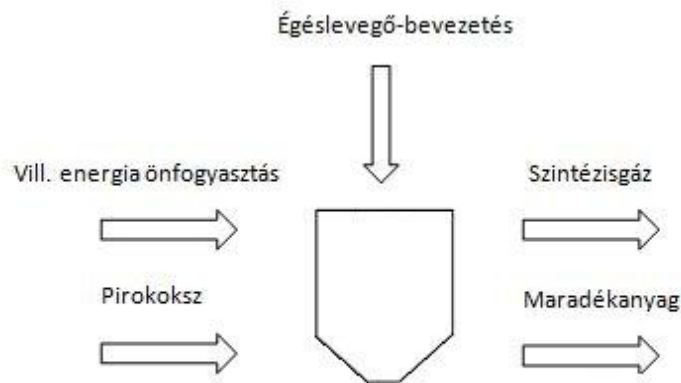
13. ábra A fotokémiai oxidációra gyakorolt hatás(POCP)

5.2. II. technológia: elgázosítással kiegészített pirolízis

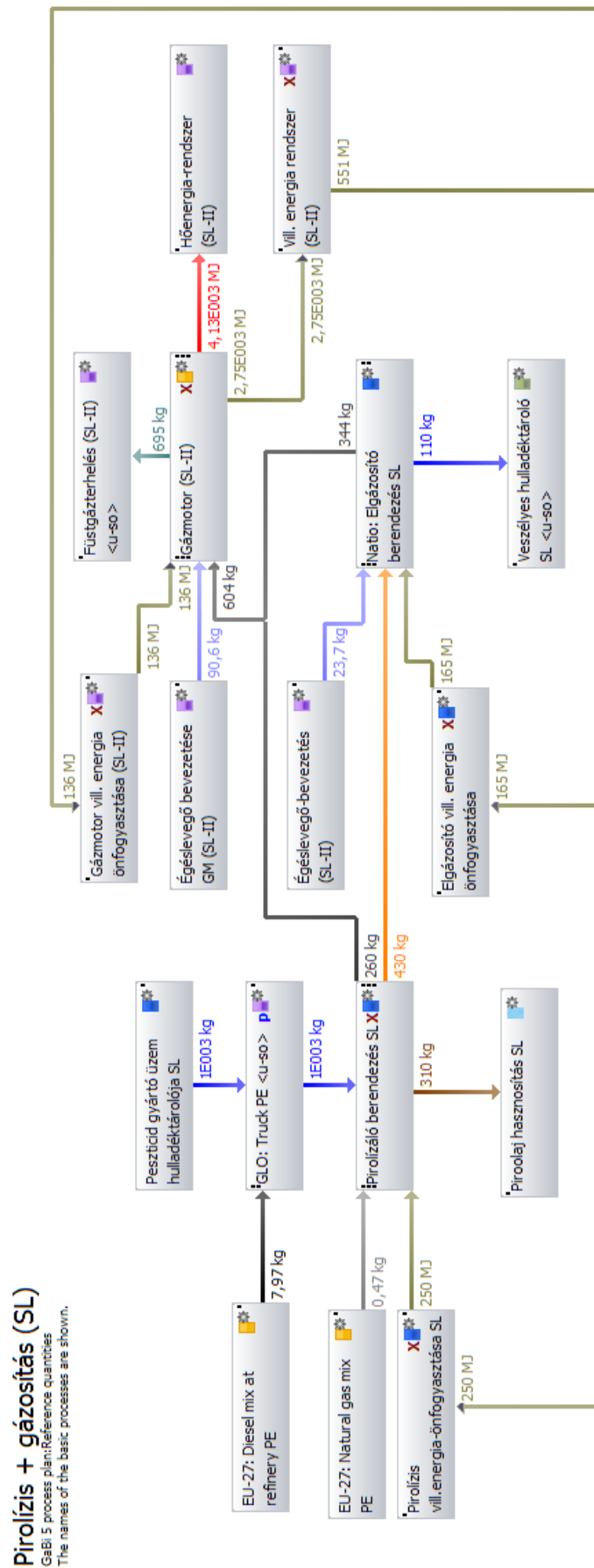
A dolgozat második technológia kombinációja a fentebb már ismertetett pirolízis, kiegészítve egy 1600 °C-on történő elgázosítással. Ennek megfelelően, bár a két technológia kombináció látszólag nagyon hasonló egymáshoz, a hatáselemzésnél mégis nagy különbségek fedezhetőek fel. Ennek oka, hogy az ártalmatlanítási hőmérséklet csökkenésével megnő a veszélyes, főként az üvegházhatást okozó gázok emissziója, mivel az ártalmatlanítási hőmérséklet csökkentésével egyre több szén-monoxidot (egyre kevesebb hidrogént) tartalmaz a szintézisgáz. Az

elgázosítási hőmérséklet szinte feleakkora, mint a plazmatechnológiához tartozó ártalmatlanítási hőmérséklet ($3000\text{ }^{\circ}\text{C}$), így gázosítás során keletkező szintézisgáz több szén-monoxidot tartalmaz, amely a gázmotorban való égetés során üvegházhatású gázzá, szén-dioxiddá alakul. A technológiák egyéb környezetterhelő tényezői - azaz a beszállítás, a pirolízis és a földgáz póttüzelés- megegyeznek. Ez az oka annak, hogy a következő fejezetben lévő kombinált technológiák környezeti terheléseinek összehasonlításakor a gázmotorokhoz tartozó emissziók hányadosait is feltüntettem.

Meg kell említenem, hogy a két kombinációba beépített gázmotor eltérő típusú, tehát emissziójuk is más. Jelen esetben egy kisebb, 1555 kW-os Caterpillar G3516C típusú gázmotor termeli a technológia kombináció működéséhez, illetve többletenergia létrehozásához szükséges villamos energiát [10]. Bár a szóban forgó gázmotor NO_x emissziója magasabb (500 mg/Nm^3), szén-monoxid emissziója viszont alacsonyabb (910 mg/Nm^3), mint az első vizsgált kombinációnál, köszönhetően a motoroknál használt eltérő katalizátoroknak.



14. ábra Az elgázosítás anyagáramai



15. ábra A második kombinált technológia folyamatábrája (plan)

6. Eredmények kiértékelése

A környezeti terhelések vonatkozásában a két technológia összehasonlítását az öt legfontosabbnak mondható hatáskategóriában végzem. A vizsgált környezeti hatáskategóriák rendre:

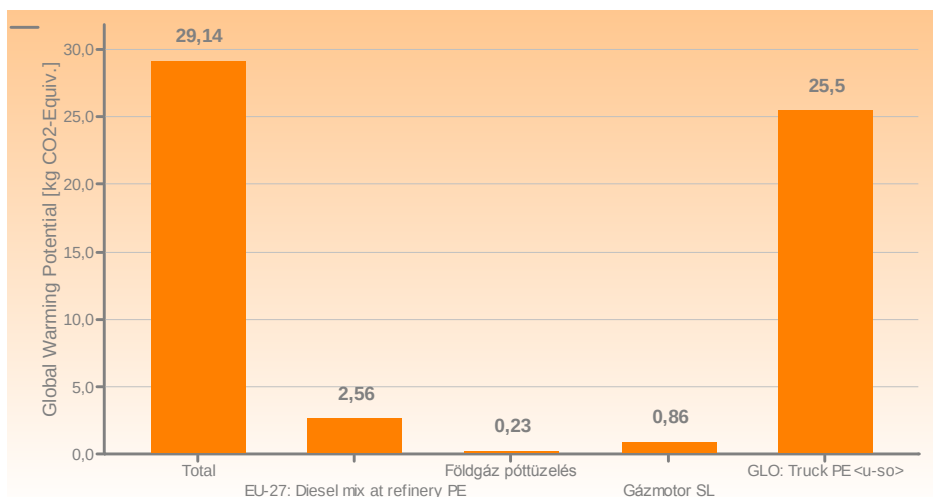
- Globális felmelegedésre gyakorolt hatás (GWP)
- Savasodás (AP)
- Ózonréteg elvékonyodás (ODP)
- Humán toxicitás (HTP)
- Eutrofizáció (EP)

Az energiahatékonyság vonatkozásában a kombinált technológiáknál energiahatékonysági paramétereket vezettem be (nettó villamos hatásfok és nettó hőhatásfok). A gazdaságossági elemzés kapcsán megtérülési időt határoztam meg a kiválasztásra került gázmotorok paramétereinek függvényében.

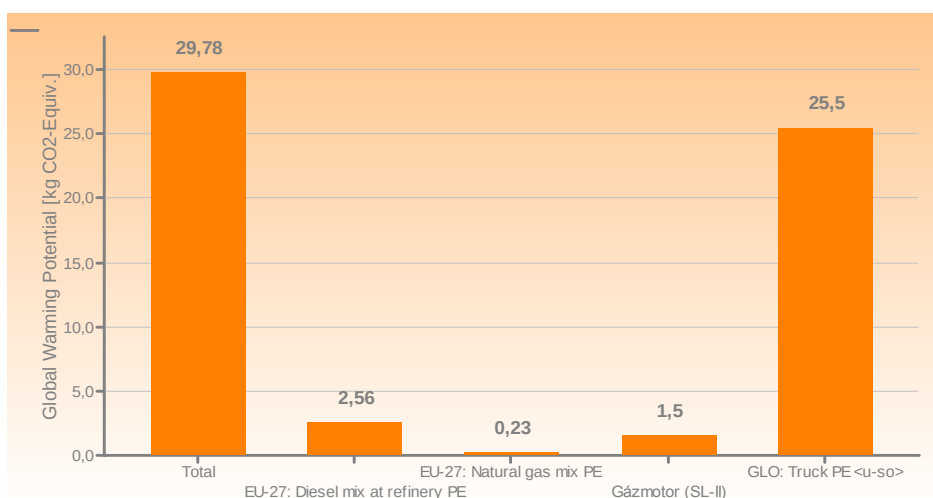
6.1. A környezeti hatáskategóriák összehasonlítása

Az első, és talán legfontosabb hatáskategória az **éghajlatváltozás**, melynek alapja, hogy a természetes üvegházhatást felerősítik az emberi tevékenységekből eredő gázok, különösképpen a szén-dioxid (CO_2), a metán (CH_4), és a fluor-klór-szénhidrogének (FCKW) [8].

Kimagasló értéket mutat az az oszlop, amelyik a hulladék, pirolizációs berendezéséig történő szállítás okozta hatását mutatja. Ez felelős a teljes globális felmelegedési potenciál csaknem 90%-áért. Célszerű tehát megfontolni azt, hogy a hulladék keletkezési helyétől milyen távolságra érdemes felállítani az ártalmatlanító technológiát.



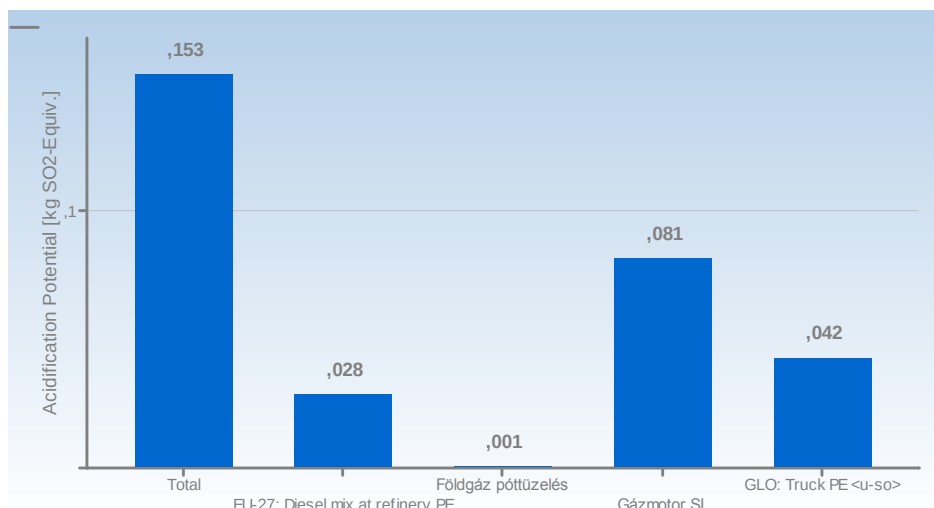
16. ábra Globál felmelegedési potenciál értékek az I. technológiánál



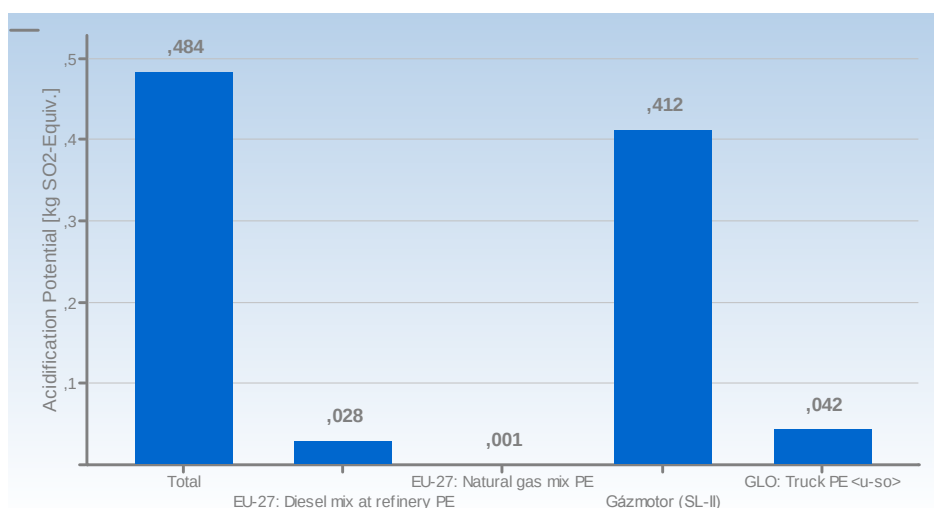
17. ábra Globál felmelegedési potenciál értékek a II. technológiánál

A **savasodás**, mint hatáskategória felelőse elsősorban a kén-dioxid (SO₂), és a nitrogén-oxidok (NO_x), melyek a légkörben, oxidáció során olyan kénessavvá, kénsavvá, illetve nitrogénsavvá alakulnak, amelyek csökkentik annak pH-ját, ez pedig az erdők kipusztulásához, talaj elsavasodásához, valamin az épületek károsodásához vezet [8].

Ezúttal a gázmotorhoz tartozó érték a legnagyobb, majd azt követi a szállító jármű motorja által elégetett üzemanyaghoz tartozó szám, mivel a fent említett káros gázok elsősorban valamilyen égetéses folyamat során keletkeznek.



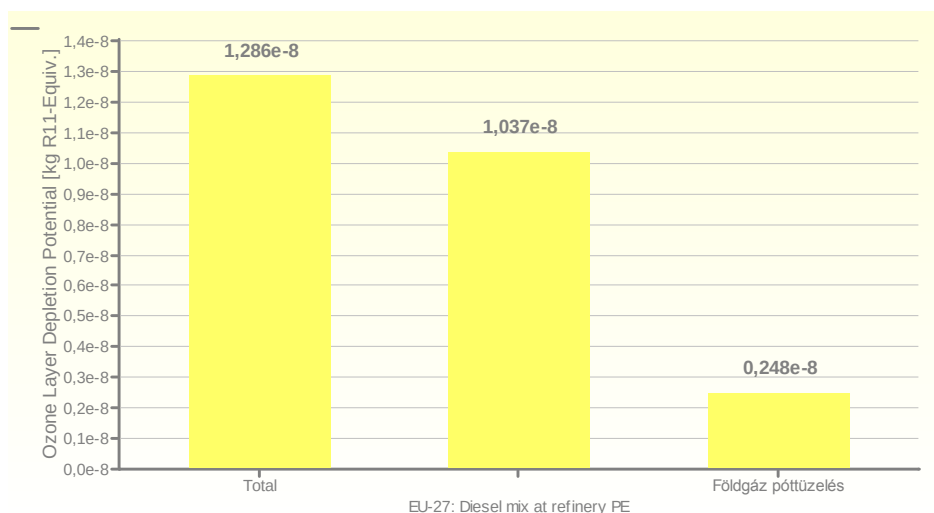
18. ábra Savasodási potenciál értékek az I. technológiánál



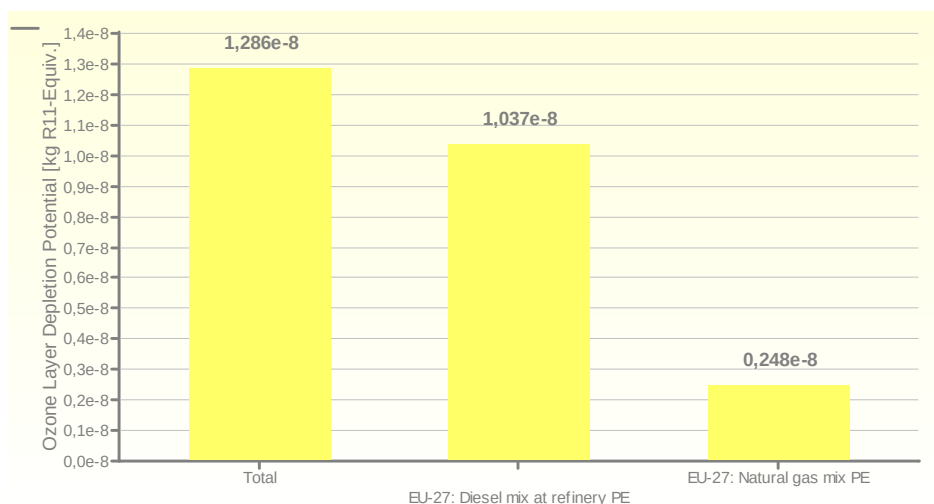
19. ábra Savasodási potenciál értékek az II. technológiánál

A köztudatban erősen él az **ózonréteg elvékonyodásának** problémája. Az ózonréteg feladata, hogy kiszűrje a földi élet számára veszélyes ultraibolya sugárzás nagy részét, amely szürke hályogot és bőrrákot okozhat. Az ózon bontásáért elsősorban a fluor-klór-szénhidrogének a felelősek, az anyagok ózonkárosító potenciálját triklór-fluór-metán (R11) egyenértékben mérjük [8].

A diagram azt mutatja, hogy a gázmotor nem termel olyan gázokat, amelyek elősegítenék az ózonréteg elvékonyodását, a gázolaj előállítása viszont annál inkább.



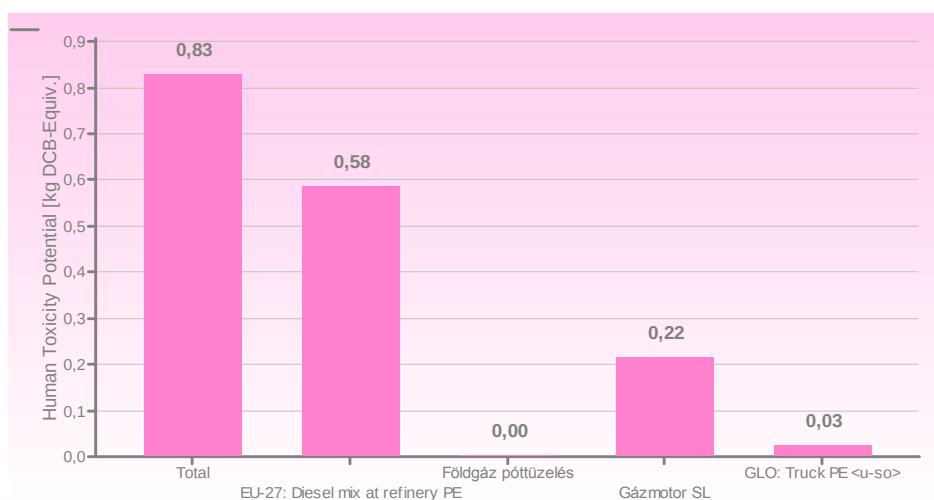
20. ábra Ózonréteg elvékonyodására gyakorolt hatás az I. technológiánál



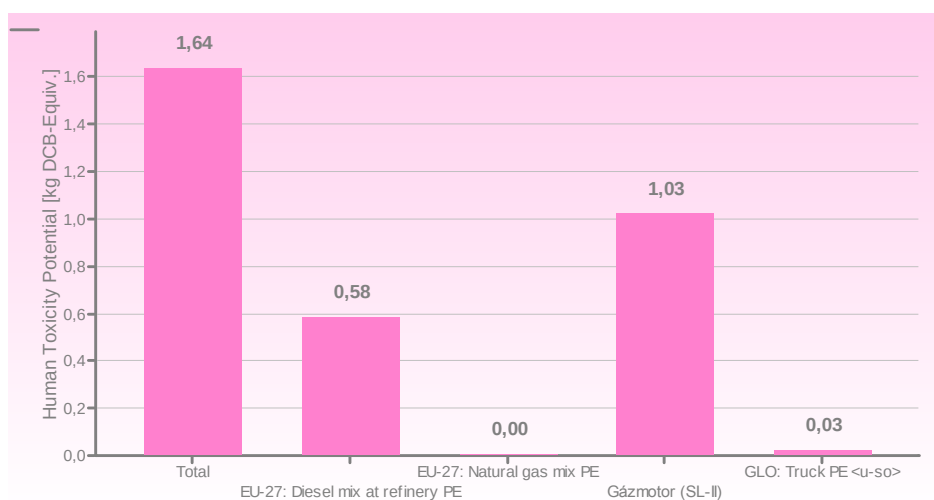
21. ábra Ózonréteg elvékonyodására gyakorolt hatás az II. technológiánál

A **humántoxicitás**, egy olyan hatáskategória, amely arról ad tájékoztatást, hogy az adott anyag, milyen mértékű hatással bír az emberi egészségre. A diagram azt

mutatja, hogy a földgáz elégetést leszámítva, mindhárom tényező összevethető nagyságrenddel járul hozzá ehhez a kategóriához.



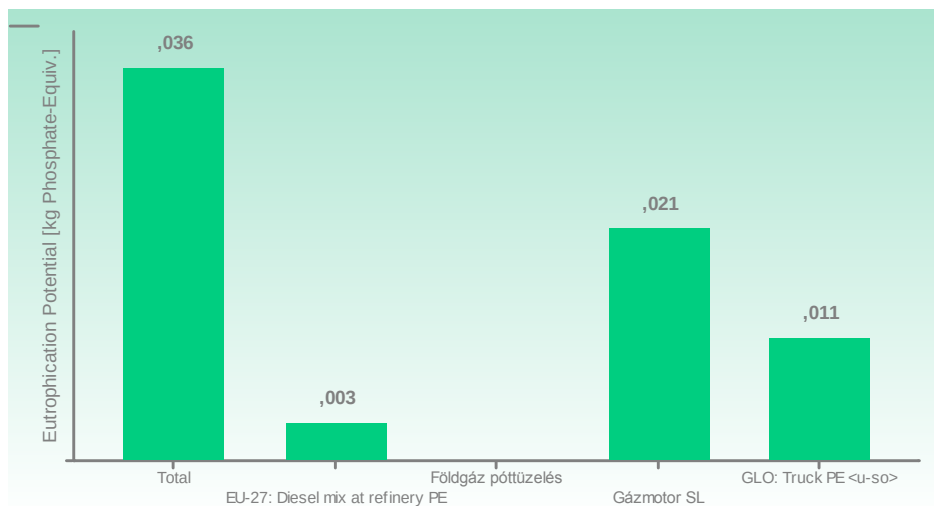
22. ábra Humántoxicitási potenciál az I. technológiánál



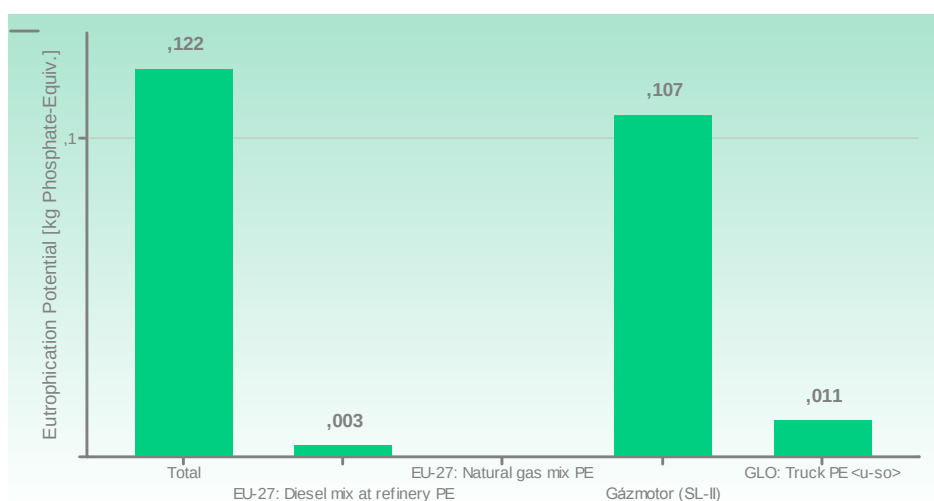
23. ábra Humántoxicitási potenciál az II. technológiánál

Az **eutrofizáció** egy olyan folyamat, amely során az állóvizekben a tápanyag (elsősorban a nitrogén, és a foszfor) feldúsul, és ez megnövekedett biomassza képződéshez vezet. A biomassza, azaz az algaképződés következtében csökken a víz oxigéntartalma, amely a halak kipusztulását okozhatja. Az eutrofizációs potenciált a foszfáthoz viszonyítjuk [8].

Itt szintén a gázmotor környezetterhelése a legnagyobb, feltételezhetően a viszonylag magas NO_x emisszió miatt.



24. ábra Eutrofizációs potenciál az I. technológiánál



25. ábra Eutrofizációs potenciál az II. technológiánál

6.2. A gázmotorokhoz tartozó környezeti terhelések

5. táblázat A gázmotorok környezetterheléseinek összehasonlítása

	I. technológia	II. technológia	Mértékegység	Hányados
GWP	0,86	1,5	kg CO ₂ -egyenérték	1,74
AP	0,081	0,412	kg SO ₂ -egyenérték	5,09
HTP	0,22	1,03	kg DCB-egyenérték	4,68
EP	0,021	0,107	kg Foszfát-egyenérték	5,1

Ahogy azt már említettem, a I. technológiához (magasabb kezelési hőmérsékletének köszönhetően) kisebb káros emissziók tartoznak, amelyek így alacsonyabb környezetterheléseket okoznak. Ebből következően, az ártalmatlanítási hőmérséklet hatása a gázmotorok környezetterheléseiben mutatkozik meg igazán, ezért célszerű azokkal összehasonlításokat végezni. Ahogyan az várható, az 1600 °C-on végzett elgázosítással kiegészített pirolízis során többnyire kb. 5-ször nagyobb környezeti terhelések mutathatóak ki a gázmotor vonatkozásában, mint a 3000 °C-os plazmatechnológiával kombinált esetben.

6.3. Megtérülési idők számítása

A gazdaságossági elemzések eredményeképpen az I. technológia megtérülési ideje 3,5 év, a II. technológia megtérülési ideje pedig 4 év. A megtérülési idő meghatározásához hazai viszonylatokban gondolkodtam, és a következő becsült értékeket használtam.

I. technológia megtérülési idejének számításához becsült alapadatok

- 1 tonnás pirolizációs berendezés: 100 millió Ft
- 0,5 tonnás plazmareaktor: 200 millió Ft
- 2900 kW-os gázmotor: 435 millió Ft

Kiadás: 735 millió Ft

- 1994,4 kWh villamos energia
- Villamos energia ára: 32 Ft/kWh
- Napi 24 üzemóra, az év 330 napján
- ÁFA kulcs: 27%
- Társasági adó: 35%
- Egyéb költségek (bérköltség, rezsiköltség, karbantartás, stb.): 20%

Nettó bevétel: 212 millió Ft/év

II. technológia megtérülési idejének számításához becsült alapadatok

- 1 tonnás pirolizációs berendezés: 100 millió Ft
- 0,5 tonnás elgázosító berendezés: 150 millió Ft
- 1555 kW-os gázmotor: 265 millió Ft

Kiadás: 515 millió Ft

- 1243,6 kWh villamos energia
- Villamos energia ára: 32 Ft/kWh
- Napi 24 üzemóra, az év 330 napján
- ÁFA kulcs: 27%
- Társasági adó: 35%
- Egyéb költségek (bérköltség, rezsiköltség, karbantartás, stb.): 20%

Nettó bevétel: 129 millió Ft/év

6.4. Kombinált technológiák összehasonlítása

A technológiák környezetterhelésére, energiahatékonyságára és gazdaságosságára vonatkozó, számított paramétereket a **6-8. táblázatok** foglalják össze.

6. táblázat I. kombinált technológia főbb paraméterei

Főbb paraméterek	Paraméterértékek
GWP	29,14 [kg CO ₂ -egyenérték]
AP	0,153 [SO ₂ -egyenérték]
ODP	1,286*10 ⁻⁸ [kg R11-egyenérték]
HTP	0,83 [kg DCB-egyenérték]
EP	0,036 [kg foszfát-egyenérték]
Nettó hőhatásfok	41,91%
Nettó villamos hatásfok	27,99%
Megtérülési idő	3,5 év

7. táblázat II. kombinált technológia paraméterei

Főbb paraméterek	Paraméterértékek
GWP	29,78 [kg CO ₂ -egyenérték]
AP	0,484 [SO ₂ -egyenérték]
ODP	1,286*10 ⁻⁸ [kg R11-egyenérték]
HTP	1,64 [kg DCB-egyenérték]
EP	0.122 [kg foszfát-egyenérték]
Nettó hőhatásfok	45,38%
Nettó villamos hatásfok	32,31%
Megtérülési idő	4 év

8. táblázat Kombinált technológiák környezetterhelési és energiahatékonysági paraméterei

Hatáskategória	Technológia I.	Technológia II.	Mértékegység
GWP	29,14	29,78	kg CO ₂ -egyenérték
AP	0,153	0,484	kg SO ₂ -egyenérték
ODP	1,286*10 ⁻⁸	1,286*10 ⁻⁸	kg R11-egyenérték
HTP	0,83	1,64	kg DCB-egyenérték
EP	0,036	0,122	kg foszfát-egyenérték
Nettó hőhatásfok	41,91%	45,38%	
Nettó villamos hatásfok	27,99%	32,31%	
Megtérülési idő	3,5 év	4 év	

A fenti táblázatokból egyértelműen kiderül, hogy a plazmatechnológiával kiegészített pirolízis minden környezeti hatáskategóriában jobb értékeket mutat, mint az elgázosítással párosított pirolízis esetében.

Az is megállapítható, hogy a plazmatechnológiával kiegészített pirolízis energiahatékonysága (gázmotor katalógusának adatai), kissé eltér a gázosítással kombinált pirolízistől, azaz az I. technológia környezethatékonysági, a II. technológia pedig energetikai szempontból mondható kedvezőbbnek. Ennek ellenére a I. technológia megtérülési ideje fél évvel rövidebb.

7. Összefoglalás

A környezetterhelési, az energiahatékonysági és a gazdaságossági szempontok együttes érvényesítésével, valamint az életciklus-értékelés során kapott konkrét eredmények függvényében prioritási sorrend állítható fel a kombinált termikus hulladékkezelési technológiákat illetően. Kutatómunkám során az egyes kombinált, termikus technológiák összeállítása során az azonos feltételek biztosítására törekedtem, ez azonban mégsem érvényesülhetett maradéktalanul. A villamos energiát termelő gázmotorok eltérő teljesítménye miatt, azok típusa is más. Ez a tény annyiban befolyásolja a kombinált technológiákhoz tartozó környezetterheléseket, hogy az eltérő típusú gázmotorok eltérő minőségű katalizátort használnak, az pedig erősen befolyásolja a motor károsanyag-emisszióját. Ennek ellenére bátran kijelenthetem, hogy ez mégsem játszik jelentős szerepet az összesített környezetterhelésekben, az értékek nem túl nagy különbsége miatt.

Az eddig elvégzett kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy plazmatechnológiát érdemes beiktatni a hazai hulladékártalmatlanítási folyamatokba is. Ennek ellenére, általánosan elmondható, hogy sokkal több hulladékégető, pirolizáló, vagy elgázosító üzem működik a világon, mint plazmatechnológiát megvalósító üzem. Amint azt láttuk, mind pirolízis, mind pedig elgázosítás során maradnak még olyan anyagok, amelyek kezeléséről, lerakásáról gondoskodnunk kell (ez fokozottan igaz az égetés során létrejövő káros salak, pernye, füstgáz maradványokra). A plazmatechnológia alkalmazása viszont véglegesen lezárhatja a hulladékártalmatlanítás kérdését, akár önmagában használva, akár a már meglévő hulladékártalmatlanító eljárás kiegészítéseként. Továbbá, az is a plazmatechnológia mellett szól, hogy a folyamat végén már kémiaiilag rendkívül stabil, építőipari célokra is használható üvegesedett salak keletkezik, amelynek környezetterhelése gyakorlatilag így zéró. Ezzel szemben az elgázosítás végén a salakmaradék veszélyes hulladéknak minősül, amelynek hulladéklerakóra kell kerülnie. A hulladéklerakók számának véges mennyisége,

valamint a hulladék, környezettől való tökéletes elszigetelése pedig további kérdéseket vet fel.

A vizsgált kombinált technológiák kapcsán, a környezeti hatások (GWP, AP, ODP, HTP és EP) és a gazdaságosság tekintetében összefoglalóan elmondható az, hogy a plazmaeljárással kombinált a pirolízis, a veszélyes hulladékok ártalmatlanítására jobban megfelel. Ugyanakkor az energiahatékonyság tekintetében a gázosítással kombinált pirolízis tűnik alkalmasabbnak. Az általam tervezett, kombinált technológiák nemcsak a környezetterhelés, hanem az energiahatékonyság és a gazdaságosság területén is jól megállják a helyüket. A kidolgozásra került technológiák akár új döntéshozatali irányt is képezhetnek a hazai környezetvédelem jövőjében az által, hogy ezek a kombinációs technológiák, még kevésbé ismert eljárások hazánkban (a környezetterhelési, az energiahatékonysági és a gazdaságossági szempontok közös érvényesítése mellett).

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm konzulensemnek, Dr. Mannheim Viktória egyetemi docensnek a kutatás során adott hasznos ötleteit és jó tanácsait. Külön köszönettel tartozom Bodnár István PhD hallgatónak, aki szintén nagy segítséget nyújtott a dolgozat elkészítéséhez.

A kutatói 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 valósult meg.

9. Irodalomjegyzék

- [1] http://energiainfo.hu/cikk/negyedével_nohet_a_vilag_energiaigenye.27131.html, 2012. 10.23.
- [2] Zsófia Fodor, Jiří Jaromír Kleme, Waste as alternative fuel –Minimising emissions and effluents by advanced design, 2011
- [3] <http://www.origo.hu/idojaras/20101027-mennyi-maradt-meg-a-foldbol.html>, 2012. 09.13.
- [4] dr. Örvös Mária, 5.2. Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal
- [5] Sára Balázs, Az életciklus felmérés lépései, 2010
- [6] Mannheim, V.: Termikus kezelési technológiák vizsgálata veszélyes hulladékokra, életciklus-elemzés módszerrel .Energiagazdálkodás. 53. évf. 5 (2012). pp. 2-5.
- [7] M. Day, J. D. Cooney, Z. Shen, Pyrolysis of automobile shredder residue: an analysis of the products of a commercial screw kiln process, 1996
- [8] Kósi, K., Valkó, L.: Környezetmenedzsment. Typotex Kiadó, Budapest, 2008.
- [9] <http://energiapedia.hu/gazmotor>, 2012. 09. 23.
- [10] <http://www.cat.com/cda/layout?m=206981&x=7&f=416505>, 2012.09.25.
- [11] Mario Grosso, Astrid Motta, Lucia Rigamonti, Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive, 2010
- [12] Mannheim, V.: Termikus kezelési eljárások. Környezetvédelmi jogszabályok és nyomtatványok gyűjteménye. Hulladékgazdálkodás-Környezetvédelmi termékdíj. Verlag Dashöfer Szakkiadó Kft. Budapest. 42. aktualizálás. 2012. október
- [13] <http://mno.hu/belfold/orult-helyzet-az-autok-nyomjak-le-a-nyari-szmozgot-1088165>, 2012. 10. 10.