



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Szesztay Attila

Biogáz erőművek a szabad piacon

Tudományos Diákköri Konferencia

KONZULENS

Polgári Beáta

BUDAPEST, 2016

Absztrakt

A 2010-2012 között üzembe helyezett biogáz erőművek némelyike már kikerült és a következő években kifutó jelleggel ki fog kerülni a KÁT támogatás alól. A KÁT-ból kikerülő és a METÁR alatt megépülő erőműveknek is a szabad piacon kell értékesíteniük, így mindkét esetben hasznos a szabad piacra való átállás gazdasági és műszaki követelményeit megvizsgálni.

Dolgozatomban bemutatom, hogy milyen technológiák léteznek különböző paraméterű biomassza alapanyagok energetikai hasznosítására kitérve ezek technológia érettségére is. Ezen megoldások között elhelyezem a biogáz technológiát és részletesen bemutatom a biogáz gázmotoros felhasználását.

A szabad piaci működés modellezése Matlab környezetben történt. A piaci árak alapján optimalizáló szolver diszkrét üzemállapotok közül választja ki az adott időszakon optimális menetrendet. A modell felbontása finomítható a választható üzemállapotok növelésével. Korlátok részletesen leképezik a biogáz üzem és a gázmotor működését, a gáztározó határait, a motorindítás korlátot és a koksolósos üzemállapotokat. Érzékenység vizsgálatok elemzik a hosszú távú menetrendezés, a modell felbontás és a tározó paramétereinek hatását.

Végül megtérülés számításokkal kiegészítve analizáltam gáztározó bővítés és gázmotor kapacitás bővítés lehetőségét, egy potenciális bővítés gazdasági optimumát keresve. Ehhez becslés is kapcsolódik a gázmotor hulladékhő értékesítésének lehetséges bevételéről.

A KÁT-ból kikerülve jelentősen kevesebb bevételhez jutnak a biogáz üzemek, de jó menetrendezéssel, illetve kapacitásbővítéssel ezek növelhetőek.

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	1
Tartalomjegyzék	2
Motiváció	4
1.1 KÁT támogatások lejárta, METÁR bevezetése	4
2 Technológia bemutatása [17].....	5
2.1 Biogáz technológia elhelyezése.....	5
2.1.1 Tüzelés.....	5
2.1.2 Elgázosítás	6
2.1.3 Pirólízis.....	10
2.1.4 SNG - Szintetikus földgáz	12
2.1.5 Erjesztés (Fermentation)	12
2.1.6 Lebontás (Digestion).....	12
2.2 Biogáz technológia bemutatása	14
2.2.1 Gázmotor felépítése	15
2.2.2 Gázmotorok biogáz tüzelőanyaggal	15
3 Biogáz üzemek menetrend optimalizálása.....	18
3.1 Program leírása	19
3.1.1 Változók.....	19
3.1.2 Határok.....	19
3.1.3 Korlátok	20
3.1.4 Paraméterek.....	28
3.2 Paraméter vizsgálat	29
3.2.1 Felbontás vizsgálat	30
3.2.2 Időszak vizsgálat	32
3.2.3 Tározó paraméter vizsgálat	33
3.3 Fermentor hőigénye változó menetrenden	35

4	Eredmények.....	38
4.1	HUPX értékesítés bevételei	38
4.2	Hőértékesítés bevételei.....	40
4.3	Kapacitásbővítés költségei	43
4.3.1	Tőkeköltségek.....	43
4.3.2	Önfogyasztás	44
4.3.3	Üzemeltetési költségek	44
4.3.4	Egyéb költségek.....	44
4.4	Megtérülés számítás	45
5	Összefoglalás	48
6	Kitekintés.....	49
7	Irodalomjegyzék	50
F1	Biomassza erőművek Magyarországon.....	1
F2	Megtérülés számítások.....	1

Motiváció

1.1 KÁT támogatások lejárta, METÁR bevezetése

A biogáz tüzelőanyagot felhasználó gázmotoros erőművek esetében a jelenlegi kötelező átvételi árak (csúcsidőszakban 35,5 Ft/kWh, völgyidőszakban 31,77 Ft/kWh és mélyvölgy időszakban 12,96 Ft/kWh) [15] mellett egy hatékony projekt számára 15 év kötelező átvétel indokolt. Amennyiben egy adott beruházás az egyéb támogatásban is részesül, akkor a MEKH a támogatásnak a beruházás összegéhez viszonyított aránya alapján módosított megtérülési időt határoz meg [18] Ez azt eredményezi, hogy a 2010-2012 között üzembe helyezett biogáz erőművek némelyike már kikerült és a következő években kifutó jelleggel ki fog kerülni a KÁT támogatás alól. Ez nem csak az ártámogatás alól való kikerülést jelenti, hanem szigorúbb menetrendezési kötelezettségeket is. A KÁT mérlegkörben jelenleg „5 MW-nál kisebb teljesítőképességű biogáz erőmű esetében az adott elszámolási mérési időegységben ténylegesen értékesített villamos energia mennyisége +/-20%-nál nagyobb mértékben tér el az utolsó érvényes menetrend szerinti villamosenergia-mennyiségtől, akkor az Értékesítő [...] a 20%-os korlát feletti eltérés minden kWh-jára 5 Ft szabályozási pótdíjat köteles fizetni havonta a Befogadónak.” [15] A szabad piacon a biogáz erőműre is normál kiegyenlítő energia díjak vonatkoznának és menetrendtől bármilyen mértékű eltérésre szabályozási pótdíjat kell fizetnie. Ennek pontos szabályozását a MAVIR kereskedelmi szabályzata tartalmazza. [21]

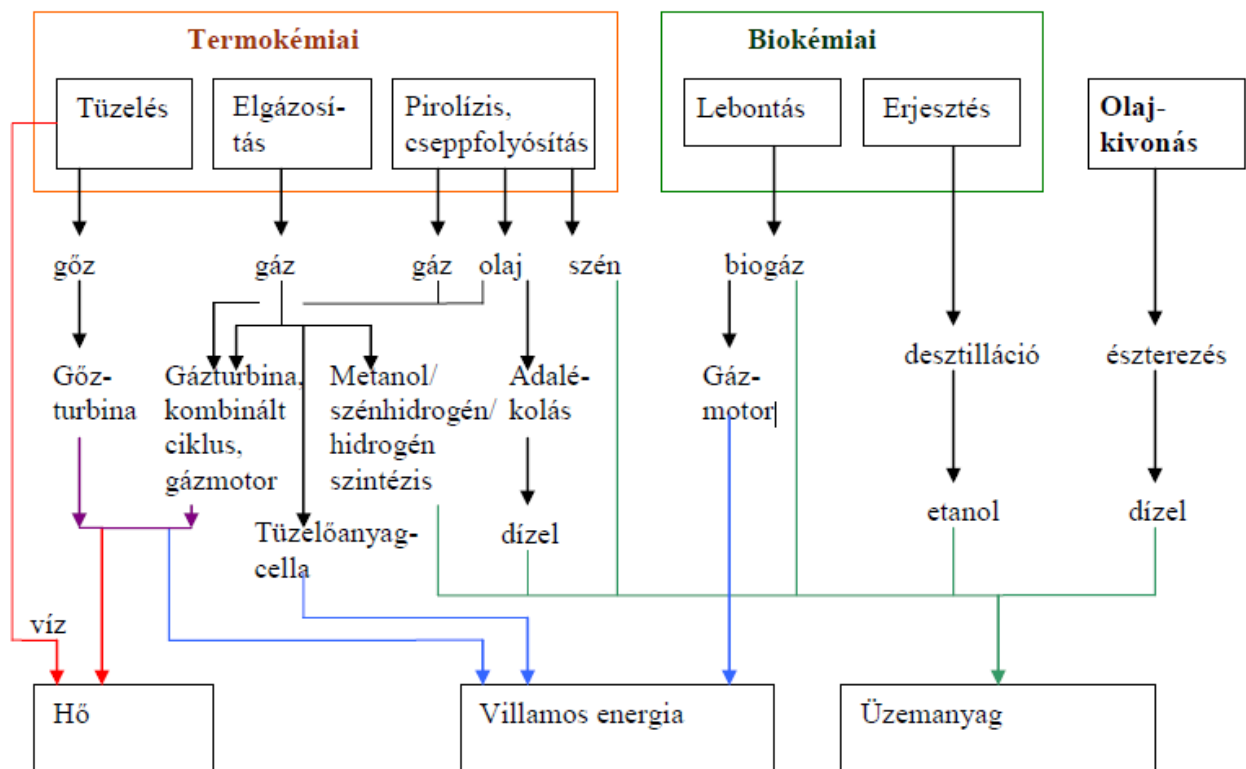
2 Technológia bemutatása [17]

2.1 Biogáz technológia elhelyezése

A biomassa csoportosítása többféle szempontrendszer szerint történhet meg. A hasznosító technológia igényelte anyag alapján négy biomassa típus különböztethető meg:

- szilárd biomassa (fa, szalma)
- nedves biomassa (szerves hulladék, trágya)
- cukor- és keményítőtartalmú biomassa (cukornád, gabona)
- olajtermények (repce, napraforgó)

A különböző biomasszából *termokémiai* (tüzelés, gázosítás, pirolízis és cseppfolyósítás) valamint *biokémiai* (lebontás, erjesztés) átalakításokkal valamint *olajkivonással* három szekunder energiahordozó (hő, villamos energia és üzemanyag) állítható elő. A növekvő hatékonyság (egyre nagyobb energia-kihozatal) az eljárások kombinációját, több szakterület (mezőgazdaság, hő- és villamos energetika, olajfinomítás) kooperációját, szakismeretük „egyesítését” igényli.



1. ábra: A biomassa fő átalakítási eljárásai szekunder energiahordozóvá [3]

2.1.1 Tüzelés

A szilárd biomassa felhasználható:

- egyedi fűtés (kis teljesítményű, <70-100 kW_{th}) melegvíz- vagy távfűtés (nagyobb teljesítményű, >0,5-1 MW_{th}) melegvíz- vagy forróvíz-kazánok *tüzelőanyagaként*,
- széntüzelésű erőművek gőzkazánjaiban – a kiadott távhőnek megfelelő – *kiegészítő tüzelőanyagként* (<(0,15-0,20) Q_ü), ahol Q_ü (primer és szekunder üzemanyaggal) bevitt hőmennyiség
- kapcsoltan hőt és villamos energiát termelő fűtőerőművek gőzkazánjaiban *tüzelőanyagként* hasznosítható.

Kis teljesítményű melegvíz-kazánokhoz jó minőségű biomassa (tűzifa, bio-brikett, bio-pellet) szükséges, míg forróvíz- és gőzkazánokhoz gyengébb minőségű biomassa (faapríték, szalmabála, válogatott kommunális hulladék, szennyvíz-iszap) is tüzelhető.

A nagyobb nedvesség-tartalmú biomasszák fűtőértéke javítható *szárítással* (szárazanyag tartalom ≤10 %), míg sűrűségük *pelletizálással* ($\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$), aminek következménye a fűtőértékük növelése ($H_{\text{ü}} > 16 \text{ MJ/kg}$, ahol $H_{\text{ü}}$ az üzemanyag fűtőértéke). A pellet mérete kicsi, így adagolása a kazánba automatizálható.

A biomassa pörkölésével (200-320 °C hőmérsékleten) nagyobb fűtőértékű (20-25 MJ/kg), homogénebb tüzelőanyag állítható elő, mint pelletizálással, ezért a pörkölt pellet vízmentes, kisebb az őrlés és pelletizálás költsége, valamint kisebb mértékű a degradációja a tárolás során. A Magyarországon található biomassa tüzelésű erőművek listáját a függelék tartalmazza.

2.1.2 Elgázosítás

Az elgázosítás a tüzelőanyag melegítése levegő- vagy oxigén jelenlétében. A folyamatot a következő leegyszerűsített kémiai egyenlet írja le.



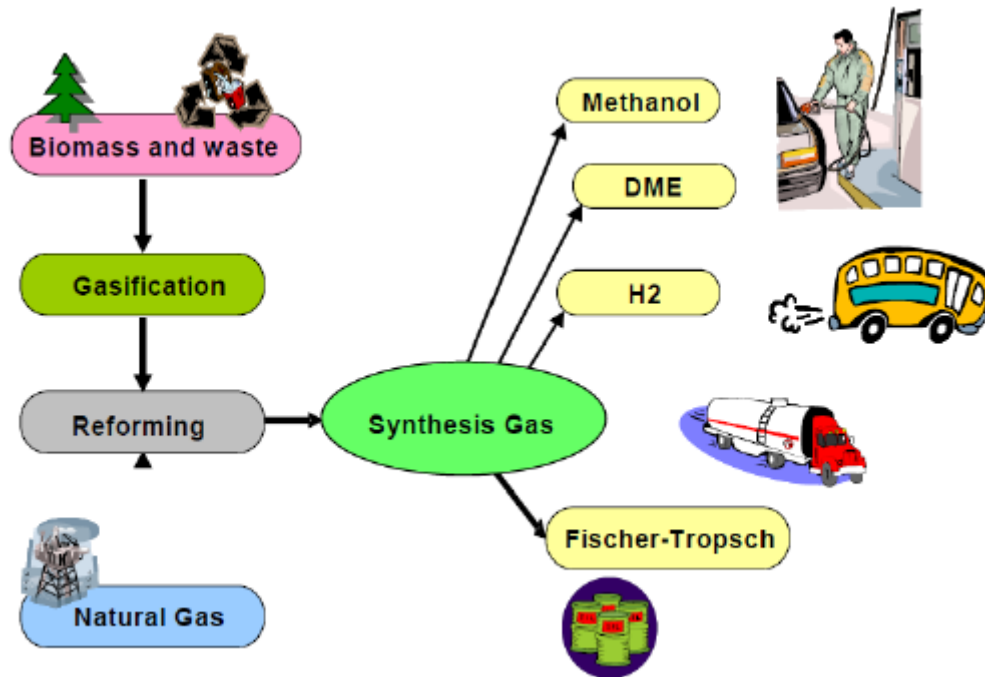
Ahol a faszén főleg kARBONT tartalmazó maradék. Gázok: CO, H₂, CH₄, CO₂, a gázkeverék fűtőértéke: 3,5 - 10,0 MJ/Nm³, általános neve: szintézisgáz. Folyadékok pedig poliaromás szénhidrogének.

A szintézisgáz összetételét a következő táblázat mutatja be:

Elgázosító közeg	Levegő	Oxigén
CO	16	28
H ₂	24	41
CH ₄	2	3
CO ₂	16	28
N ₂	42	0

1. táblázat: Szintézisgáz várható összetétele [térfogat %] [4]

Az előállított szintézisgázt vagy gázmotoros hő- és villamosenergia-termelésre használják, vagy további kémiai eljárásokkal üzemanyagot állítanak elő. A hatékonyabb hasznosítás mindhárom szekunder energiahordozó kombinációját igényli a keletkező melléktermékek hasznosításával együtt.



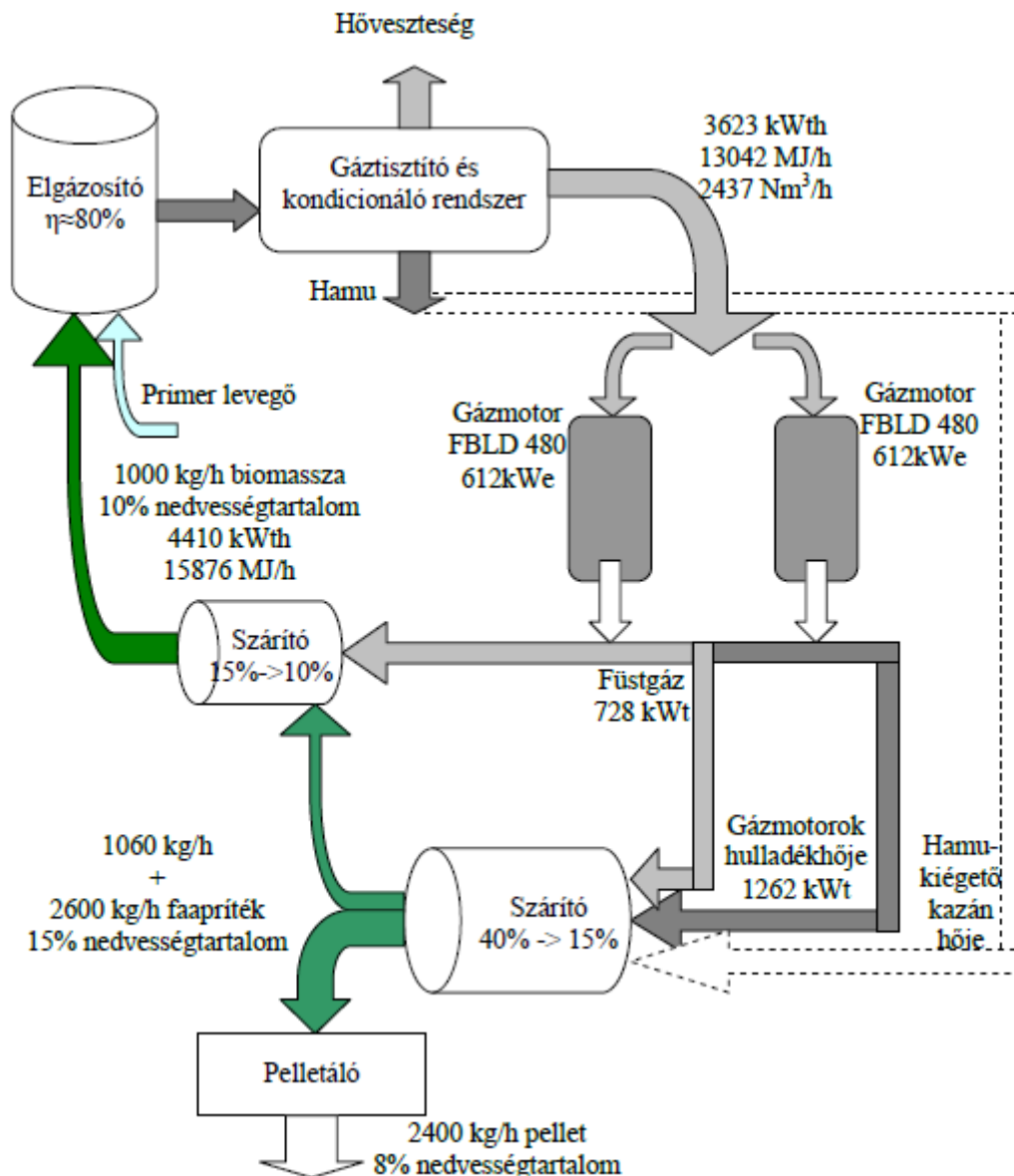
2. ábra: Bio-üzemanyag gyártó folyamatok [9]

2.1.2.1 Példák külföldi alkalmazásokra

Guascor faelgázosító

A Guascor Bioenergia 2005 óta üzemelteti mandulahéj (faapríték, olívmag) elgázosítóját Mora d'Ebre (Tarragona, Spanyolország) 750 kWe valamint 2002 óta olívapép-elgázosítóját Rossano Calabro-ban (Olaszország) 4,17 MWe névleges teljesítményű gázmotorral.

A Guascor Bioenergia faelgázosító gázmotoros kiserőműve szintézisgázt állít elő 10 %-nál kisebb nedvesség-tartalmú ($\omega < 0,1$, $H_u > 16$ MJ/kg), 2-8 mm méretű, 2 %-nál kisebb hamutartalmú ($\gamma_A < 0,02$), kő-, körömentes, stb., tehát jó minőségű faaprítékból. Ezért a faaprítéket a gázmotor kilépő füstgázának hője az elvárt nedvesség-tartalomra szárítja. Az 1 t/h névleges faapríték-tömegáramú, elgázosító gázmotoros kiserőmű teljesítmény-mérlegét, a hulladék hő biomassza-szárításra való felhasználásával a következő ábra szemléletesen szemlélteti.



3. ábra: Faelgázosító kiserőmű folyamatábrája faapríték-szárításra [10]

A *faelgázosítás* elvárt termodinamikai hatásfoka (a keletkező szintézisgáz tüzelőhőjének és a bevitt biomassa tüzelőhőjének hányadosa):

$$\eta = \frac{Q_{\text{üsyngas}}}{Q_{\text{übiomass}}} > 0,75$$

Güssing faelgázosító

A faelgázosító adatai:

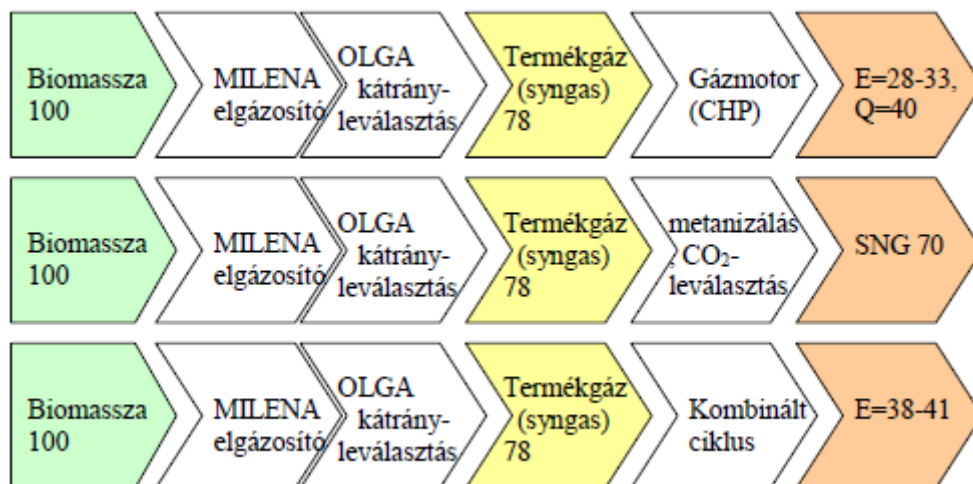
Üzembe helyezés éve:	2002
----------------------	------

Tüzelőanyag:	erdészeti faapríték ($\omega \approx 35\%$) 1-2 éves természetes szárítás (tárolás, $\omega \approx 15\%$) után, 2,2 t/h,
Tüzelőhő-teljesítmény:	8 MWth (Hü=13 GJ/t, $\omega \approx 28\%$),
Villamos teljesítmény:	2 MWe
Távhő-teljesítmény:	4,5 MWth
Villamos hatásfok:	0,25
Bruttó hatásfok:	0,81

Milena elgázosító

A MILENA elgázosító – a Güssing faelgázosítóhoz hasonlóan – külön *elgázosítóból* és *égőtérből* áll. Az elgázosító felszálló-, kiülepítő kamrából és ejtőcsőből, míg az égőtér buborékos fluidizált égő és homoktranszport zónából áll.

A MILENA elgázosítót a jövőben nem csak kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésre ($\eta_E = 28-33\%$) tervezik, hanem – metanizálással és CO₂-leválasztással – SNG (szintetikus földgáz) előállítására (Q_{SNG}/Q_{übiomassza} = 70%), vagy a termékgázt közvetlen, jó hatásfokú ($\eta_E = 38-41\%$) kombinált gáz-gőz erőműben hasznosítják villamosenergia-termelésre. Ezeket a lehetőségeket a következő ábra szemlélteti:



4. ábra: A MILENA elgázosító jövőbeli termékei [20]

2.1.2.2 Elgázosítás szuperkritikus vízben

Jelenleg még kutatás - fejlesztés fázisban áll a technológia. Lényege, hogy a szuperkritikus nyomású vízben hidrolízissel, széthasítással, víztelenítéssel, kondenzációs reakciókkal, Aldol kondenzációval CO₂, CO, H₂, CH₄

(a szintézisgáz összetevőivé) alakíthatók. Ígéretes technológiának ígérkezik, mivel nagy nedvességtartalmú alapanyagokat is jó hatásfokkal használ fel.

2.1.2.3 Elgázosítás összefoglalása:

A következő táblázat fent bemutatott elgázosító eljárások jellemzőit hasonlítja össze az anaerob rothasztással. Látható, hogy a felhasznált technológiát nagyban befolyásolja a biomasza típusa, annak kezdeti paraméterei.

Jellemző	Elgázosítás és metanizálás	Aneorób rothasztás	Hidrotermális elgázosítás
Biomassza	fa, fű ($\omega < 15\%$)	trágya, háztartási maradékok, szennyvíz-iszap	legnagyobb víztartalom ($\omega > 60\%$)
Termikus hatásfok (biomassza → SNG)	54-58 % (100 m% száraz anyag)	25-35 % ($< 8\%$ száraz anyag)	62-71 m% trágya, fa, alga
Tartózkodási idő	< 1 min	< 20 nap	< 10 min
Technológiai készség	jó (pl. Güssig)	nagyon jó	K+F fázis
Előny	Jó hatásfok száraz biomasszára, kereskedelmi termék	Megalapozott, kereskedelmi termék	Teljes átalakítás, legjobb hatásfok, trágya melléktermék
Hátrány	Nedves biomasszára kis hatékonyság	Maradékanyagok, kis hatékonyság, nagy méret	Technikai akadályokat kell megoldani

2. táblázat: A biomasza-elgázosító eljárások [14]

2.1.3 Pirolízis

Pirolízis a tüzelőanyag melegítése levegő- vagy oxigén teljes hiányában. A pirolízis-termékek: bio-olaj, faszén és termék-gáz. A pirolízis különböző körülmények között hajtható végre.

Mód	Jellemzők	Folyadék [m%]	Faszén [m%]	Gáz [m%]
Gyors	500 °C, forró gőz tartózkodás rövid ≈ 1 s	75	12	13
Közbenső	500 °C, forró gőz tartózkodás $\approx 10-30$ s	30	30	40
Lassú-pörkölés	≈ 290 °C, szilárd, tartózkodási idő ≈ 30 min		77 szilárd	23
Lassú-szénülés	≈ 400 °C, gőz tartózkodási idő hosszú órák → napok	30	35	35
Gázosítás	≈ 800 °C	5	10	85

3. táblázat: Szilárd tüzelőanyagok átalakítása [5]

Legjobb folyadék kihozatalt a gyors pirolízissel lehet elérni, melynek lényege a biomasza felmelegítése a lehető leggyorsabban (~ 1 s) gondosan ellenőrzött hőmérséklet (~ 500 °C) mellett, majd a termékek lehető leggyorsabb (< 2 s) lehűtése. Az eredmény 75 tömeg %-nál nagyobb folyadék, bio-olaj kihozatal.

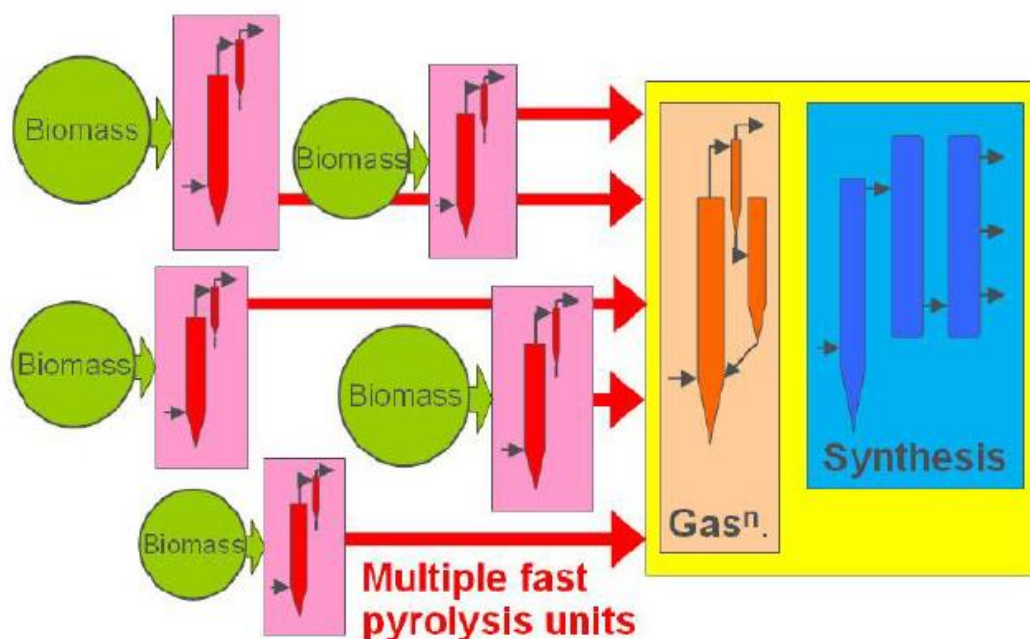
- Közvetlen folyadék termelése (tüzeléstől és gázosítástól eltérően)

- A folyadék a szilárdal szemben előnyösebb a kezelés, tárolás és szállítás területén
- Az endoterm folyamatok (tüzeléstől és gázosítástól eltérően) hőbevitelt igényelnek, de a folyamat energetikailag önfenntartó a melléktermékek (faszén, termékgáz) eltüzelésével
- A biomassa jellemzői fontosak a folyadék kihozatalának és minőségének meghatározásánál
- Sokoldalúbb felhasználás

A keletkező bio-olaj katalitikus feljavítása bio-üzemanyaggá, mert 35-40 % oxigént tartalmaz:

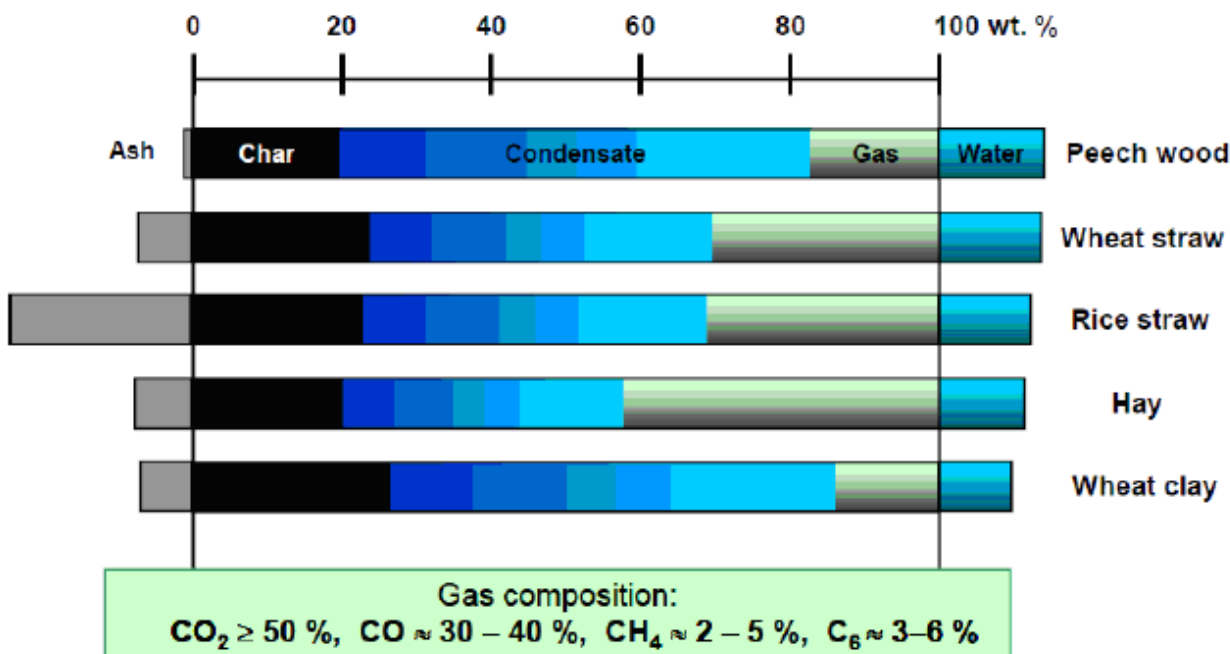
- Hidro-feldolgozás (víztelenítés): az oxigén eltávolítása H₂O-ként
- Zeolit-bontás: az oxigén eltávolítása CO₂-ként
- Szénhidrogének vagy alkoholok szintézise a bio-olaj elgázosításával.

Egy ilyen technológián alapuló koncepció számos, kis teljesítményű gyors pirolízis egységet képzel el a biomasszaforrásnál (decentralizált bio-olaj termelés), és az előállított bio-olajat egy központi bioüzemanyag feldolgozóba szállítják be, ahol üzemanyaggá dolgozzák fel.



5. ábra: A gyors pirolízis összetett, decentralizált koncepciója [5]

A különböző telephelyen a különböző biomasszából (barackfa, búzaszalma, rizsszalma, széna, búzahüvely) gyors pirolízissel szintézisgázt állítanak elő, a megadott összetétellel.



6. ábra: A szintézisgáz összetétele [7]
 Őszibarackfa, búzaszalma, rizsszalma, széna, búzahüvely

2.1.4 SNG - Szintetikus földgáz

Legjobb megoldásnak a vízgőzzel való közvetett gázosítást tartják, ami után termékgáz (nyers szintézisgáz) tisztítása, metanizálása, s ezzel szintetikus földgáz (SNG) előállítása. Ausztriában a szabvány a földgázhálózatba való betápláláshoz 99,5 % metántartalmat ír elő. A termékgáz metanizálása történhet:

- fix és fluidágyas reaktorban, $T=200-400 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten, $p=1-40 \text{ bar}$ nyomáson és Ni, Pd, Pt, Fe, Au, Co, Mo katalizátorral
- membrános gáztisztítással (TU Wien)

2.1.5 Erjesztés (Fermentation)

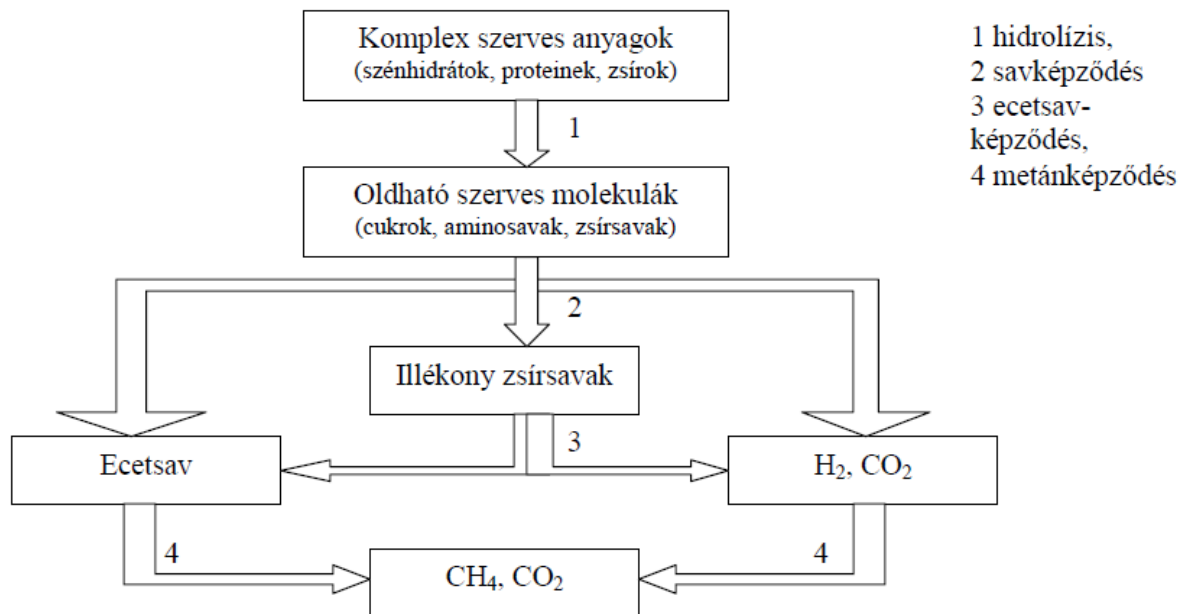
Enzimek vagy mikroorganizmusok által okozott átalakítási folyamatok. Végterméke az etanol.

2.1.6 Lebontás (Digestion)

Anaerob lebontás: szerves anyagok bomlása levegő hiányában baktériumok hatására. A baktériumok lebontják a szerves anyagot és metánból (50-70 %) valamint széndioxidból (50-30 %) álló gázkeveréket termelnek más gázok nyomkoncentrációival. A biogáz fűtőértéke 17-25 MJ/Nm³. (Nyugat-Európában és hazánkban a normálállapot 1 bar, 0 C°, de a hazai gáztechnikai normálállapot 1 bar, 15 C°.) Az átalakítási tényező általában 40-60 %. A folyamat a természetben is lejátszódik (pl. mocsárgáz, személgáz, szarvasmarha bendő).

Szerves anyag + anaerobic baktériumok + enzimek → biogáz (CH₄+CO₂) + iszap

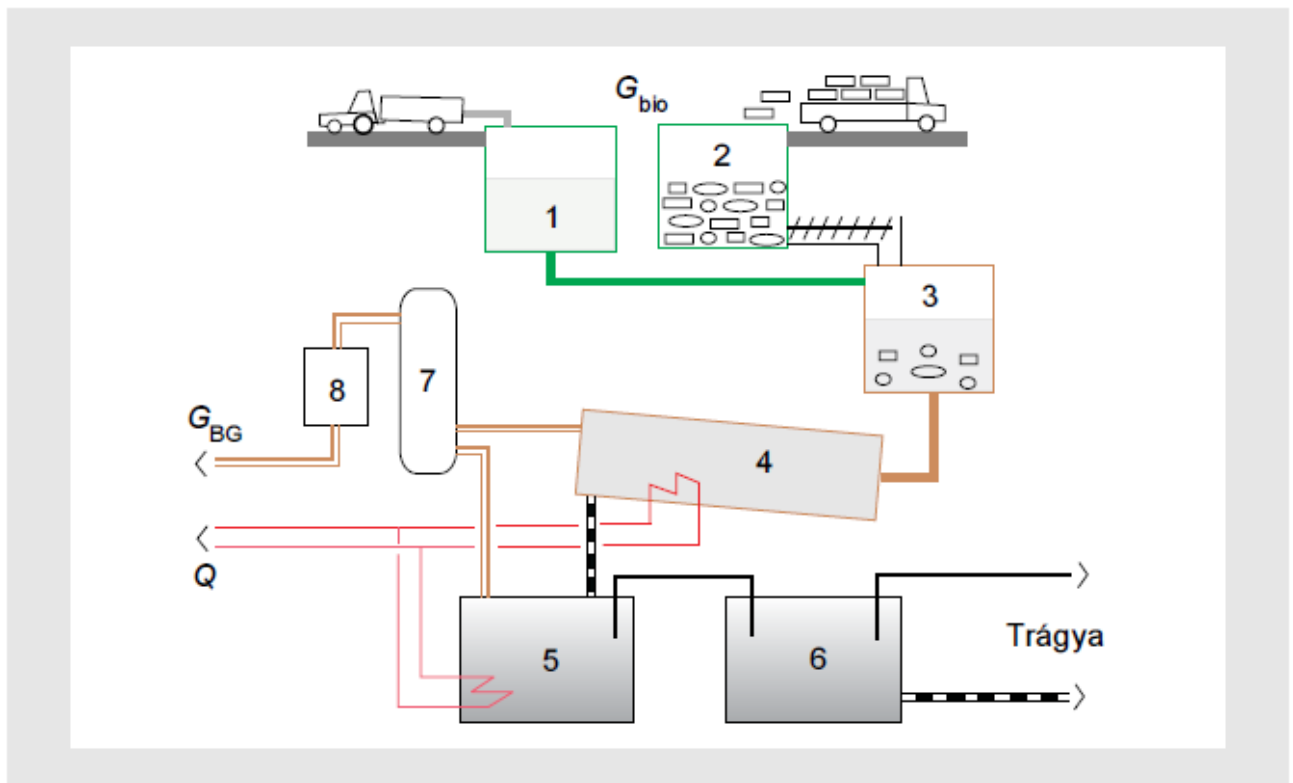
Az anaerob lebontás négy szakaszból áll.



7. ábra: Az anaerob lebontás négy szakasza [12]

1. *Hidrolízis*: a szerves anyag nagy molekuláit kezdetben „szétrobbantja” a víz, proteinek, szénhidrátok és lipidek keletkeznek, amelynek reakciója
2. *Savképződés*: A hidrolízis illó savakat (pl. propion), aminosavakat és glükózt (egyszerű cukrot), hosszúlánú zsírsavakat állít elő.
3. *Ecetsav-képződés*: Ezek a savak ecetsavvá alakulnak savképző baktériumokkal, miközben hidrogént és szén-dioxidot termelnek:
4. *Metántermelés*: A baktériumok „feltárják” a savasítás termékeit és metánt termelnek. A savképződés és metántermelés a hidrogén és ecetsav gátló baktériumokkal szimbiózisban történik, ezért az ő felhasználásuk a metántermelő baktériumok mellett hasznos. Az átalakítási tényező nagy, a glükózban tárolt energia ~90 %-a átvihető a metánba.

2.2 Biogáz technológia bemutatása



A biogáztermelés folyamata. 1) a folyékony biomassza fogadása, 2) a szilárd biomassza fogadása, 3) előtároló, 4) csőfermentor, 5) utófermentor, 6) végtároló, 7) gáztartály, 8) gázmosó

8. ábra: A biogáztermelés folyamata [13]

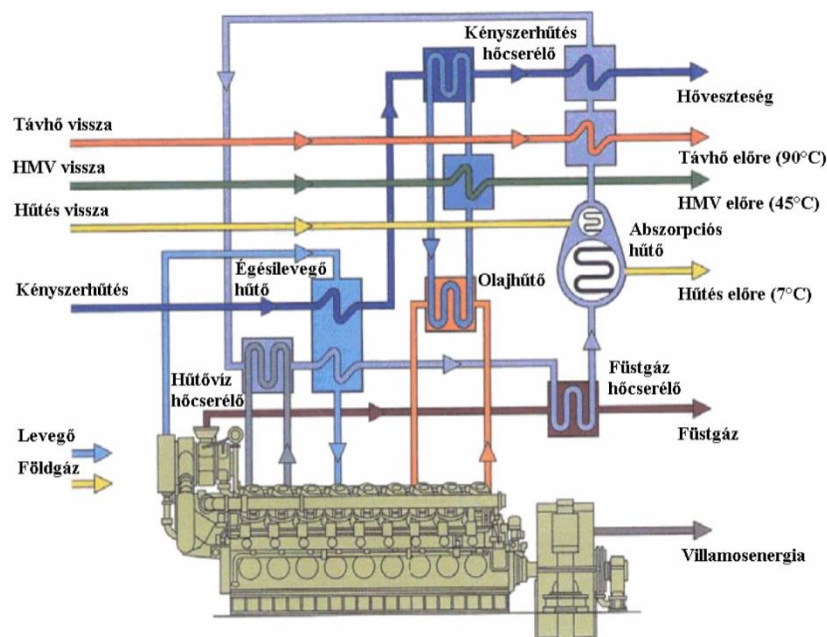
Biogáz termelésre elvben minden szerves anyag felhasználható, de elsősorban a nem tüzelhető és környezetszennyező szerves anyagokat indokolt ilyen módon hasznosítani. Az energiahasznosítás mellett további előny, hogy az anaerob fermentáció során csökken a kórokozó csirák száma, a kellemetlen szaghatás, a lebontott szerves anyag stabilná, kitűnő növényi tápanyaggá válik. A biogáz-felhasználásnak három útja lehetséges: helyi felhasználás gázellátásra és távhőellátásra, fűtőérték-növeléssel és tisztítással történő betáplálás a földgázhálózatba, valamint helyi hasznosítás kapcsolt energiatermeléssel.

- A biogáz közvetlen helyi hasznosításának két lehetősége van. Az egyik az, ha a kisebb fűtőértékű biogázt a gáztermelés körzetében hasznosítjuk a különböző fogyasztók számára. A másik hasznosítási mód pedig az, ha a biogázból hőt termelünk, és azt a csatlakozó távhőrendszerben hasznosítjuk.
- A biogáz betáplálható az országos földgázhálózatba is. A betáplálás érdekében a biogázt tisztítani és a fűtőértéket növelni kell.
- A biogázok decentralizált hasznosításának leghatékonyabb módja a kapcsolt energiatermelés. A kapcsolt energiatermeléshez jelenleg leginkább a gázmotorok jönnek szóba. A legtöbb cég a különböző nagyságú gázmotorjait a földgáz és a gázolaj mellett biogáz-üzemanyagra is gyártja, a gázmotoroknál pedig a kapcsolt

energiatermelés kézenfekvő. Ez viszont a fermentorok fűtésén kívül az itthoni gyakorlatban ritkán valósul meg.

2.2.1 Gázmotor felépítése

A gázmotor rendszerint földgázt (vagy biogázt) elégetve állít elő kapcsoltan villamos- és hőenergiát. A gázmotor működése szempontjából egy hagyományos négyütemű Otto-motor. Az üzemeltetéséhez szükséges tüzelőanyag és levegő keverékét egy membrános karburátor hozza létre. Az egyik nagy előnye a gázmotornak, hogy a teljesítménye széles határok között változtatható. A teljesítmény változtatását pedig a hengerekbe jutó keverék mennyiségének szabályozásával lehet elérni, egy pillangószeleppel. A gázmotor főtengelye egy aszinkron generátort forgat, így nyerünk villamos energiát. A motort állandó fordulatszámon pedig a frekvenciaváltó tartja, ez végzi a fordulatszám szabályozást.



9. ábra: Gázmotor egy lehetséges technológiai vázlatja [6]

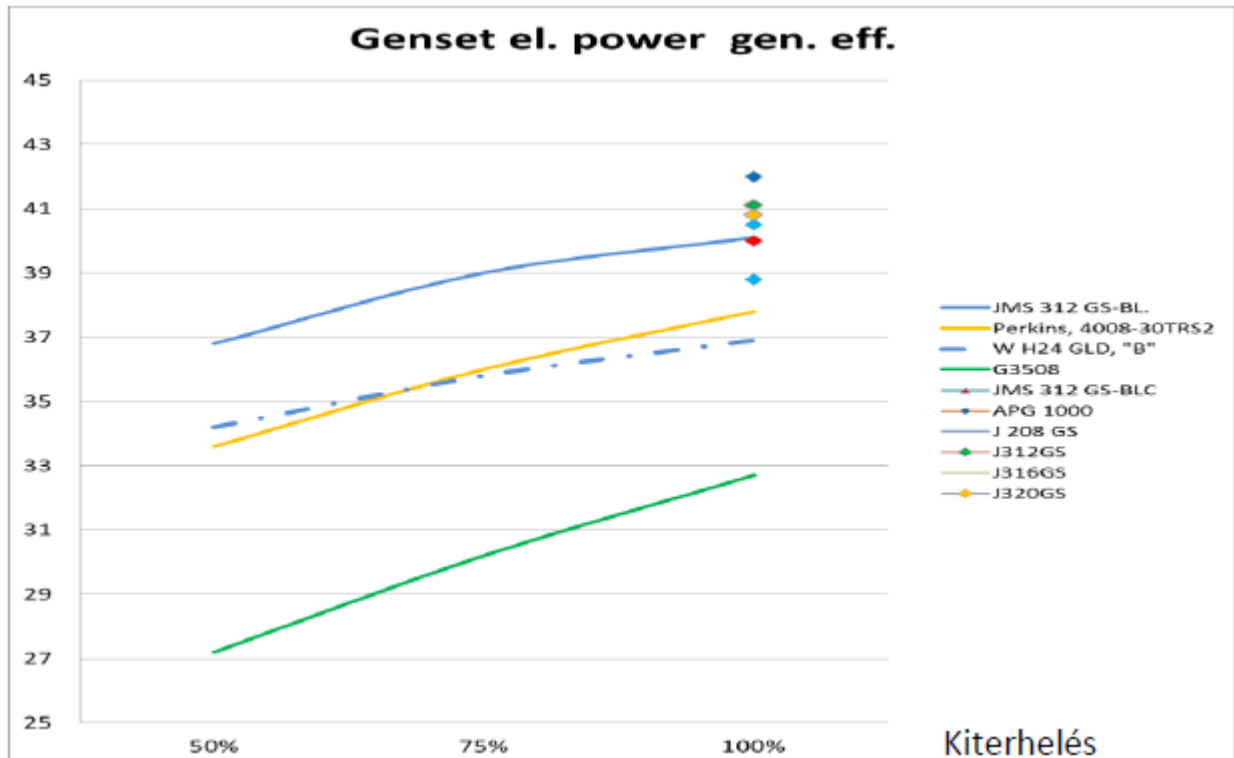
A kombinált ciklusú gázmotor a villamos energia mellett hőenergiát is szolgáltat. Erre a célra a termelőegység több hőcserélővel is fel van szerelve. A motorblokk hőcserélőben a gázmotorban lezajló égési folyamatok során a henger perselyének, falának átadódott hő, a súrlódás miatt keletkező hő hasznosul. A beépített füstgázhőcserélő a füstgáz magas hőmérsékletét hasznosítja. Továbbá be van építve még egy kenőolaj-hőcserélő, mely a súrlódás miatt a kenőolaj felmelegedése során keletkező hőt hasznosítja. (9. ábra)

2.2.2 Gázmotorok biogáz tüzelőanyaggal

Jembacher és Agenitor gyártók típusú motorjait hasonlítottam össze a hatásfokuk szempontjából. Ennek alapján látható, hogy alacsonyabb teljesítmény tartományokon (100 - 360 kW) a biogáz motornak jobb elektromos hatásfoka adódik, viszont magasabb teljesítményű típusok biogáz üzemben átlagosan néhány

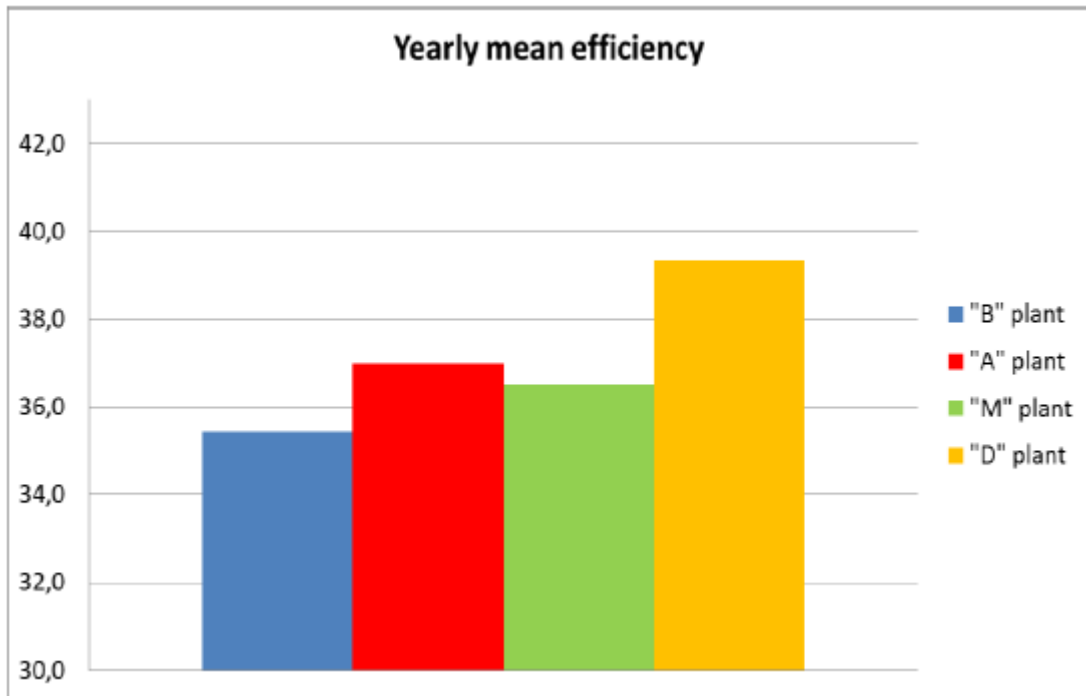
tized százalékkal alacsonyabb hatásfokkal üzemelnek. Emellett a hőhasznosítás hatásfoka minden esetben romlik, 2-4% közötti értékkel.

A motorok hatásfok-kiterhelés jelleggörbéje is a földgázzal üzemelő motorokéhoz hasonló.



10. ábra: Gázmotor hatásfok-kiterheltség jelleggörbe [1]

Az Agrowatt Környezetvédelmi Szolgáltató Nonprofit Kft. honlapján elérhető összehasonlító elemzésben, két biogáz üzem, egy inert gázt és egy depónia gázt felhasználó üzem üzemelési adataiból végeztek összehasonlító elemzést. A következő éves hatásfokok adódtak:



11. ábra: Gázmotor éves hatásfok értékek [1]

ahol a „B” üzem inert gázzal
 „A” üzem biogázzal
 „M” üzem depónia gázzal
 „D” üzem biogázzal üzemel

A motorok egyéb műszaki paramétereit is megfelelnek a földgázzal üzemelő gázmotorokénak. A biogáz üzemek kiserőművi engedélyeiben feltüntetett adatokból látható hogy a biogázzal üzemelő motorok szabályozhatósági tartománya 50 - 100% és felterhelési gradiense 0,2 - 1 MW/perc között változhat.

Elmondható, hogy biogázzal üzemeltetett gázmotorok karbantartási költsége 30% - 40%-kal növekszik a földgáz üzemhez képest. Ez a gyakoribb olaj és gyújtógyertya cserével, valamint az égőtér fokozott szennyeződése miatt szükséges karbantartásokkal magyarázható.

3 Biogáz üzemek menetrend optimalizálása

A felépített modell múltbéli HUPX (magyar villamos energia piac, Hungarian Power Exchange) árak alapján számol egy, a biogáz erőmű műszaki korlátait betartó, de maximális bevételt eredményező menetrendet. Mivel a HUPX árak óránként jelennek meg, a program is óránként adja meg a gázmotor által kiadandó teljesítményt. Ezt jelenti a bevételre optimalizálás.

Az optimalizálást MatLab programban Mixed-Integer Linear Programming (MILP) feladatként fogalmaztam meg és az „intlinprog” szolver segítségével végeztem el. A szolver egy előre megírt algoritmus, amely a megadott határok és korlátokat betartva keres egy megadott célfüggvény értékét maximalizáló (vagy minimalizáló) megoldást. A MILP egy matematikai optimalizáló megfogalmazását jelenti, amelyben a változók egy része egész számú (diszkrét) értéket vehet fel, a célfüggvény és a korlátok viszont valós számok is lehetnek. A célfüggvény tehát a bevétel maximalizálása:

$$\max \left(\sum_{i=1}^T \left(\sum_{n=1}^N x_{i,n} * (HUPX_i - karb_költ) - z_{i,n} * ind_költ - kokszi_{i,n} * kokszi_költ \right) \right)$$

ahol: T, optimalizált intervallum

N, motorok száma

$x_{i,n}$, n. motor i. időpillanatban felvett teljesítménye

$HUPX_i$, villamos energia ára, óránként

$karb_költ$, üzemóra függő karbantartási költség, (a gázmotor járó állapota közben fellépő kopások, degradáció egy órára vetített költsége)

$z_{i,n}$, motorindítás változó, értéke: 1, ha n. motor, i időpillanatban be lett kapcsolva, egyébként 0

$ind_költ$, a motorindítás költsége

$kokszi_{i,n}$, az n. motor i pillanatban a kocszszámlálója

$kokszi_költ$, egy nagyon kicsi szám (értéke és célja a 3.1.3. fejezetben van kifejtve)

A célfüggvény nem számol az üzemanyag költséggel. A biogáz általában egy mezőgazdasági vállalkozás melléktermékeinek (trágya, növénytermesztés melléktermékei) a feldolgozásából származik, így nem beszélhetünk üzemanyag beszerzésről és üzemanyag költségekről.

Azért nem lineáris szolverrel (pl. Matlabban „linprog”-gal) fogalmaztam meg a problémát, mivel a gázmotor hatásfokát, üzemóra függő karbantartási költségét és egyéb nem-lineáris tulajdonságait nehezen vagy egyáltalán nem lehetett bennük megfogalmazni. A MILP megfogalmazás lehetőséget nyújt, hogy diszkrét üzemállapotokhoz, diszkrét hatásfok, gázfogyasztás, bevétel, stb. értékeket rendeljek.

3.1 Program leírása

3.1.1 Változók

A **döntési változók** száma függ az optimalizált időszaktól (T), a motorok számától (n) és a motorok által felvehető kiterheltségi szintektől. Például egy napi optimalizáció, két motorral és 50%, 75% és 100%-os kiterheltségi szintekkel $24 \cdot 2 \cdot 3 = 144$ db motor üzemállapot változót jelent. Minden időpillanathoz, motorhoz és kiterheltségi szinthez egy változó tartozik. Értéke 1, ha abban a pillanatban, azt a motort, abban az üzemállapotban kiválasztja a szolver, egyébként 0. Így paraméterek segítségével minden üzemállapothoz megadható diszkrét hatásfok és gázfogyasztás érték. A modell pontossága növelhető a kiterheltségi szintek számosságának növelésével.

Ehhez adódnak a fáklya változói, amelyek az optimalizált időszaktól és a fáklya kiterheltségi szintjeinek számától függenek. A kiterheltséget a gáztermelés arányában lehet megadni, tehát 1-es kiterheltség az összes termelődő biogázt elégeti. Csak egy szintet megadva, napi optimalizációra, ez 24 változót jelent.¹ Értéke 1, ha az adott órában üzemel a fáklya, nulla ha nem üzemel.

A következő két változó 1-es értékre van kényszerítve. Erre a tároló korlátoknál volt szükség, a gáztermelést és a tározó kezdeti töltöttségi szintjét így veszi figyelembe a modell. Részletesebb leírás a 3.1.3. fejezetben található.

Kikényszerített változóként jelennek meg a motorindítás változók. Ha egy motor állapota az $i-1$. pillanatban kikapcsolt volt (nulla) és az i . pillanatban bekapcsolt (egy), az i . motorindítás változó egyes értékre kényszerül. Ez $T \cdot n$ db változót jelent.

További $2 \cdot T \cdot n$ db változó a motorok kokszolósos üzemét figyelő, $T \cdot n$ változó a fiktív kokszidő és $T \cdot n$ változó a kokszszámláló. Ezen változók bővebb leírását a 3.1.3. fejezet tartalmazza.

3.1.2 Határok

A motor és fáklya üzemállapot változók, valamint a motorindítás változók (ezek különböznek a motor üzemállapot változóktól. Leírásuk a következő fejezetben található) alsó határa 0, felső határa 1, az MILP megfogalmazás miatt 0 vagy 1 értéket vehetnek fel. Ezen kívül, fent említettem, hogy két változónál az alsó határt is 1-re állítottam, így kényszerítettem az értékét 1-re. A fiktív kokszidő változók alsó határa az egy óra alatt lehetséges kikokszolás negatív értéke, felső határa nulla. A kokszszámláló határai az adott motorhoz igazodnak, felső határa a megengedett maximális kokszolási idő, alsó határa nulla. (A kokszolósos üzem bővebb leírása az következő fejezetben olvasható.)

¹ Minden biogáz üzemben elhelyeznek egy biztonsági fáklyát, ami a motor karbantartása vagy meghibásodása esetén elégeti a termelődő gázt. A biogáz elfáklyázása olyan esetben is lehetséges, amikor tartósan negatív áramár lép fel.

3.1.3 Korlátok

A változók által felvehető értékeket a határok szabták meg. Korlátok segítségével viszont a változók közötti összefüggéseket lehet megfogalmazni. Az így megadott együttható mátrix és b sorvektor minden sora egy egyenlőtlenséget vagy egyenletet jelent. Az együttható mátrix oszlopaiban szereplő értékeket besorozva az oszlophoz tartozó változó értékével (mátrix oszlopok száma meg kell, hogy egyezzen a változók számával) és az így kapott értékeket soronként összegezve kell teljesülnie az egyenlőtlenségnek vagy egyenletnek.

Üzemállapot a motorokra: egy órában, egy motor csak egy üzemállapotot vehet fel. Ennek megfelel egy egyenlőtlenség, ahol az együttható mátrixban az egy időponthoz és motorhoz tartozó kiterheltségi szintekhez 1-es értéket rendelünk, a többi helyhez 0-t. A sorok sorösszegének kell \leq lennie 1-nél. Ezzel kikényszerítettük, hogy egy órában, egy motorhoz tartozó üzemállapot változók közül csak egy darab vehet fel 1-es (bekapcsolt) értéket. (A motor nem üzemelhet egyszerre pl. 50%-os és 100%-os kiterheltségi szinten. Egymást kizáró (vagy) kapcsolat áll fenn az üzemállapotok között.) Ez $T \cdot n$ darab egyenlőtlenséget jelent.

Üzemállapot a fáklyára: a motor üzemállapothoz hasonló módon korlátoz, ki kell kényszeríteni, hogy egy órában a fáklya csak egy kiterheltségi szintet vehessen fel. Ez T darab korlátot ad.

Tároló: Egy biogáz üzemnél a tározó jelenti a legfőbb korlátot. A gázmotor üzemét úgy kell kialakítani, hogy az eltárolt gázmennyiség minden órában egy minimum és egy maximum érték közé essen. A tárolt gázmennyiséget a következő egyenletekkel lehet kifejezni:

$$\begin{aligned} level(1) &= level_{kezdeti} * \eta_{tarozó} + gáztermelés + gázfogyasztás_{1,n} \\ level(2) &= level(1) * \eta_{tarozó} + gáztermelés + gázfogyasztás_{2,n} \\ level(3) &= level(2) * \eta_{tarozó} + gáztermelés + gázfogyasztás_{3,n} \\ &= (level(2) * \eta_{tarozó} + gáztermelés + gázfogyasztás_{2,n}) * \eta_{tarozó} + gáztermelés \\ &\quad + gázfogyasztás_{2,n} \\ &= ((level_{kezdeti} * \eta_{tarozó} + gáztermelés + gázfogyasztás_{1,n}) * \eta_{tarozó} \\ &\quad + gáztermelés + gázfogyasztás_{2,n}) * \eta_{tarozó} + gáztermelés + gázfogyasztás_{3,n} \end{aligned}$$

Ebből már látszik, hogy minden időpillanatban a tározóban lévő biogáz mennyisége felírható egy kezdeti állapot és az időpillanat előtt választott üzemállapotok (gázfogyasztások) függvényeként. Általánosan a következő egyenlettel:

$$level(t) = level_{kezdeti} * \eta_{tarozó}^t + gáztermelés \sum_{i=0}^{t-1} \eta_{tarozó}^i + \sum_{i=0}^{t-1} gázfogyasztás_{i+1,n} * \eta_{tarozó}^i$$

ahol: $level(t)$, t időpillanatban a tározóban található gáz mennyisége
 $level_{kezdeti}$, tározóban eredetileg található gáz mennyisége
 $\eta_{tarozó}$, a tározó tárolási hatásfoka

gáztermelés, a fermentorokból érkező biogáz, ez nincs indexelve, mivel a fermentor gáztermelése állandónak tekinthető. Automatika óránként adagolja az előre bekészített fermentumot, annak mennyiségében és minőségében nincs számottevő változás

gázfogyasztás, az n . motor, t . időpillanatban fellépő gázfogyasztása + a fáklya t . időpillanatban fellépő gázfogyasztása

Így már a minimum és maximum korlátokat is egyszerűen meg lehet adni, minden időpillanatra. Ez $2 \cdot T$ darab egyenlőtlenséget jelent.

Egy egyenlőtlenséggel megszabható, hogy az utolsó időpillanatban a tárolási szint legyen nagyobb vagy egyenlő a kezdeti értéknél. Enélkül a korlát nélkül a nap végére a tározót teljesen kiüríti a menetrend, hiszen az hozza a legtöbb bevételt, ha a tározóban lévő és az aznap termelődő összes biogázt felhasználjuk. De ez a menetredezés nem veszi figyelembe a következő napot, ahol a bevételek így jóval alacsonyabbak lesznek. Ezért határoztam meg ezt a feltételt, reális elvárás, hogy a következő nap is ugyanolyan feltételekkel induljon.

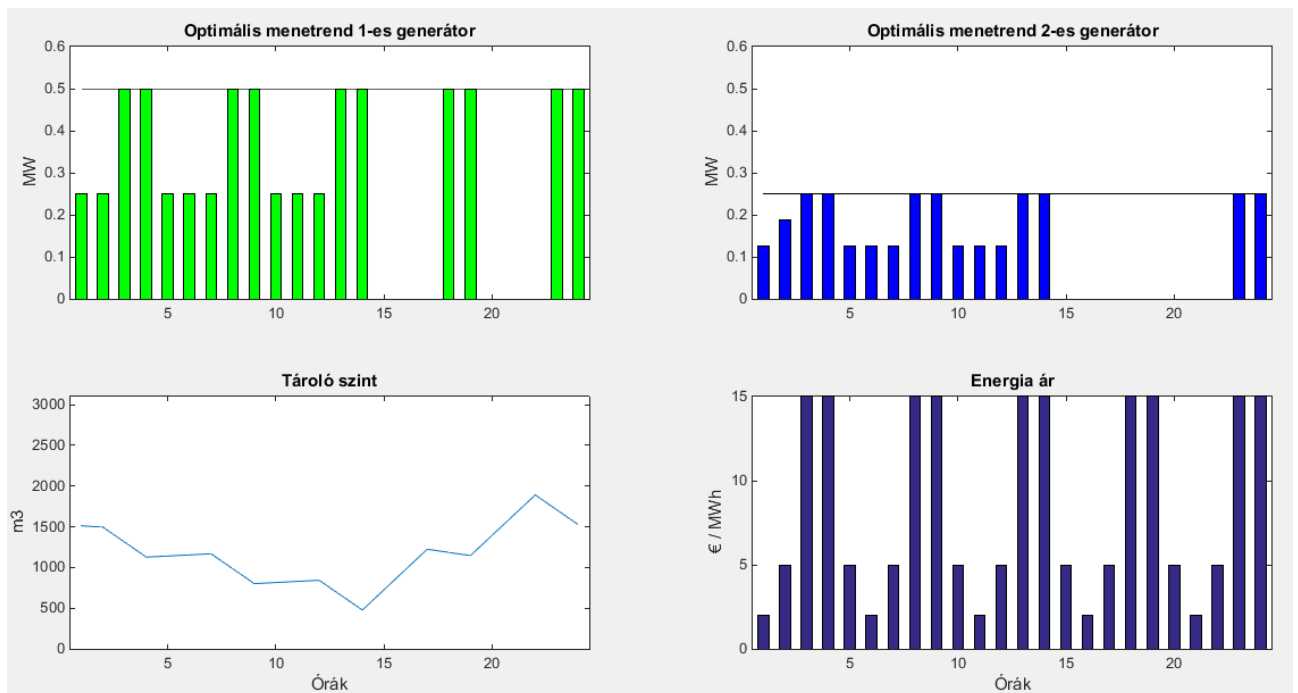
Motorindítások figyelése: Ha korlátozni szeretnénk a motorindítások maximális számát, illetve ha motorindítási költséget szeretnénk figyelembe venni, akkor tudnunk kell, hogy mikor történt motorindítás. Motorindítás akkor történik, ha a $t-1$. időpontban a motor üzemállapot változó értéke 0 volt és a t . motor üzemállapot változó értéke 1-re váltott. A következő korlátok felépítésével megszabható, hogy motorindításkor az adott időpillanathoz és motorhoz tartozó z változó értéke 1-re váltson. Ha az együttható mátrixban a t . motor üzemállapot változóhoz 1-es értéket, a $t-1$. motor üzemállapot változóhoz (-1)-es, valamint a t . időpillanathoz és motorhoz tartozó z motorindítás változóhoz (-1)-es értéket írunk és ennek az összegnek kell a ≤ 0 feltételt teljesítenie, akkor ez a korlát motorindításkor a motorindítás változó értékét 1-re kényszeríti. A következő példák szemléltetik a négy lehetséges esetet. A táblázat alsó sorában látható az együttható mátrixba beírt értékek.

Példa üzemállapot változókra	üzemállapot változó ($x(t-1)$)	üzemállapot változó $x(t)$	motorindítás változó $z(t)$	
Motor jár	1	1	0	
Motorindítás	0	1	1	
Motor áll	0	0	0	
Motorleállítás	1	0	0	
				b vektor
Együttható mátrix	-1	1	-1	0

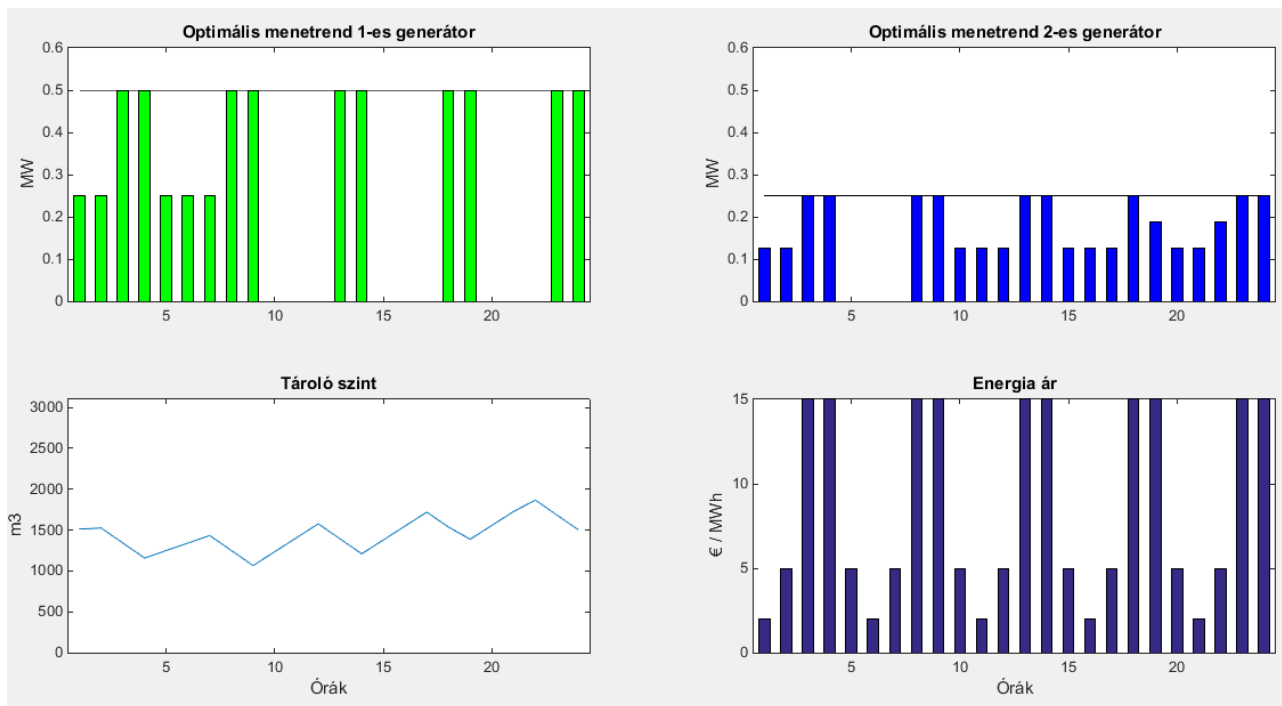
4. táblázat: Motor üzemállapot változások esetei

Ezzel $T \cdot n$ darab egyenlőtlenséggel bővül a korlátok száma, mivel minden órára és minden motorra meg kell szabni ezt a korlátot.

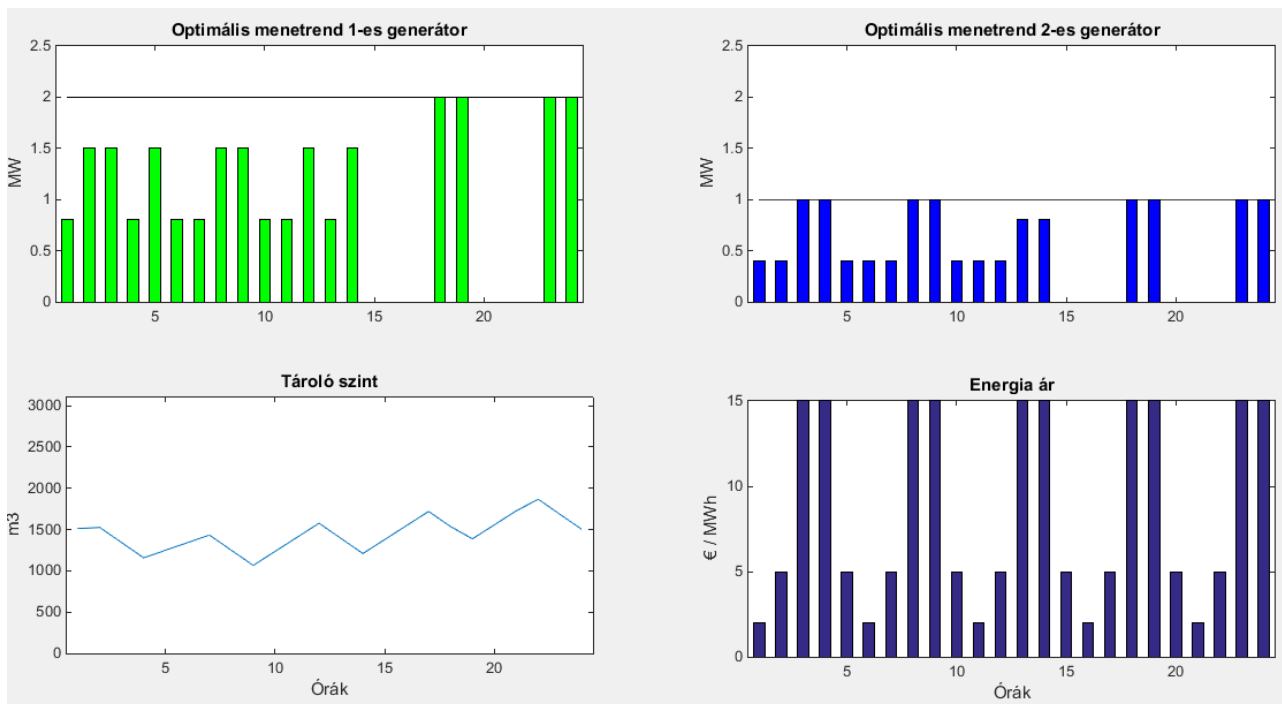
Maximum motorindítás: A motorindítások korlátozását úgy vettem figyelembe, hogy mindig az előző 24 óra alatt történt indításokat figyeli a motor. Az első 23 időpillanatban a vizsgált ablak még beleér az optimalizált időszak előtti időpillanatokba. Így a múltra vonatkozó motorindításokat paraméterként kell megadni. Az alábbi ábrákon egy 0,5 és egy 0,25 MW-os motor menetrendje látható a felső két diagramon. (A két motor csak beépített teljesítményben tér el egymástól, minden más műszaki paraméterük megegyezik) Alul balra a tározó szintje, jobbra pedig az általam kézzel bevitt hullámzó villamos energia árak láthatóak. Hullámzó árakra azért volt szükség, hogy a motorok ki- és bekapcsolását tesztelhessem.



12. ábra: Maximum 2 motorindítás hullámzó áraknál



13. ábra: Maximum 3 motorindítás hullámzó árnál



14. ábra: Maximum 3 motorindítás, de paraméterekkel a 14. óráig korlátozva hullámzó árnál

A 12 2 motorindítás volt megengedve. A menetrend helyesen változik a 13. ábra szerint, ha az előző 24 óra motorindítás megengedett számát 3-ra emelem fel. A 14 pedig ismét 3 motorindítás engedtem meg, viszont mindkét motornál az előző 24 óra motorindítás számait úgy adtam meg paraméterként, hogy ezzel

korlátoztam a motor elindítását a 14. óráig. A teszt a vártnak megfelelően működik, a motor leáll és a 14. óra után az áramnak megfelelő időpontban elindul. Fontos megjegyezni, hogy a motorindítások figyelése úgy lett megfogalmazva, hogy az első órához tartozó t-1. időpontot az optimalizáció utolsó időpontja adja. Így ha jár a motor az első és az utolsó órában, akkor nem történt motorindítás.

Kokszolás: Kokszolós üzemállapot lép fel, ha a gyártó által megadott üzemi tartomány alatti teljesítményen járattuk a motort. A normál üzemi tartomány jellemzően 50% - 100% közötti kiterheltségnek felel meg. 10% - 50% közötti tartományt hívjuk kokszolós tartománynak. Az ekkor fellépő tökéletlen égés miatti kormosodást, lerakódást jelenti a kokszolás. Erre a jelenségre kiemelten kell figyelni a szekunder szabályozásban értékesítő motoroknál, mivel ott leszabályozáskor a motor üzemeltetője igyekszik a minél alacsonyabb kiadott teljesítményre, viszont ez a kormosodás miatt tartósan nem tartható fenn. A szabadpiacon történő értékesítésnél ilyen üzemállapotokra nincs ösztönözve az üzemeltelő, hiszen itt az a célunk, hogy az adott mennyiségű gázból minél több bevételhez jussunk. Ez jó hatásfokkal történő égetéssel érhető el, ami a névleges teljesítményen való járatásra ösztönöz. Nem kizárható azonban, hogy az adott piaci körülmények és tároló állapot mellett kokszolós üzemállapotokat választana optimálisnak, ezért ezeket is modellezni és korlátozni kell.

Továbbiakban egy valós gázmotor koksz beállításait fogom bemutatni. Erre a gázmotorra 120 perc kokszidő van megengedve. A modellben a motor koksz számlálója névleges teljesítményen ezt az értéket mutatja. Ha a motor lemegy 50%-os teljesítmény szint alá, akkor a kokszszámláló elkezd csökkenni. 1 perc kokszolós üzem itt 1 percet von le a kokszszámlálóból. Ha tovább csökkentjük a teljesítményt 30% alá, akkor minden eltöltött egy perc 6 percet von le a kokszszámlálóból. Ez az egyre csökkenő hatásfokot és a tökéletlen égés mértékének növekedését hivatott leképezni. A motor teljesítményét 10%-ig csökkenthetjük, ez alatt nem tartható fenn a motor üzeme, még rövidtávon sem. Ha a koksz számláló elérte a 0 értéket, a motort fel kell terhelni vagy le kell állítani amíg a kikokszolás lehetséges. Kikokszolás 50%-os teljesítmény feletti járatást jelent, itt minden eltöltött 1 perc, 1 percet ad hozzá a kokszszámlálóhoz. (Más motoroknál még egy semleges üzem is létezhet, amely nem kokszol és nem kokszol ki) A következő táblázat mutatja be az egyes üzemállapotokat és annak hatásait a valós és az egy órás modellben.

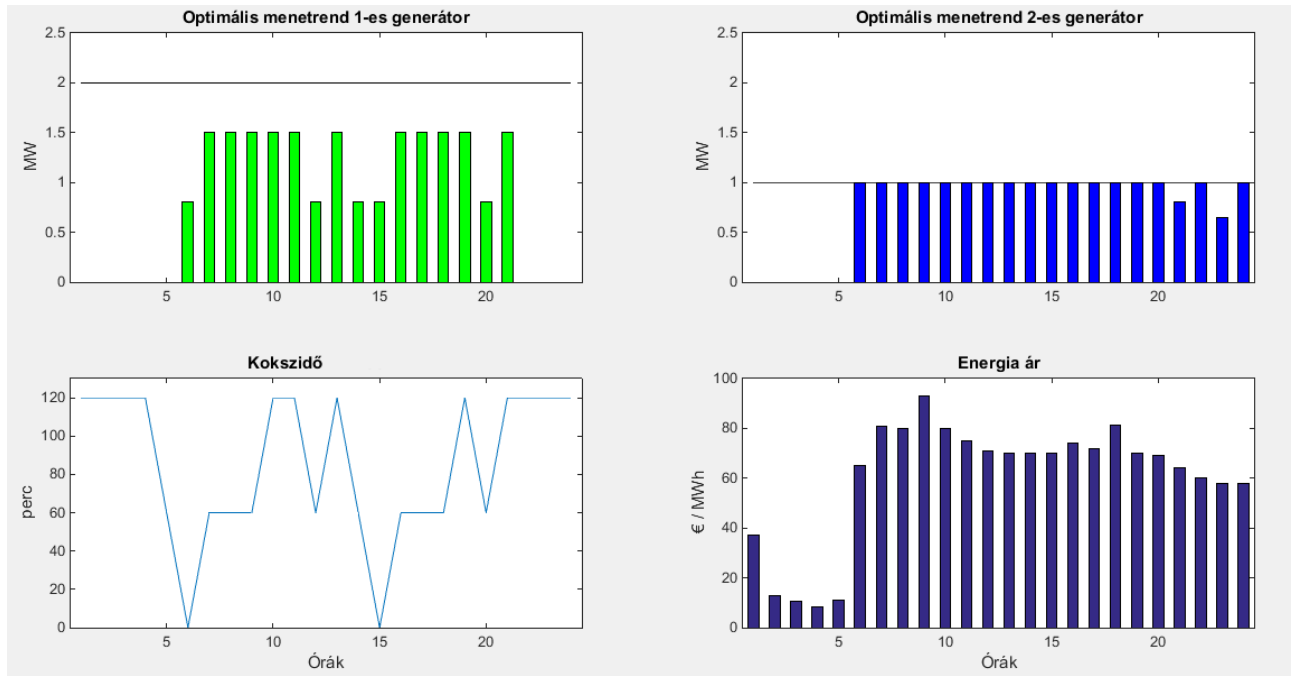
	rövid kokszüzem	hosszú kokszüzem	semleges üzem	kikokszolás
Kiterhelés határok	10% - 30 %	30% - 50%	-	50 %
Valós számlálóra hatás	-6 perc	-1 perc	nem változtat	+1perc
Hatás a számlálóra az órás modellben	-6*60 perc	-60 perc	nem változtat	+60 perc

5. táblázat: Üzemállapotok hatása a kokszszámlálóra

A motor diszkrét üzemállapotaihoz rendelhetőek a fenti táblázat órás modellhez tartozó értékei. A tároló korlátaival hasonlóan minden kokszidő az előző kokszidőktől (üzemállapotoktól) és egy kezdeti értéktől függ. Így minden órára definiálható, hogy a kokszidő 0 és 120 között legyen. Ez egy minimum és egy maximum korlátot jelent, tehát $2 \cdot T \cdot n$ korlátot.

Egy további korlát megszabja, hogy az optimalizáció végén milyen értéket vegyen fel a kokszszámláló.

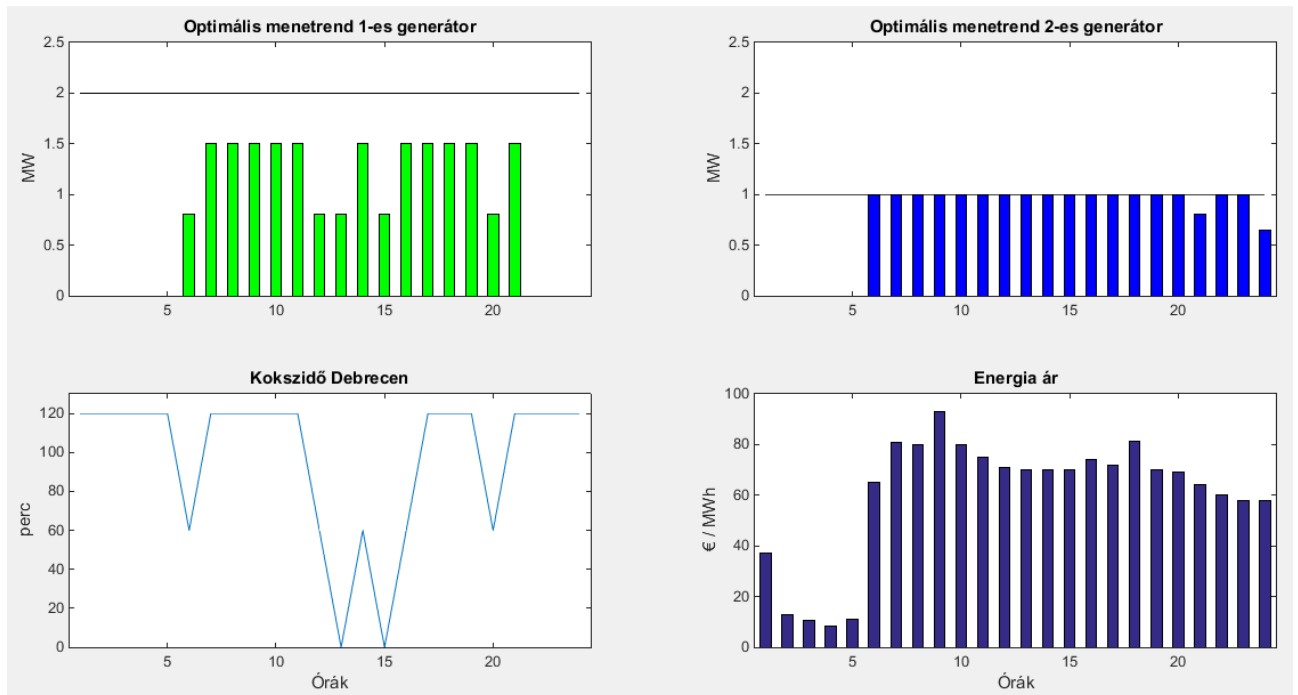
Bevezettem egy **fiktív kokszidőnek** elnevezett változót is. Ha a kokszszámláló már 120 percen áll és a korlát megszabja, hogy e fölé ne mehessen, akkor az optimalizációnak csak semleges vagy kokszolós üzemállapotokat szabad választania. Ez magas energiaárknál eltér az optimálistól. A modellnek a fiktív kokszidő adja meg a lehetőséget, hogy 120 kokszszámlálónál egy kikokszoló üzemállapotot válasszon be. Tehát ha a kokszszámláló már 120 percen van és az árak alapján egy kikokszoló üzemállapot lenne optimális, akkor ez +60-at ad hozzá a kokszidőhöz, de abban az órában a fiktív kokszidő változót -60-ra állítva a 120-as határon tartja a kokszszámlálót. Így teljesül a valós kokszidőhöz tartozó korlát. A fiktív kokszidő változó nem lehet pozitív. Az alábbi futtatások a kokszolás teszteredményeit mutatják be. A kokszolást úgy teszteltem, hogy fordítva vettem fel a motor hatásfok görbéjét és az alacsonyabb kiterheltségekhez rendeltem jobb hatásfokot. Ilyen menetredek láthatóak a 15. ábraán és a 16. ábrán is. Így a két hatás egymással ellentétesen működött és már vizsgálhatóvá vált, hogy valóban helyes-e a modellezés.



15. ábra: kokszidő nem jutalmazva

A 15. ábrán az 1-es generátor a fent leírt kokszbeállításokkal rendelkezik. A bal alsó „Kokszidő” diagramon több hiba is megjelenik és mindegyik a fiktív kokszidő felesleges használatából ered. A 6. órában csak 60 perccel csökkenne a kokszszámláló, ennek ellenére a szolver betesz még -60 fiktív kokszolást, illetve -60

percet tesz be a 8. és 9. órában, ezzel 60 percen tartva a számlálót, annak ellenére, hogy a valóságban már 120 percen áll. Ugyanez a jelenség figyelhető meg a 17. és 18. órában. Ezen hibák kiküszöbölésére a kokszt számlálóhoz rendeltem egy bevételt, ezt 10^{-7} -re állítottam be. Ezzel tudtam ösztönözni a szolvert, hogy a kikokszolást minél előbb végezze el. A 16 látható, hogy a kokszt számláló valóban a menetrendnek megfelelően változik.



16. ábra: kokszidő jutalmazva

Az utolsó T*n darab korlátot a kokszt számláló változóinak a kikényszerítésére foglalmaztam meg. Ezek a korlátok összesítik a gázmotor üzeméből adódó kokszolásokat a fiktív kokszt számláló eredményével és kokszt számláló változóit a kokszt számláló valós értékére kényszerítik.

Összefoglaló táblázat: a szolverbe bevitt változók, korlátok és célfüggvény értékekről. A változóknál feltüntettem, hogy hány darab változó tartozik az egyes részmodellekhez és hogy milyen határok között változhat. A korlátoknál ugyanígy megjelöltem, hogy mivel kapcsolatban fogalmaznak meg kényszert és hány darab tartozik az adott csoporthoz. A beírt adatok szemléltetésre szolgálnak, és csak közelítik az egyenlőtlenségek és egyenlőségek pontos felépítését.

Változó:	T*n*kiterh db (motor üzemáll.) {0;1}	T db (fáklya üzemáll.) {0;1}	2 db(konstans) {1}	T*n db (motorind) {0;1}	T*n db (fiktív kocsz idő) {-max kocsz - 0}	T*n db (kocsz számláló) {0-max kocsz}	b:
Korlát:							
Motor üzemállapot (T*n db)	1 0 1 0 1	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
	0 1 0 1 0	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
	0 0 1 0 1	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
	0 0 0 1 0	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
	0 0 0 0 1	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
Fákja üzemállapot (T db)	0 0 0 0 0	1 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
	0 0 0 0 0	0 1 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 1
Tározó max (T db)	-1 * gázfogyasztás (motor + fákja)		kezdeti + gazterm	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= tarozó max
Tározó min (T db)	gázfogyasztás (motor + fákja)		- kezdeti - gazterm	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= - tarozó min
Tározó végáll (1 db)	gázfogyasztás (motor + fákja)		- kezdeti - gazterm	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= - level kezdeti
Motorindítások figyelése (T*n db)	1 0 0 0 -1	0 0 0	0	0 -1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
	-1 1 0 0 0	0 0 0	0	0 0 -1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
	0 -1 1 0 0	0 0 0	0	0 0 0 -1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
	0 0 -1 1 0	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
	0 0 0 -1 1	0 0 0	0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
Max motorind (n db)	0 0 0 0 0	0 0 0	0	3 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_indszám
	0 0 0 0 0	0 0 0	0	3 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_indszám
	0 0 0 0 0	0 0 0	0	2 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_indszám
	0 0 0 0 0	0 0 0	0	2 0 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_indszám
	0 0 0 0 0	0 0 0	0	1 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_indszám
Kocszidő max (T*n db)	-60 0 0 60 0	0 0 0	0	kezdeti kocszállás	0 0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_kocszidő
	-60 -60 0 60 60	0 0 0	0	kezdeti kocszállás	0 0 0 1 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_kocszidő
	-60 -60 -60 60 60	0 0 0	0	kezdeti kocszállás	0 0 0 1 1 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_kocszidő
Kocszidő min (T*n db)	60 0 0 -60 0	0 0 0	0	-kezdeti kocszállás	0 0 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
	60 0 0 -60 -60	0 0 0	0	-kezdeti kocszállás	0 0 0 0 -1 -1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
	60 60 60 -60 -60	0 0 0	0	-kezdeti kocszállás	0 0 0 0 -1 -1 -1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= 0
Kocsz végáll (n db)	60 60 60 -60 -60	0 0 0	0	-kezdeti kocszállás	0 0 0 -1 -1 -1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	<= max_kocszidő
Kocsz számláló (T*n db)	-60 0 0 60 0	0 0 0	0	kezdeti kocszállás	0 0 0 1 0 0 -1 0	0 0 0 0 -1 0 0	= 0
	-60 -60 0 60 60	0 0 0	0	kezdeti kocszállás	0 0 0 1 1 0 0 -1 0	0 0 0 0 -1 0 0	= 0
	-60 -60 -60 60 60	0 0 0	0	kezdeti kocszállás	0 0 0 1 1 1 0 0 -1	0 0 0 0 -1 0 0	= 0
c:	HUPX (t szerint) - carb. költség		0	0	- indítási költség	0	kocsz költség

17. ábra: Összefoglaló: változók, együttható mátrix, b korlát vektor, c célfüggvény együtthatók

3.1.4 Paraméterek

A paramétereket egy hazai, tipikusnak mondható biogáz üzem által megadott adatok alapján töltöttem ki, valamint becsült értékeket tartalmaznak.

- Gáztermelés: 250 m³/h, A gáztermelést egy konstansként vettem figyelembe. Ez jó közelítésnek mondható. A fermentorokban a szerves hulladék tartózkodási ideje átlagosan 60 nap. Ez a hosszú rothasztási idő egy szinte állandó gázkihozattal eredményez.
- Biogáz fűtőérték: 18,23 MJ/Nm³ (saját számítás: jelenleg a biogáz üzemek úgy lettek méretezve, hogy egyedül mélyvölgy időszak alatt állnak le. Ez naponta 21,5 óra üzemidőt jelent. Ahhoz, hogy a gázmotor 21,5 óra alatt elfogyassza a 24 óra alatt termelődő gázmennyiséget a következő egyenletnek kell teljesülnie:

$$\frac{P_{motor}}{\eta_{motor}} = \dot{V}_{biogáz} * H_a$$
$$\frac{P_{motor} * \text{üzemidő}}{\eta_{motor}} = V_{biogáz} * 24 * H_a$$

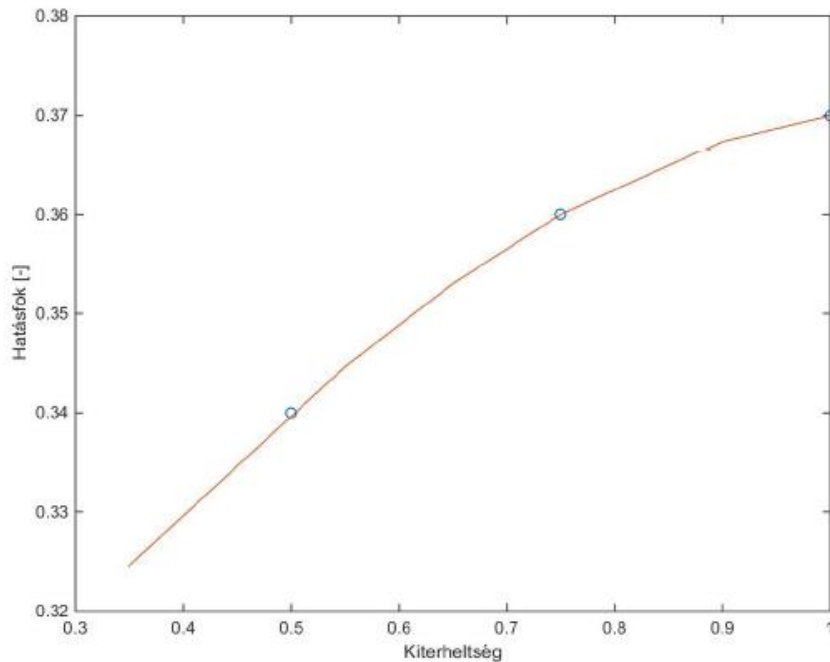
ahol P_{motor} , 524 kW a motor beépített teljesítménye
 üzemidő , 21,5 óra a KÁT csúcs és völgyidőszaknak megfelelően
 η_{motor} , 0,37 [-] a motor átlagos hatásfoka
 $\dot{V}_{biogáz}$, a termelődő biogáz tömegárama
 $V_{biogáz}$, 250 m³/h, egy óra alatt termelődő biogáz
 H_a , a biogáz fűtőértéke

- Beépített teljesítmény: 524 kW
- P_{TITK}^2 : 508 kW
- indítási költség: az indítási költség a gyakorlatban kis költséget jelent. Emiatt 0-ra állítottam be ezt a paramétert.
- maximális indítás szám: a gyakorlatban ez nincsen korlátozva, naponta 0-8 értéket is felvehet. A átlagos szabadpiaci árak 2, maximum 3 motorindítást eredményeznek. A modellben nem korlátoztam.
- karbantartási költség: 1250 Ft/h-ra vettem fel valós üzemeltetési tapasztalatok alapján³
- üzemall_motor : motoronként megadott teljesítmény határok, amelyek elválasztják a koksizolós, semleges és kikoksizolós üzemállapotokat
- koksido_motor : motoronként megadott mennyiségek, amelyek az üzemállapotok a kokszzámlálóra vett hatását mutatják
- max_kocsz_motor : motoronként a kokszzámláló által felvett maximális érték

² Ténylegesen kiadható teljesítőképesség - önfogyasztás, ez az éves átlagos karbantartásokat és kieséseket is figyelembe vevő teljesítmény, MEKH kiserőművi engedélyben szereplő adat

³ 309,35-ös középárfolyamon, 4,04 €/h

- kokszo_opt_elott: az optimalizáció előtt ilyen értéken volt a kokszszámláló
- Motor hatásfok görbe: A specifikációban 50 %, 75 % és 100 %-os kiterheltséghez voltak adatok, erre illesztettem egy 3-adfokú polinomot (18. ábra). A modellezett gázmotorhoz nem álltak rendelkezésre hatásfok adatok. Az elérhető adatokból ehhez a motorhoz teljesítményben és típusban legközelebb állót választottam ki. (specifikációban szereplő típus: Jembacher 320, modellezett típus: Jembacher 312)

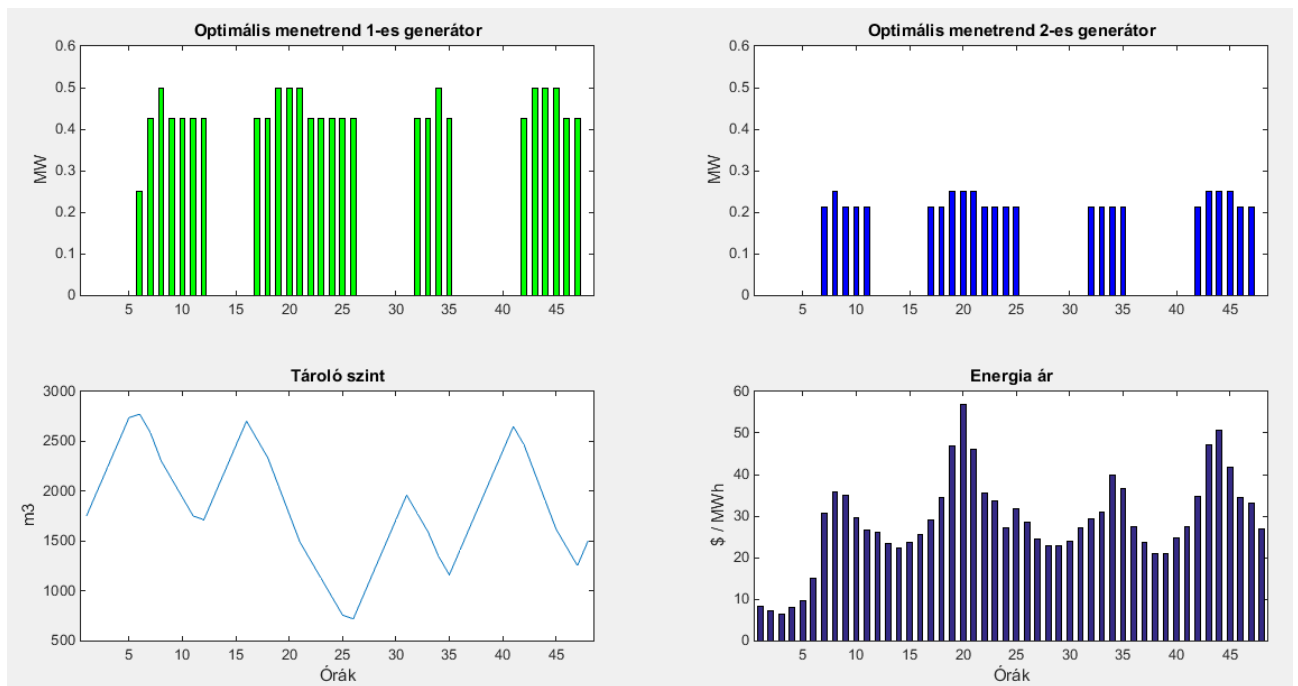


18. ábra: Hatásfok görbe

- Tárolási hatásfok: 99,9 %, a tárolt gázmennyiség ezred része szökik ki a tározóból
- Kitárolási hatásfok: 99,8 % a gázmotorhoz eljutott része a tározóból kivett gázmennyiségnek
- Tározó maximum: pl. 3500 m³
- Tározó minimum: 100 m³

3.2 Paraméter vizsgálat

A solver egy bevételre optimalizált menetrendet ad meg. Például egy 48 órás intervallumra és két motorral a következő diagramokban olvashatók le az eredmények:



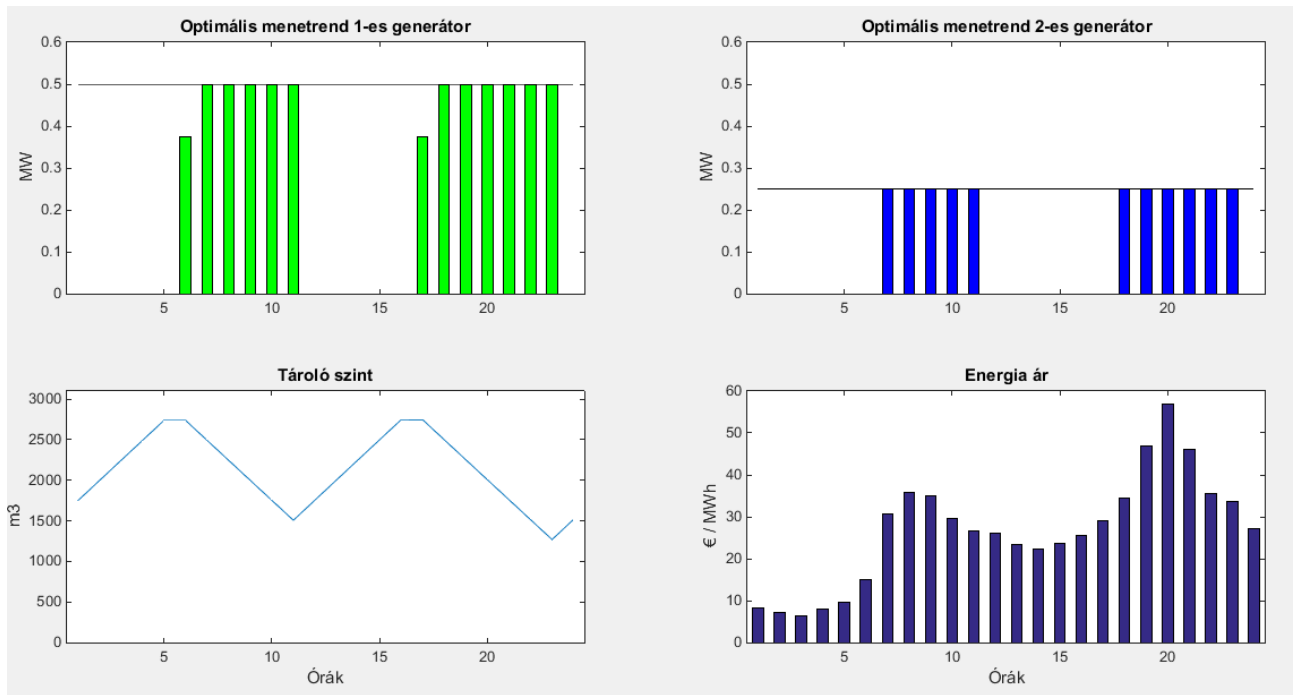
19. ábra: Példa egy menetrendre

A fenti ábrán alul a gáztározó töltöttségi szintjét és a HUPX árakat láthatjuk, felül pedig az adott időszakon optimális menetrendet, külön-külön az egyes motorokra. A bal oldali motornak 0,5 MW a jobb oldalának 0,25 MW volt a beépített teljesítménye.

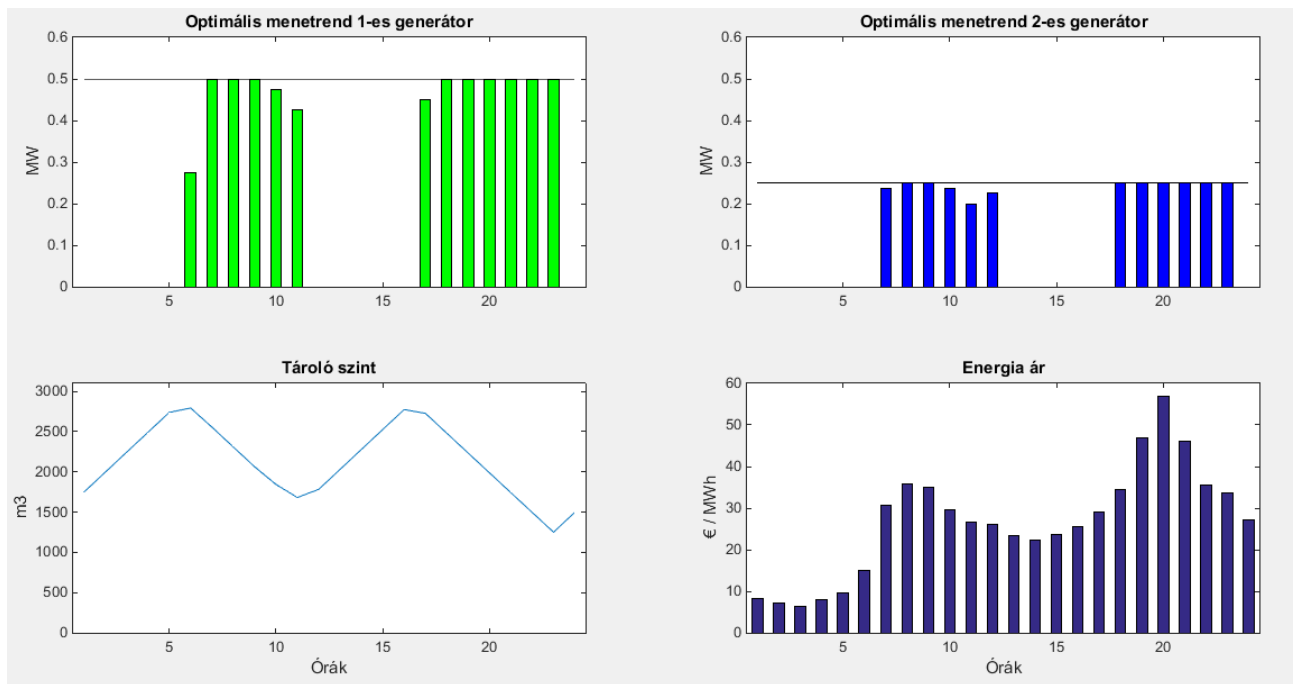
A következő három alfejezetben azt vizsgálom meg, hogy a modell változtatható paramétereit mire állítsam be, hogy az éves futtatások maximális eredményt hozzanak. Ilyen változtatható paraméter a modell felbontása, a vizsgált időszak hossza, a tározó paramétere. A tározó paramétere közül a kezdeti töltöttségi szint szabadon választható, a tározó mérete csak beruházással növelhető. Ezt is vizsgálni fogom, hogy mekkora tározó méret hozna nagyobb bevételt és így mekkora tározóra érdemes éves futtatást végezni.

3.2.1 Felbontás vizsgálat

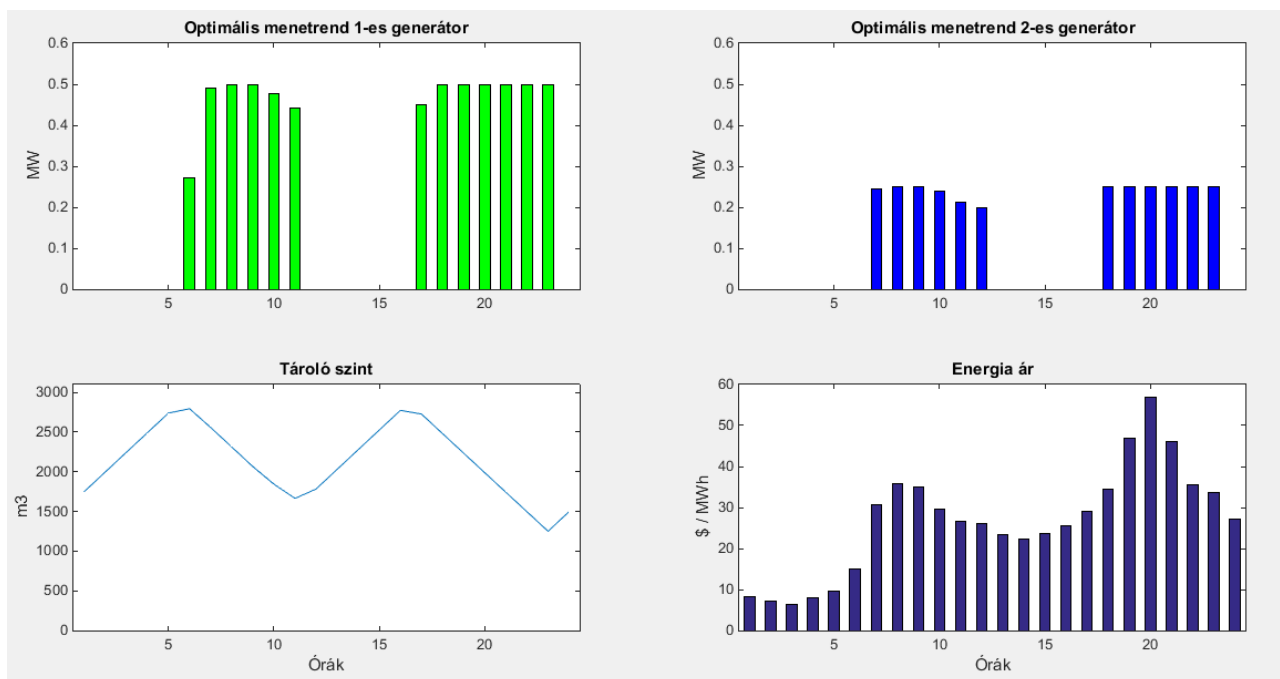
Az eredmény pontosságát befolyásolja a modell felbontása, ebben az esetben, ez az üzemállapotok számát jelenti. A gyártó által megadott kiterheltség-hatásfok pontokra illesztett másodfokú polinom kiértékelésével, lefutattam ugyan azt a beállítást 3, 11 és 101 darab kiterheltségi szinttel (például 3 kiterheltségi szint: 50%, 75% és 100%-os kiterheltség közötti választást tesz lehetővé, 11 darabnál pedig 50% és 100% között egyenletesen elosztott lehetőségek közül választhat a solver). A következő eredmények adódtak:



20. ábra: Menetrend 3 kiterheltségi szinttel



21. ábra: Menetrend 11 kiterheltségi szinttel



22. ábra: Menetrend 101 kiterheltségi szinttel

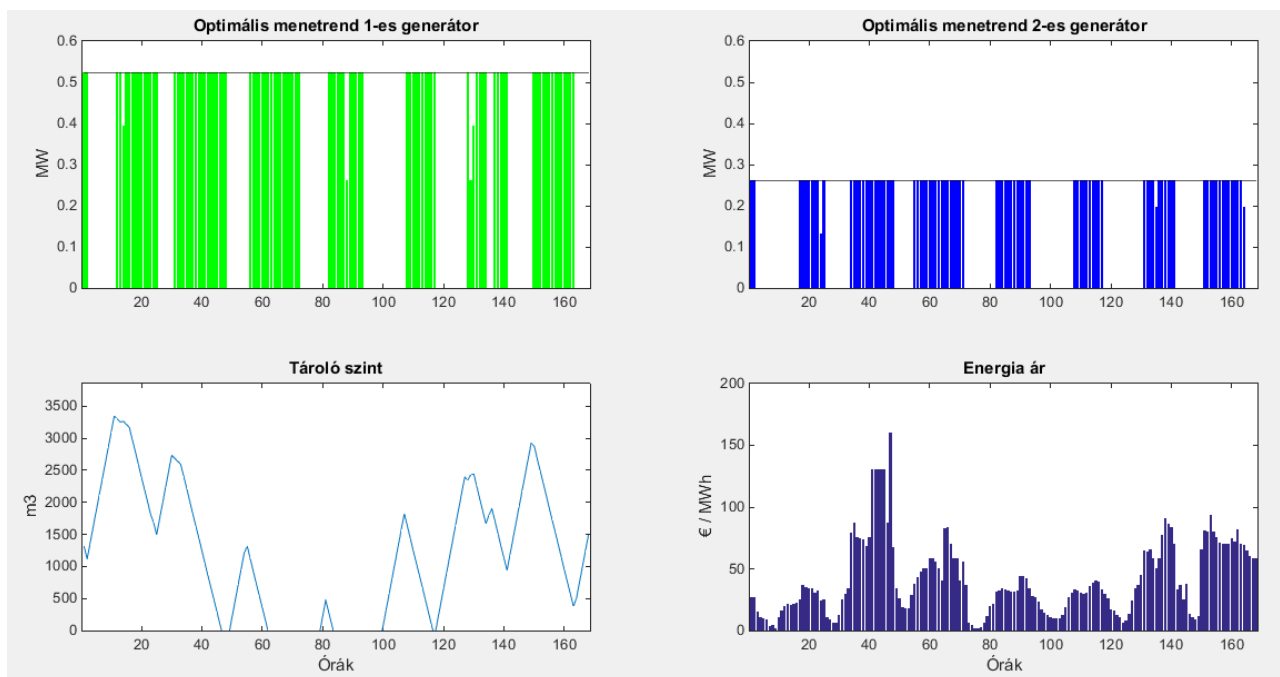
Üzemállapotok száma [db]	3	11	101
Bevételek [€/nap]	316,63	318,33	318,37

6. táblázat: Bevételek különböző felbontású modellnél

Látható, hogy 11 darab üzemállapot felett már nem lesz szignifikáns változás a bevételben, viszont a futási idő jelentősen megnő. Az éves eredményekhez a futási idő csökkentése céljából 6 üzemállapotot használtam: 30%, 40%, 50%, 65%, 85%, 100%-os kiterheltséggel. (30% kiterheltség alá nem választottam üzemállapotot, mert ott a rövidtávú kokszüzemben csak 20 percet tartózkodhat egy motor. Mivel én órás modellt használtam ebben a tartományban egyáltalán nem volna motor. Így két kokszolósos és négy kikokszolósos üzemet választottam.

3.2.2 Időszak vizsgálat

Jelenleg egy korlát megszabja, hogy a kezdeti gázmennyiség és a vizsgált időszak végén a tározóban lévő gázmennyiség megegyezzenek. E nélkül a korlát nélkül olyan menetrendeket kapunk, amelyekben a nap végére a tározó minimum szintjére áll be a gázmennyiség. Ez logikus, hiszen úgy jutunk a legtöbb bevételhez, ha a gázmotor elhasználja a tárolóban lévő gáz mennyiségét és az aznap termelődött gázmennyiséget is. Ez a megközelítés viszont nem veszi figyelembe a következő nap lehetőségeit, a hétvége és hétköznapok árai közötti különbséget. Az optimalizációt egy hétre futtatva következő eredmények adódnak.



23. ábra: Optimalizáció egy hétre

Látszik, hogy érdemes hetes futtatásokat vizsgálni, akár előre jelzett árakkal. A hétvégi alacsonyabb áraknál érdemesebb a tárolót tölteni és a hétköznap felhasználni az eltárolt gázmennyiséget. A hét bevétele a következőképpen alakult:

Bevételek [€]	Szerda	Csütörtök	Péntek	Szombat	Vasárnap	Hétfő	Kedd	Összesen
Napi opt.	233,49	819,37	520,47	280,36	271,68	518,39	706,62	3350,38
Heti opt.								4063,86

7. táblázat: Napi és heti optimalizáció összehasonlítása

A bevételből jól látható, hogy jelentős különbség van a napi optimumok összege és az egész hétre vonatkoztatott optimum között.

3.2.3 Tározó paraméter vizsgálat

A modell a tározó veszteségeit a tározóban lévő gázzal arányosan képi le, több gáz tehát magasabb veszteségekhez vezet. (A valóságban erős nem-linearitások lépnek fel, a tározó egy töltöttségi szintet elérve drasztikus veszteségnövekedéseket mutat. Ennek egy lehetséges oka, hogy a betárolt gáz mennyiségével nő a tároló belső membránja és ezen töltöttségi szint felett, a membránt már közvetlenül éri a támlévegő befújás) Ez arra ösztönöznö, hogy minél kisebb töltöttségi szinten valósítsuk meg ugyanazt a menetrendet. További befolyásoló tényező, hogy a gázmotor kapacitásnövelése mellett érdemes lehet a tározót is bővíteni, annak érdekében, hogy a csúcsidőszakra nagyobb mennyiséget tudjunk elraktározni és azt nagyobb teljesítményen egyszerre felhasználni. Az alábbi paraméter vizsgálatban gázmotor kapacitás bővítések

változataira vizsgáltam meg, a tározó méret és tározó kezdeti töltöttségi szint hatását. A beépített motorok ugyanolyan paraméterekkel rendelkeznek, mit az eredeti 524 kW-os. A 8. táblázat az eredeti motor bevételeit mutatja, a 9. táblázat az eredeti motor kapacitásának felét építi be, tehát 262 kW-ot. A 10. táblázat 450 kW-ot (az optimalizáció futási ideje jelentősen megnőtt, ha két ugyanakkora motorra optimalizáltam. Ezért választottam egy kisebb teljesítményű motort), a 11. táblázat 1048 kW-ot a motor teljesítményének kétszeresét építi be. Az eredmények három egymást követő nap összegzett bevételét mutatják.

Tározó mérete [m ³]	Kezdeti töltöttségi szint [m ³]							
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
1000	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
2000	1328,92	1294,97	1216,82	-	-	-	-	-
3000	1328,92	1328,92	1326,32	1290,49	1213,55	-	-	-
4000	1328,92	1328,92	1326,32	1323,57	1322,50	1286,21	1210,37	-
5000	1328,92	1328,92	1326,32	1323,57	1322,50	1320,27	1318,83	1282,43
6000	1328,92	1328,92	1326,32	1323,57	1322,50	1320,27	1318,83	1315,78
7000	1328,92	1328,92	1326,32	1323,57	1322,50	1320,27	1318,83	1315,78
8000	1328,92	1328,92	1326,32	1323,57	1322,50	1320,27	1318,83	1315,78
9000	1328,92	1328,92	1326,32	1323,57	1322,50	1320,27	1318,83	1315,78

8. táblázat: Egy 524 kW-os motor bevételei három nap alatt [€]

Egy gázmotor mellett nem érdemes tározót bővíteni, az nem eredményez többletbevételt.

Tározó mérete [m ³]	Kezdeti töltöttségi szint [m ³]							
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
1000	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
2000	1489,83	1399,59	1279,85	-	-	-	-	-
3000	1556,87	1533,14	1486,59	1395,31	1274,10	-	-	-
4000	1556,85	1552,97	1550,66	1530,92	1485,29	1392,76	1270,90	-
5000	1556,87	1552,98	1550,66	1547,79	1547,49	1526,77	1479,50	1388,59
6000	1556,87	1552,97	1550,66	1547,67	1547,49	1543,75	1543,45	1526,15
7000	1556,86	1552,97	1550,66	1547,79	1547,49	1543,75	1543,45	1540,89
8000	1556,86	1552,97	1550,66	1547,79	1547,49	1543,75	1543,45	1540,89
9000	1556,86	1552,97	1550,66	1547,79	1547,49	1543,75	1543,45	1540,89

9. táblázat: Egy 524 kW-os és egy 262 kW-os motor bevételei három nap alatt [€]

Tározó mérete [m ³]	Kezdeti töltöttségi szint [m ³]							
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
1000	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
2000	1595,78	1471,06	1335,52	-	-	-	-	-
3000	1711,21	1680,55	1600,08	1469,01	1331,31	-	-	-
4000	1712,91	1711,46	1709,95	1678,13	1593,62	1463,90	1326,48	-
5000	1712,91	1711,48	1711,22	1709,90	1700,65	1675,35	1587,70	1459,93
6000	1712,91	1711,46	1711,23	1709,90	1701,81	1701,50	1699,52	1670,83
7000	1712,91	1711,46	1711,22	1709,93	1701,81	1701,50	1698,24	1694,55
8000	1712,91	1711,46	1711,22	1709,90	1701,81	1701,47	1698,26	1694,39

9000	1712,91	1711,46	1711,22	1709,90	1701,83	1701,55	1698,24	1694,39
------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

10. táblázat: Egy 524 kW-os és egy 450 kW-os motor bevételei három nap alatt [€]

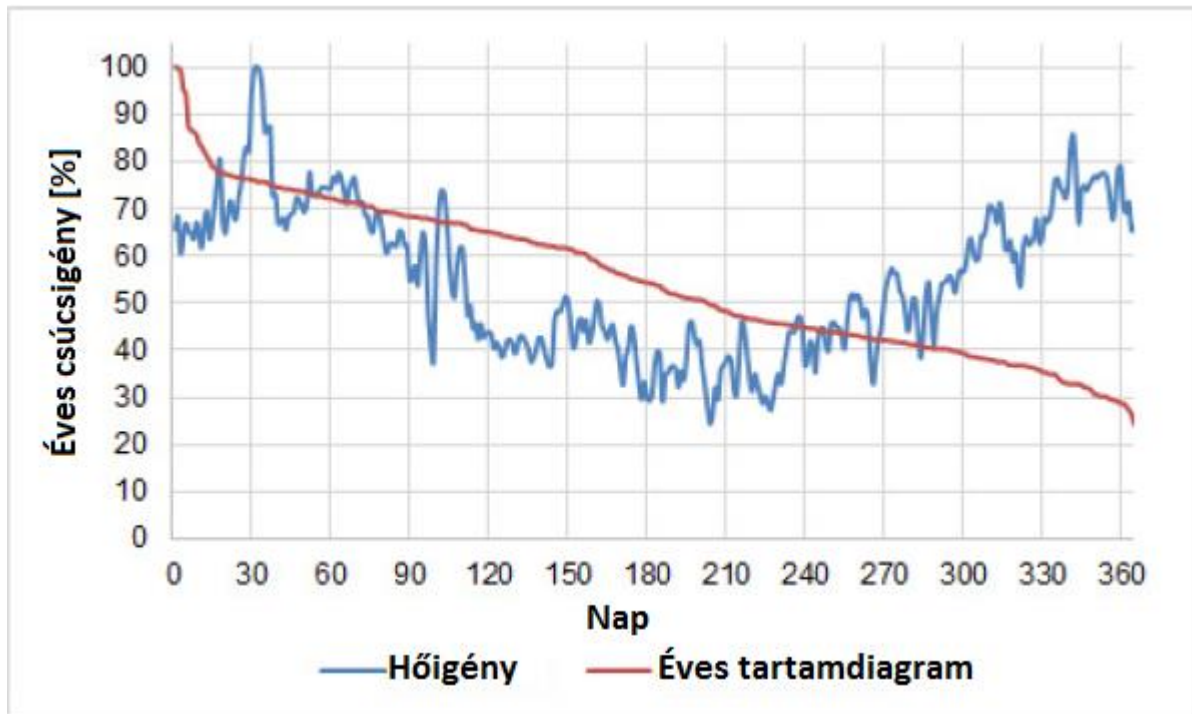
Tározó mérete [m ³]	Kezdeti töltöttségi szint [m ³]							
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
1000	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
2000	1732,08	1626,08	1493,76	-	-	-	-	-
3000	1953,38	1873,63	1764,70	1638,80	1488,65	-	-	-
4000	2040,61	2002,34	1958,95	1875,79	1762,51	1634,22	1485,09	-
5000	2065,89	2061,66	2036,15	1994,10	1951,66	1865,30	1757,29	1630,99
6000	2065,89	2061,66	2057,73	2057,05	2029,91	1995,35	1946,46	1861,99
7000	2065,89	2061,67	2057,73	2057,05	2047,13	2043,65	2025,64	1986,59
8000	2065,89	2061,67	2057,73	2057,05	2047,13	2043,65	2042,81	2033,89
9000	2065,89	2061,67	2057,73	2057,05	2047,13	2043,65	2042,81	2033,89

11. táblázat: Egy 524 kW-os és egy 1048 kW-os motor bevételei három nap alatt [€]

A fenti eredményekből látszik, hogy érdemes minél alacsonyabb tározó kezdeti töltöttségi szintet tartani, addig, amíg ugyanazt a menetrendet képes hozni a motor. Nulla kezdeti töltöttségi szint nem javasolt. Ha a kezdő időpontban a tározó üres, akkor nem tud vagy nem optimális teljesítményen indul el az első órában a gázmotor. Másik véglet, ha a tározó tele van. Ilyenkor kedvezőtlen árak ellenére is el kell indítani a motort. A tározó méretének növelése növeli a biogáz üzem bevételeit, de egy szinten túl felesleges tovább növelni. A táblázatokban pirossal jelöltem a legkisebb tározó méret mellett legnagyobb bevételt hozó eseteket. Ezen paraméterek mellett végeztem éves optimalizációt, amely eredményeit a HUPX értékesítés bevételei című fejezet tartalmazza.

3.3 Fermentor hőigénye változó menetrenden

A gáztermelés biológiai folyamatainak a fenntartására, mezofil technológia esetén 35 - 40 °C között, termofil technológia esetében 50 - 55 °C között, állandó hőmérsékleten kell tartani a fermentort. Ennek a hőigénye nagyban függ a külső hőmérséklettől és a környezet egyéb paramétereitől. A fermentor hőigény változásait mutatja be a következő ábra.



24. ábra: Fermentor hőigénye [11]

Az év napjainak hőigényét kékkel ábrázolva, az éves tartamdiagram pedig pirossal. Elmondható, hogy a fermentor hőigénye átlagosan a gázmotor névleges teljesítményen termelt hőjének 20 - 30%-át teszi ki. [11] A KÁT-on belüli értékesítés mellett a gázmotor csak a mélyvölgy időszak alatt állt le (szóbeli információ, hazai biogáz üzem üzemeltetőjétől), így a fermentor hőmérséklete ez alatt a 3,5 óra alatt nem csökken le a baktériumokat veszélyeztető szint alá. A szabadpiaci értékesítés viszont hosszabb leállásokat eredményezhet, amelyek a fermentor kritikus lehűlését eredményezhetik. A következő képlet alapján becsülhető, hogy hány fokkal hűl le a fermentum, homogén hőmérséklet eloszlást feltételezve.

$$E_{th} = m \cdot c_{v\acute{z}} \cdot \Delta T$$

$$P_{th} = m \cdot c_{v\acute{z}} \cdot \frac{\Delta T}{dt} = \rho \cdot V \cdot c_{v\acute{z}} \cdot \frac{\Delta T}{dt}$$

ahol,

E_{th} , a termikus energia

P_{th} , az előfermentor hőigénye

m , a fermentum tömege

ρ , a víz sűrűsége, a fermentum max. 10%-os szárazanyag tartalommal rendelkezik, ezért a víz sűrűségével közelítem, 40 °C-on 992,2 kg/m³

V , az előfermentor térfogata 2280 m³

$c_{v\acute{z}}$, a víz fajhője, a fermentum max 10%-os szárazanyag tartalommal rendelkezik, ezért a víz fajhőjével közelítem, 40 °C-on 4,175 kJ/kg*m³

ΔT , a hőmérséklet különbség

dt , a leállítás ideje

Ezen képlet alapján a modellezett fermentor (30% hőigénynél, előfermentor/elő+utófermentor térfogat aránnyal $[2280/(2280+3694)=0,382]$ korrigálva, $P_{th}=0,3*0,382*500 = 57,3$ kW. A korrekciót azért végeztem el, mert a meglévő (1-es) gázmotor által leadott hőmennyiség 30%-a az egész fermentációs folyamat hőszükségletét fedezi. Ebben a számításban viszont csak egy fermentor hőmérséklet változását szeretném kiszámolni.) a mélyvölgy időszak alatt 0,08 °C-ot hűl le. 12 óra alatt (jelenleg ekkora gáztároló kapacitása van a telepnek) 0,26 °C-ot 24 óra alatt 0,52 °C-ot. A Német Biomassza Kutatóintézet munkatársa közölte, hogy a tapasztalataik szerint a fermentumnak +/- 1 °C-os hőmérséklet változásai nincsenek negatív hatással a biológiai folyamatokra. 2 - 5 °C-os, hirtelen változások, már problémát jelentenének, de ilyen mértékű ingadozás nem lépne fel, még egy napos leállás esetén sem. Ezek alapján hőtároló beépítését nem tartom indokoltnak. A következő táblázat a beépített gázmotor kapacitás és gáztároló bővítés lehetőségek függvényében mutatja meg három különböző napon a leállások maximális hosszát. Pl. 3000 m³-es gáztárolóval és plusz 0,52 MW beépített gázmotor kapacitással az egyik motorra 15, 18 és 9 órás, a másokra 8, 6 és 8 órás leállások adódtak. Ezt az esetet vastagon szedve jelöltem a táblázatban.

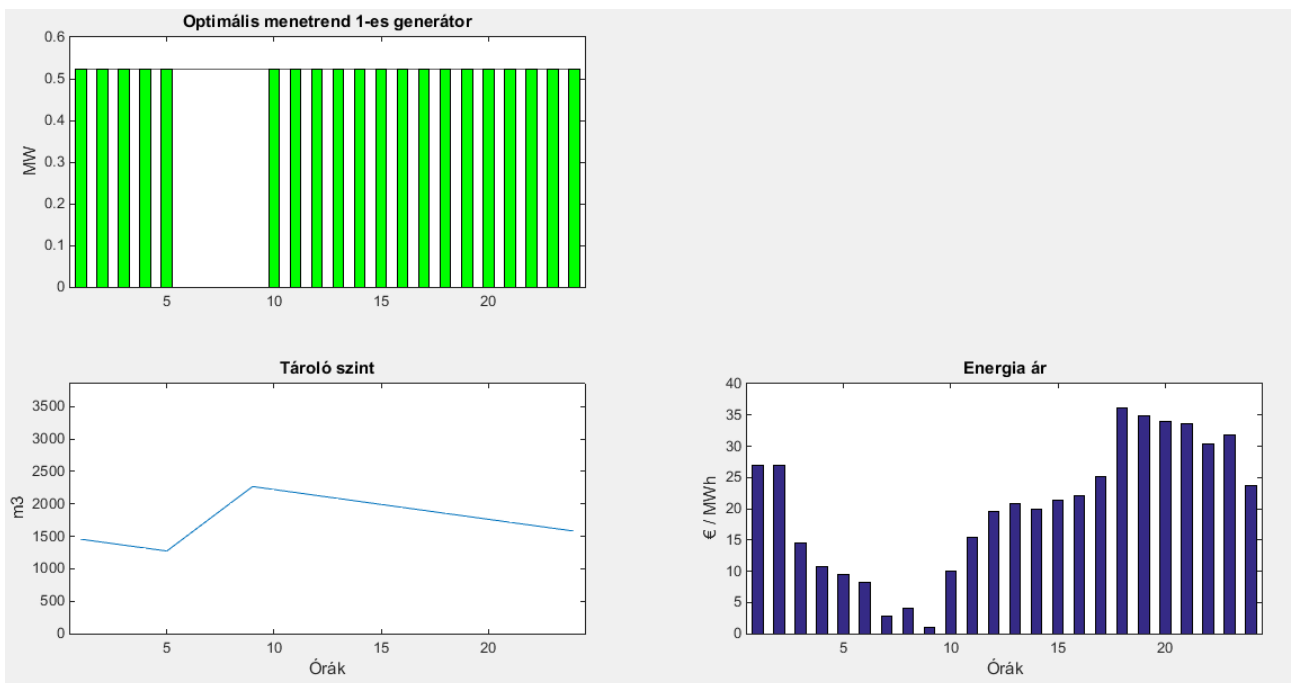
Tározó mérete	Gázmotor kapacitásbővítés változatok			
	0,52 MW	0,52 + 0,27 MW	0,52 + 0,45 MW	0,52 + 1,04 MW
3000 m ³	4; 4; 0	8 - 14; 9 - 12; 7 - 9	15 - 8; 18 - 6; 9 - 8	11 - 15; 9 - 21; 9 - 11
6000 m ³	-; -; 0	10 - 12; 11 - 10; 8 - 8	14 - 14; 14 - 13; 9 - 9;	17 - 15; 15 - 19; 18 - 11
9000 m ³	-; -; -	10 - 12; 11 - 11; 8 - 9	14 - 14; 14 - 14; 9 - 9;	16 - 18; 14 - 19; 18 - 11

12. táblázat: Gázmotor leállások maximális hossza

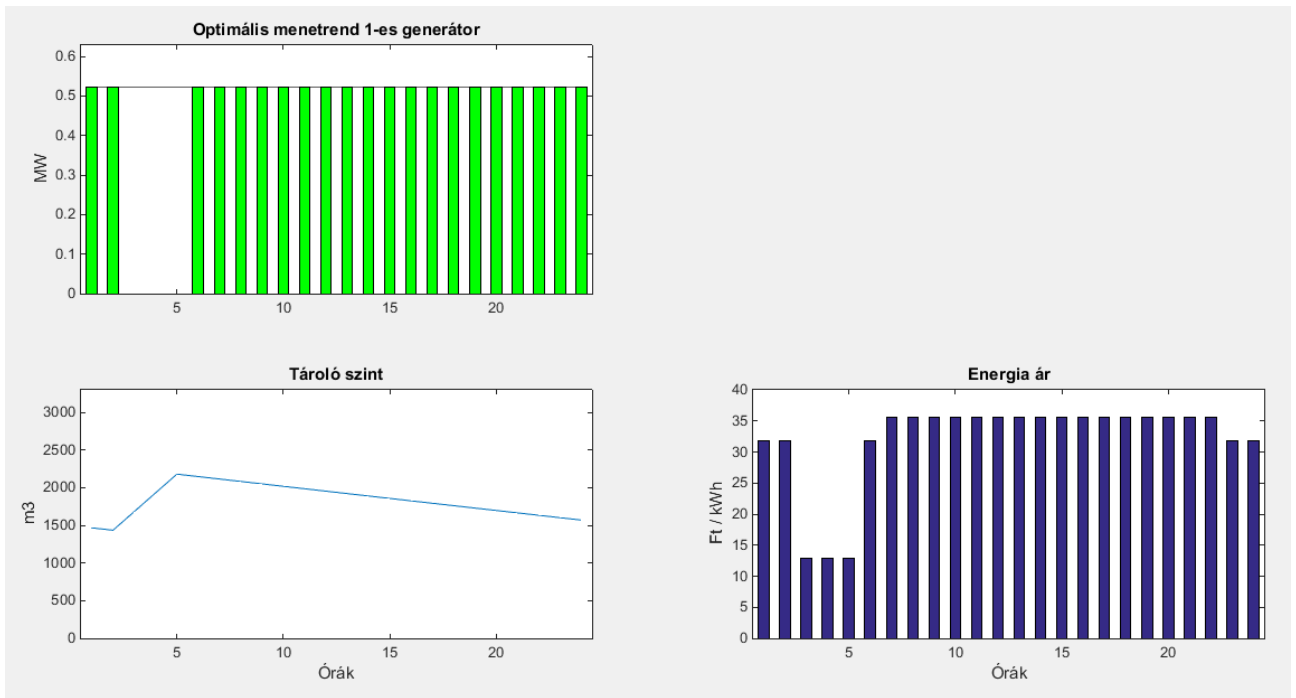
4 Eredmények

4.1 HUPX értékesítés bevételei

Jelenleg a KÁT-ban értékesítő biogáz üzemekben a fermentor és a gázmotor úgy van méretezve, hogy a termelődő gázmennyiséget a gázmotor folyamatos üzemben használja fel. Egyedül a mélyvölgyidőszak alatt állnak a motorok és általában közvetlenül a fermentoron kiépített tározó az ekkor termelődő biogázt tárolja el. Az így méretezett biogáz telepeken nincs lehetőség az inkább magasabb bevételt hozó órákban járítani a motort, hiszen a termelődő biogáz felhasználásához 21,5 órában teljes beépített teljesítményen kell üzemelnie a motornak. A technológiából és méretezésből adódó „kényszer” menetrend látható a következő ábrán. Látható, hogy a HUPX árak alapján (25. ábra) előfordul, hogy más időszakok alatt állna le a gázmotor, mint a KÁT mélyvölgy időszak (26. ábra).

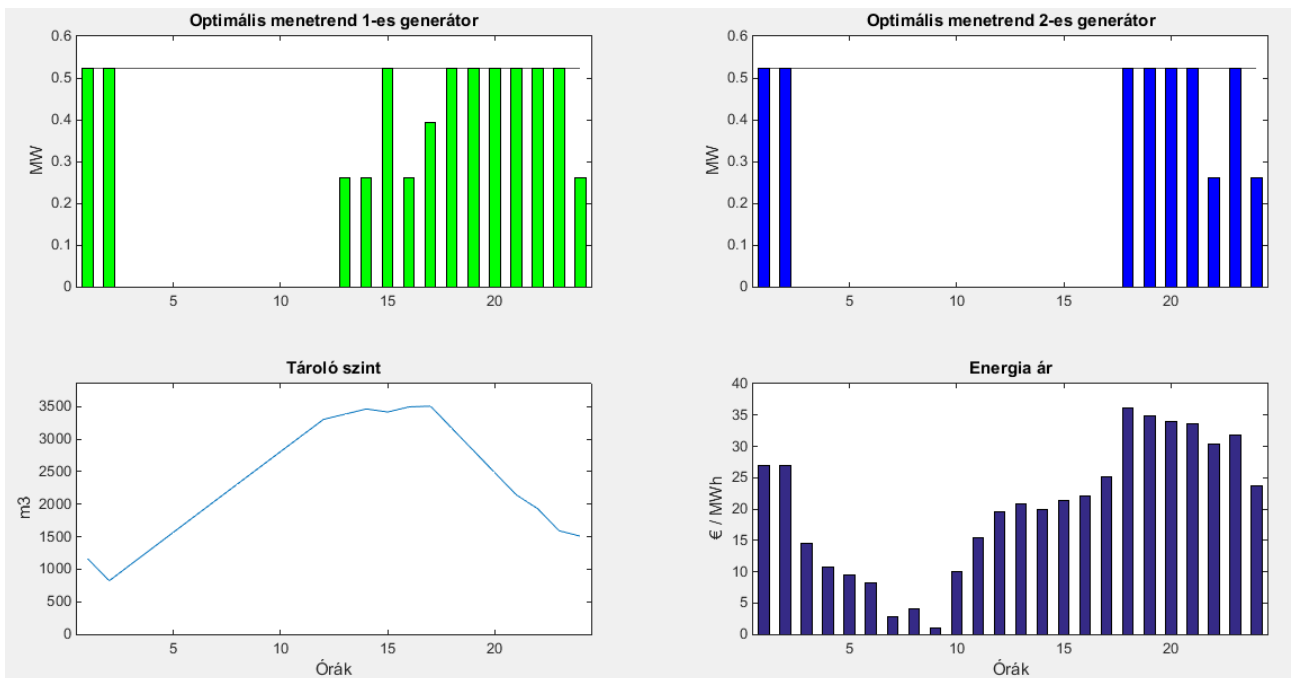


25. ábra: Menetrend HUPX árak alapján



26. ábra: Menetrend KÁT átvételi árak alapján

A biogáz üzem úgy érhet el magasabb bevételeket, ha további gázmotor kapacitást épít be. Így két (vagy több) gázmotorral a fermentorból érkező gázmennyiséget rövidebb idő alatt tudná felhasználni, a termelt villamos energiát pedig magasabb piaci áron eladni. Egy ilyen üzemet mutat a következő ábra:



27. ábra: Példa egy 524 kW-os bővítés menetrendre gyakorolt hatására

A szimulációkban a jelenlegi 524 kW beépített kapacitás mellett további 262 kW (a meglévő motor teljesítményének a fele), 450 és 1048 kW új kapacitással számoltam ki az egy év alatt elérhető bevételeket.

A paramétervizsgálat eredményei alapján számoltam bevételeket, 3000, 4000 és 5000 m³-es tárolókhoz. Megjegyzendő, hogy a szimuláció napi optimum menetrendek bevételeit adja össze. A paramétervizsgálat fejezetben kifejtettem, hogy hétvége, hétköznap árkülönbségeit figyelembe vevő előrelátó menetrendezés ennél magasabb bevételeket is hozhat. Kérdés, hogy valós idejű menetrendezésben ez milyen mértékben valósítható meg.

Tározó mérete [m ³]	Kapacitásbővítés változatok			
	0,52 MW	0,52 + 0,27 MW	0,52 + 0,45 MW	0,52 + 1,04 MW
3000 m ³	157086,7	171664,9	179143,2	188941,4
4000 m ³	-	-	179187,6	189688,5
5000 m ³	-	-	-	189847,4

13. táblázat: Éves bevételek [€]

Tározó mérete [m ³]	Kapacitásbővítés változatok			
	0,52 MW	0,52 + 0,27 MW	0,52 + 0,45 MW	0,52 + 1,04 MW
3000 m ³	43,94	48,04	50,11	52,95
4000 m ³	-	-	50,12	53,17
5000 m ³	-	-	-	53,22

14. táblázat: Villamos energiatermelés egységbevétele [€/MWh]

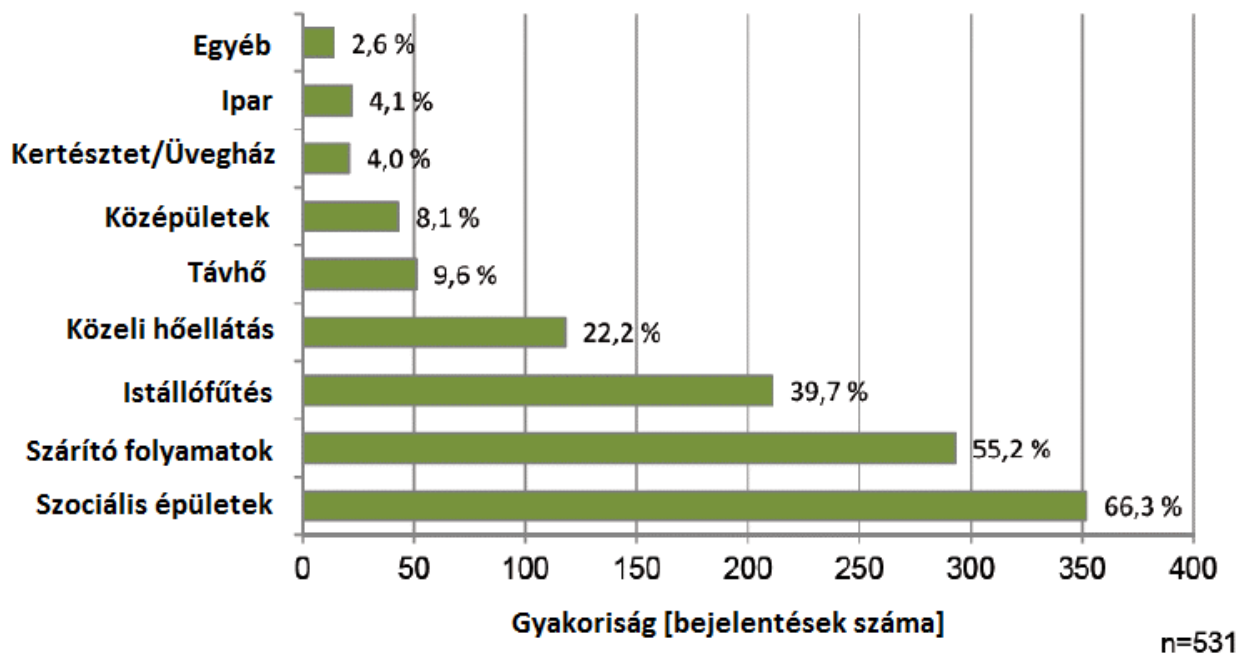
Összehasonlításképp egy zsinór termelés egységbevétele (HUPX átlagár) 40,48 €/MWh.

A 13. táblázat vastagon szedett eredménye mutatja a meglévő biogáz erőmű (524 kW, 3000 m³-es tározó) várható bevételeit. Ilyen méretű biogáz erőművek villamos energiakereskedésből (KÁT értékesítésből) származó bevétele 250000 - 350000 € [8] között alakult 2014-ben. A számítások alapján a KÁT-ból kikerülve jelentősen kevesebb bevételre számíthatnak a biogáz telepek. További gázmotor telepítésével a magasabb bevételeket érhetünk el. Egy ilyen beruházás megtérülését a 0. fejezetben mutatom be.

4.2 Hőértékesítés bevételei

Mind a KÁT-ban termelő, mind a szabadpiacon értékesítő biogáz erőművek összhatásfokának növelése érdekében fontos szempont, hogy a villamos energia értékesítése mellett a gázmotor hulladékhője is - a lehetőségekhez mérten maximálisan - felhasználásra kerüljön. A biogáz ellátás technológiai hőigénye a fermentorok fűtését jelenti. Ez a kapcsoltan termelt hő 20 - 30%-át teszi ki, és a hőértékesítésbe nem számítható bele, hiszen a technológia fenntartásához szükséges. A magyar biogáz telepek döntő többségénél nem került kiépítésre ezen hő önfogyasztáson kívül más, külső hőhasznosítás. Azon kisszámú üzem esetében, ahol a biogáz üzemek meglétéből és működtetéséből származó további előnyöket (hőhasznosítás az állattartó telepen, szilárd fermentum alomként történő használata) is kihasználnak, ott sem minden esetben veszik figyelembe ennek gazdasági hatásait. A hőátadás „ingyen” történik, a megtakarítás az állattartó telep

költségcsökkenésénél jelentkezik. [19] Egy Németországban elvégzett felmérés alapján a megkérdezett biogáz üzemek a következő gyakorisággal hasznosították a hulladékhőt:



28. ábra: Hulladékhő külső hasznosítása [11]

A fűtési célú hőhasznosításnak hasonló szezonális terhelési görbéje és tartamdiagramja van, mint a fermentor hőfelhasználásnak. A szárító folyamatok lehetnek állandó teljesítmény igényűek (fermentációs maradék, faipari termékek, tejtermékek, sörgyártás, gombatermesztés) és szezonálisak is (gyümölcsök, gyógynövények). [11]

Termény	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Magvas termény												
Szénaszárítás												
Gabonafélék/Repce												
Kukorica												
Gyógynövények												
Gyümölcsök												
Gombák												
Zöldségek												
Sörgyártás												
Tejtermékek												
Tüzifa												
Nyesedék												
Pellet												
Szennyvíziszap												
Erjesztési maradék												

29. ábra: Szárítás hőigényének szezonális változása különböző terményekre [11]

Ezek alapján minden létesítendő vagy már megépült biogáz telepnél külön kell megvizsgálni a hőhasznosítás lehetőségeit. Ha egy szárító üzem, vagy földgázzal fűtött épület hőszükséglete kerül kiváltásra, akkor költség megtakarítást jelent a kiváltott földgáz. A távhő hálózatban való értékesítés bevételt hozhat a biogáz üzem részére. A távhőértékesítés lehetséges bevétele megbecsülhető az üzem által termelt biogáz mennyiségéből. A Kisalföldi Mezőgazdasági Kft. tulajdonában lévő biogáz üzem óránként 250 m³ biogázt termel 16 MJ/Nm³ fűtőértékkel. Ez évente 2190000 m³ biogázt jelent. Ezen kívül a motor éves átlagos hatásfokát is becsülnöm kell. A Jembacher motor maximális hatásfoka 37%-ra adódik, 36,8%-ra veszem fel, hogy alulról becsüljem a bevételeket. Így az évente megtermelt biogázból 12.894.720 MJ villamos energiát állítunk elő. A motor felső üzemi tartományában hozzávetőlegesen 8%-kal több hőenergiát ad le a motor, mint villamos energiát. 7%-kal számolva 13.797.350 MJ hőenergiát termel a motor egy év alatt. Feltételezem, hogy a fermentor fűtésére átlagosan a motor által termelt hőmennyiség 30%-a fordítódik és távhő hálózat mindig átveszi a maradék hőmennyiséget. A hőértékesítés bevétele rendeletben [16] szabályozott, 2200-3600 Ft/GJ érték között változik. 3000 Ft/GJ értékkel számolva a hőértékesítés éves bevétele 28,97 Mft-ra adódik, ez 308,66 Ft/€ árfolyamon számolva 93.872 € bevételt jelent. Összehasonlítva a villamos energiaértékesítés várható 160.000 € körüli bevételével, indokolt a hulladék hő minél magasabb fokú hasznosítása.

4.3 Kapacitásbővítés költségei

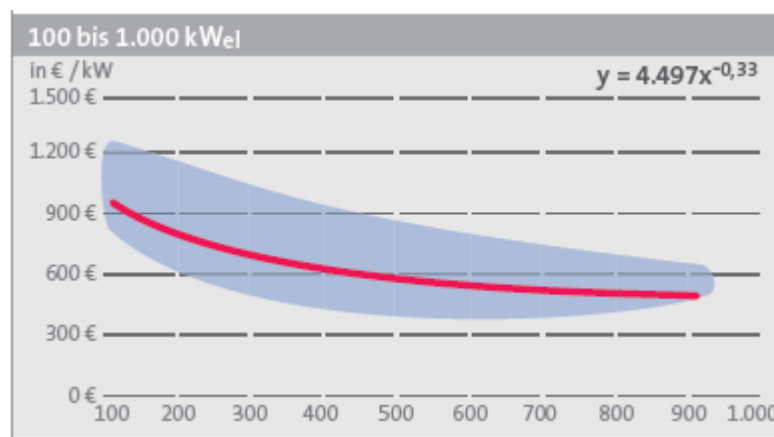
A kapacitásbővítéssel járó költségek négy részre oszthatóak fel.

- Tőkeköltségek
- Önfogyasztás költségei
- Üzemeltetési költségek
- Egyéb költségek

4.3.1 Tőkeköltségek

Gázmotor bővítés: Az alábbi egységköltség diagram egy német biogáz tanulmányban [2] található és szennyvízgázra értékesített gázmotorokra vonatkozik. Az ábrán található képletet úgy módosítottam, hogy a Biostrom - Steuerbare Stromezeugung [11] beszámolóban megadott gázmotor bekerülési költségeket adja ki (minimális különbség van a két képet között, az eredeti szennyvízgázzal üzemelő motorokra vonatkozik, a másik biogázzal üzemelőkre). Ezek alapján a következő képlettel számoltam:

$$y = 4413x^{-0,33}$$



30. ábra: szennyvízgáz motorok bekerülési költség görbéje [2]

Gáztározó bővítés: Németországban kért árajánlatok egy 2000 m³-es tározóra 80800 €-ra és egy 6000 m³-es tározóra 115 540 €-ra szólnak. [11] Ennek alapján a következő táblázat szerint vettem fel, a modellezett tároló bővítések tőkeköltségét:

Tároló mérete [m ³]	Tőkeköltség [€]
1000	65000
2000	80800
6000	115 540

15. táblázat: Biogáz tározók bekerülési költsége

Gáztározó szint mérés: 3 gumimérő, elektronikával és beszereléssel, egy ajánlat alapján 10.000 € [11]

Gázvezeték / előkészítés: gázvezetékek, valamint a beépített gázmotor teljesítményéhez igazodó aktív szén szűrő és szárító. 85 €/kW [11]

Irányítástechnika: a piacon való működéshez igazítva (méréstechnika beépítése és menetrendmegadás). Egy ajánlat alapján 10.000 €. [11]

Transzformátor / Hálózat: Trafóteljesítmény és hálózatbővítés költségei 80 €/kW beépített gázmotor teljesítmény. [11]

Kiegészítő hőtároló: hőtároló költségekkel nem számoltam.

4.3.2 Önfogyasztás

Gázmotor önfogyasztás: Segédberendezések és indítások villamos energia felhasználása. A gázmotorok bruttó villamos energia termeléséhez viszonyítva 3 - 4 %-ot tesz ki. Én 3 %-kal számoltam és feltételeztem, hogy az önfogyasztást nem külön vásároljuk meg, hanem a hálózatra a villamos energia termelés önfogyasztással csökkentett része kerül betáplálásra. A gazdasági számításban nem jelenik meg, a modellben már külön figyelembe vettem.

Gáztározó önfogyasztás: a táml levegő befúváshoz 3000 óra/éves üzemidőt vettem fel. A tározóban lévő biogáz mennyisége folyamatosan változik, ezzel együtt nő vagy csökken a belső membrán mérete. A táml levegőt a külső tározó fal és a membrán közé kell bejuttatni (vagy éppen elszívni), hogy a tározó külső felülete mindig megfelelő nyomás alatt legyen, így elbírja a szél, esetleg hóterhelést.

Hőtározó: keringető szivattyú fogyasztása. Ezzel nem számoltam, mivel nem tartom indokoltnak hőtározó beépítését.

4.3.3 Üzemeltetési költségek

Gázmotor karbantartási költségek: ezeket a költségeket az optimalizáló modellben figyelembe vettem. Ott iparági konzultáció alapján 4,04 €/üzemórával számolok.

Gáztározó karbantartási költségek: a tározó tőkeköltségének 3%-a lett évente figyelembe véve.

Gázvezeték / előkészítés: az aktív szén szűrő karbantartására a tőkeköltsége 1% lett évente figyelembe véve.

Irányítástechnika: karbantartására a tőkeköltsége 1% lett évente figyelembe véve.

Trafó és hálózat: karbantartására a tőkeköltsége 1% lett évente figyelembe véve.

Órabér: a karbantartó cég ráfordításainak 10% növekedése lett figyelembe véve. (6 óra/nap egy 500kW-os biogáz erőműnél, 4000 Ft-os bruttó órabérrel számolva).

4.3.4 Egyéb költségek

Tervezés: az átépítések terveinek elkészítésére 40.000 €-t vettem figyelembe.

Engedélyezettetés: a szükséges engedélyek beszerzésére 8.000 €-t vettem figyelembe

Szakkvélemény: 3500 €

Biztosítás: az összes tőkeköltség 0,5 %-át vettem figyelembe.

4.4 Megtérülés számítás

A szabadpiaci értékesítés bevételeit, a jelenlegi állapothoz (0,52 MW-os gázmotor és 3000 m³-es gáztározó) mint referencia pontoz képest számítottam ki. Ennek alapján a következő többletbevételek adódnak:

Tározó mérete [m ³]	Kapacitásbővítés változatok			
	0,52 MW	0,52 + 0,27 MW	0,52 + 0,45 MW	0,52 + 1,04 MW
3000 m ³	0,00	9406,93	20513,17	42944,48
4000 m ³	-	-	20585,85	43707,78
5000 m ³	-	-	-	43793,95

16. táblázat: Gázmotor és tározó bővítések eredményezte többlet bevétel

A bevételeket és a bővítéssel járó költségeket a következő táblázatokban vettem össze. A következő tíz évre vizsgáltam meg a megtérülést.

Az éves leírási költséget a következő képlet alapján számoltam:

$$C_l = B \cdot \alpha_l = B \cdot \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$$

Ahol: B, tőkeköltség
 α_l leírási tényező,
n, évek száma (kamatlábidó) 10 év.
p, reálkamatláb, 2%

Az idő múlását figyelembe véve, felkamatolást alkalmaztam a következő képlet szerint:

$$FV = V \cdot (1 + p)^n$$

Ahol: FV, jövőbeli érték,
n, évek száma (kamatlábidó), 10 év
V, kezdő pénzösszeg,
p, éves infláció, 2 %

Például egy 262 kW-os bővítés, gáztározó kapacitásbővítés nélkül a következő eredményeket adja:

Év		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tőkeköltségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor bővítés	298206,30	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27	33198,27
gáztároló bővítés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
töltöttségi szint mérés	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
gázvezetékek / előkészítés	22270,00	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24	2479,24
irányítástechnika	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
Trafó/hálózatbővítés	20960,00	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40	2333,40
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	361436,30	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45	40237,45
Önfogyasztás	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor 2.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
gáztároló	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
Üzemeltetési költségek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor	33144,16	33807,04	34483,18	35172,85	35876,30	36593,83	37325,71	38072,22	38833,67	39610,34	40402,55
gáztároló	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
gázvezetékek / előkészítés	222,70	227,15	231,70	236,33	241,06	245,88	250,80	255,81	260,93	266,15	271,47
irányítástechnika	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Trafó/hálózatbővítés	209,60	213,79	218,07	222,43	226,88	231,42	236,04	240,76	245,58	250,49	255,50
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
órabér	2847,00	2903,94	2962,02	3021,26	3081,68	3143,32	3206,18	3270,31	3335,71	3402,43	3470,48
Összesen	3056,60	3117,73	3180,09	3243,69	3308,56	3374,73	3442,23	3511,07	3581,29	3652,92	3725,98
Egyéb költségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Tervezés	40000,00	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06
Engedélyeztetés	8000,00	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61
Szakvélemény (környezetvédelmi)	3500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Biztosítás	1807,18	1843,33	1880,19	1917,80	1956,15	1995,27	2035,18	2075,88	2117,40	2159,75	2202,94
Összesen	53307,18	3123,58	3160,45	3198,05	3236,41	3275,53	3315,43	3356,14	3397,66	3440,00	3483,20
Kiadások összesen		46620,54	46722,60	46826,69	46932,87	47041,18	47151,65	47264,33	47379,26	47496,49	47616,07
Bevételek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Szabadpiaci értékesítésből	14 578,13	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69	14869,69
Bevételek - Kiadások	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Összesen		-31750,85	-31852,91	-31957,01	-32063,19	-32171,49	-32281,96	-32394,64	-32509,57	-32626,80	-32746,38
Hozam		-0,6810	-0,6817	-0,6825	-0,6832	-0,6839	-0,6846	-0,6854	-0,6862	-0,6869	-0,6877
Szabadpiaci átállás egységköltsége [€/kWh]		0,0131	0,0131	0,0132	0,0132	0,0132	0,0133	0,0133	0,0133	0,0134	0,0134

31. ábra: Megtérülés számítás: +262 kW gázmotor kapacitás, +0 m3 tározó

További megtérülés számításokat a függelék tartalmazza (Megtérülés számítások). Mindegyik számításból az derül ki, hogy a kapacitásbővítés nem megtérülő pénzügyi befektetés, ha csak szabad piacon történő villamos energia értékesítésből várjuk a bevételeinket. A korábbi fejezetekben láthattuk, hogy a hőértékesítés jelentős bevétel növekedést hozhat, ezért az adott biogáz telepen érdemes megvizsgálni, hogy a hőértékesítés milyen formában oldható meg meglévő épületekhez vagy esetleg milyen ipari tevékenység építhető ki a rendelkezésre álló hőre.

Egy ilyen bővítés már a METÁR rendszerben valósulna meg, ahol egy prémium rendszerben kaphatnának támogatást a már megépült erőművek. A modell eredményeiből látszik, hogy a biomasszára és biogázra érvényes piaci referencia árhoz (HUPX havi átlagár) képest 5 - 15 €/MWh-val magasabb áron tudna bővítés után a biogáz erőmű villamos energiát értékesíteni. A már meglévő biogáz erőművek üzemben tartására egy barna prémium várható. Ez a prémium fedezné a már meglévő erőművek többlet (üzemanyag) költségeit, ha a fosszilis tüzelőanyagon alapuló termelés támogatás hiányában a biomassza vagy biogáz alapú termelésnél előnyösebb lenne, vagy ha üzemben tartásuk csak piaci körülmények mellett nem lenne gazdaságos. [22]

5 Összefoglalás

Bemutattam, hogy milyen technológiák léteznek különböző paraméterű biomassza alapanyagok energetikai hasznosítására és ezek műszaki megoldásait és a technológia érettségét. Ezen megoldások között elhelyeztem a biogáz technológiát és részletesen bemutattam a biogáz hasznosításnak gázmotoros lehetőségét.

A részletesen elemeztem biogáz üzem modelljét, kitérve a menetrendet és az ebből a számolt bevételt befolyásoló paraméterekre. A Mixed-Integer Linear Programming matematikai módszer keretein belül korlátokkal kényszerítettem ki, hogy az optimalizáció egy biogáz üzemmel ténylegesen megvalósítható menetrendet eredményezzem. Ez magában foglalja a motor üzemállapot, gázfáklya üzemállapot, tározó minimum és maximum, a motorindítások és a kokszolós üzem figyelését és korlátozását. Paramétervizsgálatokkal teszteltem a modell felbontásának (a lehetséges üzemállapotok számának), a tározó kezdeti értékének és méretének, valamint a szimuláció hosszának hatását a szabadpiacon elérhető bevételekre.

Megvizsgáltam, hogy a szabadpiacon többletbevételt hozó gázmotor és gáztározó bővítéseknek, milyen hatása van a fermentor üzemére és hogy szükséges-e egy hőtároló a fermentációs folyamatok hőszükségletének biztosítására. A számítások és iparági konzultáció azt mutatja, hogy a kapacitásnövelésből adódó hosszabb leállások nem veszélyeztetik a fermentor üzemét.

A KÁT-ból kikerülő biogáz erőműveknek jelentősen csökkeni fog a bevétele, ha azt csak a szabad piacon kell megtermelniük. Paramétervizsgálat alapján, olyan gázmotor és tározó kapacitás bővítések variációira futtattam éves optimalizációt, amelyek a jelenlegi gázmotor és gáztározó kapacitáshoz képest többletbevételhez vezetnek. Megjegyzendő, hogy nem éves optimumot számoltam, hanem naponként optimalizált bevételeket adtam össze egy évre. Megtérülés számítással elemeztem, hogy a bővítés költségei megtérülnek-e a bővítésből adódó többletbevételekből. Ez minden esetben nem megtérülő befektetést mutatott, a csak szabadpiacra történő értékesítés nem fedezi egyik esetben sem a beruházási költségeket.

Továbbá becslést adtam a biogáz üzem hőértékesítéssel szereshető bevételeire. Ennek a szabadpiaci értékesítéshez viszonyított aránya igen magas, ezért javasolt a KÁT-ból kikerülő biogáz üzemeknél a hőértékesítés kiépítésének lehetőségét is megvizsgálni.

6 Kitekintés

Az intlinprog szolver pontossága szerintem kielégítő, viszont a futási ideje bizonyos áraknál jelentősen megnő. Érdemes lenne a továbbiakban más szolverekhez is megfogalmazni a biogáz üzemek korlátait, akár a MatLab-on beépített szolverekkel (linprog, fminsearch, fmincon), akár más szolverekkel (Gurobi).

Egy gyorsabban futó szolverrel, vagy egy egyszerűsített modellel érdemes lenne megvizsgálni a hosszú távú menetredezés hatásait (heti, havi optimum).

Annak a vizsgálata is érdekes lehet, hogy a biogáz motorokat milyen feltételekkel lehetne bevonni szekunder szabályozásba.

7 Irodalomjegyzék

- [1] Agrowatt, K. S. (2016. 03 15). Forrás: <http://www.agrowatt.eu/>
- [2] ASUE. (2015). BHKW- Kenndaten 2014/2015. Essen: energieDRUCK.
- [3] Bassam, N. E. (2010). Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London: Earthscan.
- [4] Basu, P. (2006). Combustion and Gasification in Fluidized Beds.
- [5] Bridgwater, T. (2009). Pyrolysis of biomass. Hamburg.
- [6] Dr Zsebik, A. (2007). Gázmotorok jövedelmezősége, megtérülése.
- [7] E. Dinjus, T. K. (2009). State of the art of the bioliq BTL process.
- [8] E-beszámoló. (2016). Forrás: <http://e-beszamolo.im.gov.hu/oldal/kezdolap>
- [9] Gardmark, L. (dátum nélk.). Pressurized Biomass Gasification at VVBGC. Varnamo, Sweden.
- [10]Guascor. (dátum nélk.).
- [11]Häring, G. (2014). Schlussbericht: Bio Strom - Steuerbare Stromerzeugung. Ingolstadt.
- [12]J. Born, H. S. (2010). Multifunctional Anaerobic Baffled Reactor. Lyon.
- [13]Lovas Rezső, B. G. (2010). Megújuló energiák hasznosítása. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia.
- [14]M. Brandenberger, J. M. (2010). Techno-economic analysis of the hydrothermal conversion of algae to Bio-Methane.
- [15]MEKH. (2016. 01 01). MEKH Kötelező Átvételi Rendszer. Forrás: <http://www.mekh.hu/kotelezo-atveteli-rendszer-villamos-energia>
- [16]NFM. (2011. 9 30). Net.Jogtar. Forrás: http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1100050.NFM
- [17]Ósz János, S. C. (2012). Bioenergia, Megújuló energiaforrások jegyzet. Budapest.
- [18]Kormányrendelet. (2007). 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet. Budapest.
- [19]Vidékfejlesztési Minisztérium (2014). Biogáz Ország Tanulmány.
- [20]Vreugdenhil, B. (2010). Preparations for a 10 MWth Bio CHP Plant.
- [21]Mavir Kereskedelmi Szabályzat. Forrás: <https://www.mavir.hu/web/mavir/kereskedelmi-szabalyzat>
- [22]Kormányrendelet (2016). 165/2016 (VI. 23.)

F1 Biomassza erőművek Magyarországon

Hazánkban Kazincbarcikán faapríték-tüzelésű elavult 30 MW-os, Szakolyban új 20 MW-os kondenzációs blokk csak villamos energiát állít elő. Az oroszlányi erőmű 60 MW-os 2. blokkja, a mátrai erőmű 215 MW-os blokkja kiegészítő tüzeléssel biomasszát tüzelnek. Pécssett 50 MW-os kondenzációs fűtőblokk a városfűtés, Ajkán 20 MW-os ellennyomású fűtőblokk a MAL gőzigényét elégíti ki kapcsoltan termelt villamos energia mellett. Több kisváros távhőrendszerében (pl. Szombathely (7 MWth)), máshol 1-5 MWth hőteljesítményű) faapríték-tüzelésű forróvíz-kazán üzemel. Néhány hazai telephelyen már előállítanak bio-brikettet és bio-pelletet, de egyelőre főleg ausztriai importra.

F2 Megtérülés számítások

Év		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tőkeköltségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor bővítés	428457,09	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64
gáztároló bővítés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
töltöttégi szint mérés	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
gázvezetékek / előkészítés	38250,00	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24
irányítástechnika	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
Trafó/hálózatbővítés	36000,00	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	522707,09	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16	58191,16
Önfogyasztás	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor 2.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
gáztároló	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
Üzemeltetési költségek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor	29516,24	30106,56	30708,70	31322,87	31949,33	32588,31	33240,08	33904,88	34582,98	35274,64	35980,13
gáztároló	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
gázvezetékek / előkészítés	382,50	390,15	397,95	405,91	414,03	422,31	430,76	439,37	448,16	457,12	466,27
irányítástechnika	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Trafó/hálózatbővítés	360,00	367,20	374,54	382,03	389,68	397,47	405,42	413,53	421,80	430,23	438,84
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
órabér	2847,00	2903,94	2962,02	3021,26	3081,68	3143,32	3206,18	3270,31	3335,71	3402,43	3470,48
Összesen	3207,00	3271,14	3336,56	3403,29	3471,36	3540,79	3611,60	3683,83	3757,51	3832,66	3909,32
Egyéb költségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Tervezés	40000,00	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06
Engedélyeztetés	8000,00	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61
Szakvélemény (környezetvédelmi)	3500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Biztosítás	2613,54	2665,81	2719,12	2773,50	2828,97	2885,55	2943,27	3002,13	3062,17	3123,42	3185,89
Összesen	54113,54	3946,06	3999,38	4053,76	4109,23	4165,81	4223,52	4282,39	4342,43	4403,67	4466,14
Kiadások összesen		65550,15	65671,72	65795,73	65922,21	66051,23	66182,82	66317,05	66453,97	66593,62	66736,06
Bevételek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Szabadpiaci értékesítésből	22 056,45	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57	22497,57
Bevételek - Kiadások	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Összesen		-43052,57	-43174,15	-43298,15	-43424,64	-43553,65	-43685,25	-43819,48	-43956,39	-44096,04	-44238,49
Hozam		-0,6568	-0,6574	-0,6581	-0,6587	-0,6594	-0,6601	-0,6608	-0,6615	-0,6622	-0,6629
Szabadpiaci áttállás egységköltsége [€/kWh]		0,0184	0,0185	0,0185	0,0185	0,0186	0,0186	0,0186	0,0187	0,0187	0,0188

32. ábra: Megtérülés számítás: +450 kW gázmotor, +0 m³ tározó

Megtérülés számítások

Év		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tőkeköltések	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor bővítés	428457,09	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64	47698,64
gáztároló bővítés	65000,00	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22
töltöttségi szint mérés	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
gázvezetékek / előkészítés	38250,00	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24	4258,24
irányítástechnika	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
Trafó/hálózatbővítés	36000,00	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76	4007,76
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	587707,09	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39	65427,39
Önfogyasztás	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor 2.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
gáztároló	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
Üzemeltetési költségek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor	29487,96	30077,72	30679,27	31292,86	31918,72	32557,09	33208,23	33872,40	34549,84	35240,84	35945,66
gáztároló	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
gázvezetékek / előkészítés	382,50	390,15	397,95	405,91	414,03	422,31	430,76	439,37	448,16	457,12	466,27
irányítástechnika	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Trafó/hálózatbővítés	360,00	367,20	374,54	382,03	389,68	397,47	405,42	413,53	421,80	430,23	438,84
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
órabér	2847,00	2903,94	2962,02	3021,26	3081,68	3143,32	3206,18	3270,31	3335,71	3402,43	3470,48
Összesen	3207,00	3271,14	3336,56	3403,29	3471,36	3540,79	3611,60	3683,83	3757,51	3832,66	3909,32
Egyéb költségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Tervezés	40000,00	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06
Engedélyeztetés	8000,00	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61
Szakvélemény (környezetvédelmi)	3500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Biztosítás	2938,54	2997,31	3057,25	3118,40	3180,77	3244,38	3309,27	3375,45	3442,96	3511,82	3582,06
Összesen	54438,54	4277,56	4337,51	4398,65	4461,02	4524,64	4589,52	4655,71	4723,22	4792,08	4862,31
Kiadások összesen		73117,87	73246,07	73376,84	73510,23	73646,28	73785,05	73926,60	74070,98	74218,25	74368,46
Bevételek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Szabadpiaci értékesítésből	22 100,85	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87	22542,87
Bevételek - Kiadások	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Összesen		-50575,00	-50703,20	-50833,97	-50967,36	-51103,41	-51242,18	-51383,73	-51528,11	-51675,38	-51825,59
Hozam		-0,6917	-0,6922	-0,6928	-0,6933	-0,6939	-0,6945	-0,6951	-0,6957	-0,6963	-0,6969
Szabadpiaci áttállás egységköltsége [€/kWh]		0,0206	0,0206	0,0206	0,0207	0,0207	0,0207	0,0208	0,0208	0,0209	0,0209

33. ábra: Megtérülés számítás: +450 kW gázmotor, +1000m³ tározó

Megtérülés számítások

Év		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tőkeköltések	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor bővítés	754913,17	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86
gáztároló bővítés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
töltöttségi szint mérés	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
gázvezetékek / előkészítés	89080,00	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97
irányítástechnika	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
Trafó/hálózatbővítés	83840,00	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	947833,17	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98	105518,98
Önfogyasztás	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor 2.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
gáztároló	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
Üzemeltetési költségek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor	16883,16	17220,82	17565,24	17916,54	18274,88	18640,37	19013,18	19393,44	19781,31	20176,94	20580,48
gáztároló	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
gázvezetékek / előkészítés	890,80	908,62	926,79	945,32	964,23	983,52	1003,19	1023,25	1043,71	1064,59	1085,88
irányítástechnika	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Trafó/hálózatbővítés	838,40	855,17	872,27	889,72	907,51	925,66	944,17	963,06	982,32	1001,97	1022,00
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
órabér	2847,00	2903,94	2962,02	3021,26	3081,68	3143,32	3206,18	3270,31	3335,71	3402,43	3470,48
Összesen	3685,40	3759,11	3834,29	3910,98	3989,20	4068,98	4150,36	4233,37	4318,03	4404,39	4492,48
Egyéb költségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Tervezés	40000,00	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06
Engedélyeztetés	8000,00	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61
Szakvélemény (környezetvédelmi)	3500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Biztosítás	4739,17	4833,95	4930,63	5029,24	5129,83	5232,42	5337,07	5443,81	5552,69	5663,74	5777,02
Összesen	56239,17	6114,20	6210,88	6309,50	6410,08	6512,68	6617,33	6724,07	6832,94	6944,00	7057,27
Kiadások összesen		115534,07	115708,77	115886,96	116068,71	116254,10	116443,20	116636,08	116832,81	117033,49	117238,17
Bevételek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Szabadpiaci értékesítésből	31 854,68	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77	32491,77
Bevételek - Kiadások	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Összesen		-83042,29	-83216,99	-83395,18	-83576,94	-83762,33	-83951,42	-84144,30	-84341,04	-84541,71	-84746,40
Hozam		-0,7188	-0,7192	-0,7196	-0,7201	-0,7205	-0,7210	-0,7214	-0,7219	-0,7224	-0,7229
Szabadpiaci átállás egységköltsége [€/kWh]		0,0325	0,0325	0,0326	0,0326	0,0327	0,0327	0,0328	0,0329	0,0329	0,0330

34. ábra: Megtérülés számítás: + 1048 kW bázmotor, +0 m³ tározó

Megtérülés számítások

Év		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tőkeköltések	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor bővítés	754913,17	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86
gáztároló bővítés	65000,00	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22	7236,22
töltöttségi szint mérés	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
gázvezetékek / előkészítés	89080,00	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97
irányítástechnika	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
Trafó/hálózatbővítés	83840,00	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	1012833,17	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20	112755,20
Önfogyasztás	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor 2.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
gáztároló	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
Üzemeltetési költségek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor	16867	17204,34	17548,43	17899,40	18257,38	18622,53	18994,98	19374,88	19762,38	20157,63	20560,78
gáztároló	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
gázvezetékek / előkészítés	890,80	908,62	926,79	945,32	964,23	983,52	1003,19	1023,25	1043,71	1064,59	1085,88
irányítástechnika	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Trafó/hálózatbővítés	838,40	855,17	872,27	889,72	907,51	925,66	944,17	963,06	982,32	1001,97	1022,00
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
órabér	2847,00	2903,94	2962,02	3021,26	3081,68	3143,32	3206,18	3270,31	3335,71	3402,43	3470,48
Összesen	3685,40	3759,11	3834,29	3910,98	3989,20	4068,98	4150,36	4233,37	4318,03	4404,39	4492,48
Egyéb költségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Tervezés	40000,00	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06
Engedélyeztetés	8000,00	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61
Szakvélemény (környezetvédelmi)	3500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Biztosítás	5064,17	5165,45	5268,76	5374,13	5481,62	5591,25	5703,07	5817,13	5933,48	6052,15	6173,19
Összesen	56564,17	6445,70	6549,01	6654,39	6761,87	6871,50	6983,33	7097,39	7213,73	7332,40	7453,45
Kiadások összesen		123101,79	123283,12	123468,07	123656,73	123849,15	124045,42	124245,62	124449,83	124658,11	124870,57
Bevételek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Szabadpiaci értékesítésből	32 601,82	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85	33253,85
Bevételek - Kiadások	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Összesen		-89847,94	-90029,27	-90214,22	-90402,87	-90595,30	-90791,57	-90991,77	-91195,97	-91404,26	-91616,71
Hozam		-0,7299	-0,7303	-0,7307	-0,7311	-0,7315	-0,7319	-0,7324	-0,7328	-0,7332	-0,7337
Szabadpiaci áttállítás egységköltsége [€/kWh]		0,0346	0,0347	0,0347	0,0348	0,0348	0,0349	0,0349	0,0350	0,0351	0,0351

35. ábra: Megtérülés számítás: +1048 kW gázmotor, +1000m³ tározó

Megtérülés számítások

Év		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tőkeköltések	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor bővítés	754913,17	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86	84041,86
gáztároló bővítés	80800,00	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18	8995,18
töltöttségi szint mérés	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
gázvezetékek / előkészítés	89080,00	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97	9916,97
irányítástechnika	10000,00	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27	1113,27
Trafó/hálózatbővítés	83840,00	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62	9333,62
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	1028633,17	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16	114514,16
Önfogyasztás	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor 2.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
gáztároló	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesen	139,00	141,78	144,62	147,51	150,46	153,47	156,54	159,67	162,86	166,12	169,44
Üzemeltetési költségek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
gázmotor	16939,72	17278,51	17624,08	17976,57	18336,10	18702,82	19076,88	19458,41	19847,58	20244,53	20649,42
gáztároló	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
gázvezetékek / előkészítés	890,80	908,62	926,79	945,32	964,23	983,52	1003,19	1023,25	1043,71	1064,59	1085,88
irányítástechnika	300,00	306,00	312,12	318,36	324,73	331,22	337,85	344,61	351,50	358,53	365,70
Trafó/hálózatbővítés	838,40	855,17	872,27	889,72	907,51	925,66	944,17	963,06	982,32	1001,97	1022,00
hőtároló	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
órabér	2847,00	2903,94	2962,02	3021,26	3081,68	3143,32	3206,18	3270,31	3335,71	3402,43	3470,48
Összesen	3685,40	3759,11	3834,29	3910,98	3989,20	4068,98	4150,36	4233,37	4318,03	4404,39	4492,48
Egyéb költségek	€	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Tervezés	40000,00	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06	4453,06
Engedélyeztetés	8000,00	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61	890,61
Szakvélemény (környezetvédelmi)	3500,00	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64	389,64
Biztosítás	5143,17	5246,03	5350,95	5457,97	5567,13	5678,47	5792,04	5907,88	6026,04	6146,56	6269,49
Összesen	56643,17	6526,28	6631,20	6738,22	6847,38	6958,73	7072,30	7188,14	7306,29	7426,81	7549,75
Kiadások összesen		124941,33	125124,27	125310,87	125501,20	125695,33	125893,35	126095,33	126301,35	126511,49	126725,83
Bevételek	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Szabadpiaci értékesítésből	32 760,71	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92	33415,92
Bevételek - Kiadások	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év	€/év
Összesen		-91525,41	-91708,35	-91894,95	-92085,28	-92279,41	-92477,43	-92679,41	-92885,43	-93095,57	-93309,91
Hozam		-0,7325	-0,7329	-0,7333	-0,7337	-0,7342	-0,7346	-0,7350	-0,7354	-0,7359	-0,7363
Szabadpiaci átállás egységköltsége [€/kWh]		0,0351	0,0352	0,0352	0,0353	0,0353	0,0354	0,0355	0,0355	0,0356	0,0356

36. ábra: Megtérülés számítás: +1048 kW gázmotor, +2000m³ tározó