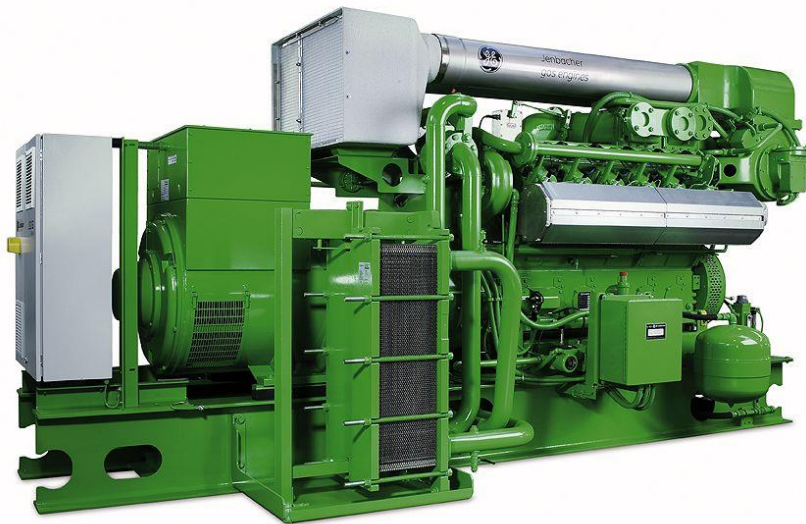


Munkaközegek

Projekt dokumentáció Gázmotorra illesztett ORC körfolyamat



Készítette:

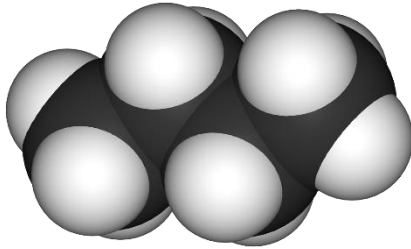
Tóth Lujza

Ciceu Dániel



A feladatunk elvégzése során a butánt választottuk munkaközegünknek, erre végeztük el számításainkat.

Bután:



A butánt 1849-ben fedezte fel Edward Frankland angol kémikus. A tulajdonságait elsőként Edmund Ronalds vizsgálta 1864-ben.

A paraffinok:

A bután a paraffin csoport negyedik tagja. A telített szénhidrogének ezen csoportjának az elnevezése a stabilitásukból ered, ugyanis reakciókészségük kicsi, nehezen lépnek reakcióba és nem polárosodnak. Parum affinis latin eredetű szavakból származik az elnevezés, jelentése kis reakcióképeség. Ezek nyílt szénláncú vegyületek, amelyek lehetnek elágazók és nem elágazók. A paraffin sorozat általános képlete: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.

A háromnál nagyobb szénatomszámú alkánoknál (paraffineknél) fellép az izoméria jelensége. Izomereknek nevezik az olyan vegyületeket, amelyek tapasztalati képlete azonos, de szerkezete különböző. Az ilyen alkánok lehetnek nyílt és elágazó szénláncúak is, bennük vannak olyan szénatomok, amelyekhez három vagy négy másik kapcsolódik. Ilyen molekula a bután is, amely két izomerrel rendelkezik.

Mint már említettük az alkánok nem poláris, vagyis apoláris vegyületek, ezért vízzel nem elegyednek. Egymásban és egyéb szerves oldószerekben jól oldódnak. Tömény szerves savakkal és lúgokkal nem reagálnak. Ellenállóak más erőlyes reagensekkel szemben is. Oxigén hatására elégnak, a keletkező égéstermékek pedig szén-dioxid és víz.

Felhasználása:

A bután nevet gyűjtőfogalomként is használják az n-butánra ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) és az izobutánra, mely az n-bután szerkezeti (konstitúciós) izomerje: ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)_2$). A bután igen gyúlékony, színtelen, könnyen cseppfolyósítható gáz.

A normál butánt általában benzinkeveréshez használják vagy üzemanyag-gázként akár önmagában, akár propánnal elegyedve, valamint etilén és butadién alapanyagaként és a szintetikus gumi egyik legfontosabb összetevője is. Az izobutánt elsősorban finomítók használják a motorbenzin oktánszámának növelésére.

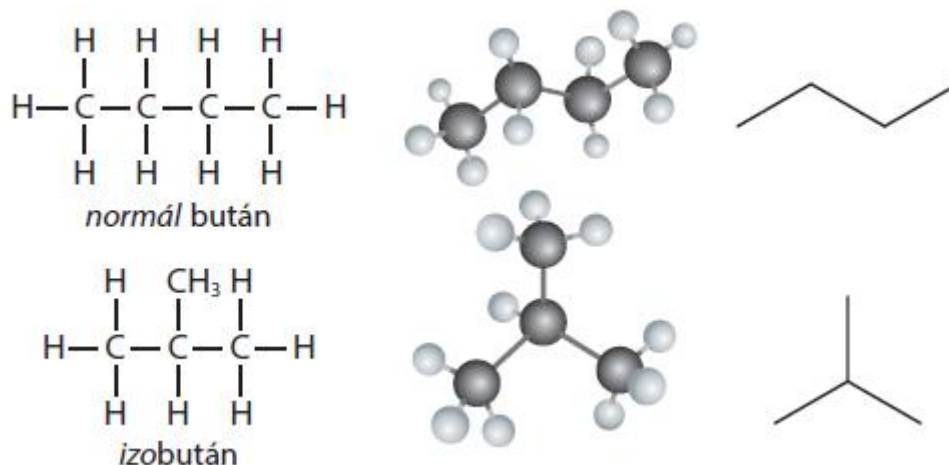
Propánnal és más szénhidrogénekkel keverve a kereskedelmi forgalomban LPG-nek (Liquefied Petroleum Gas) nevezik. Benzinkomponensként használják, cigarettagyújtók üzemanyagaként és aeroszolos spray-kben, például dezodorokban.

A bután nagyon tiszta formái, különösen az izobután, hűtőközegként is használhatók.

A butánt mindennapi üzemanyagként használják közönséges öngyújtóhoz vagy szakácsfáklyához is, palackban értékesítik főzéshez, grillezéshez és kempingkályhák üzemanyagaként.

Fizikai és kémiai tulajdonságok:

A bután nevet gyűjtőfogalomként is használják az n-butánra ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) és az izobutánra, mely az n-bután szerkezeti (konstitúciós) izomerje: ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)_2$). A bután igen gyúlékony, színtelen, könnyen cseppfolyósítható gáz.



Kémiai és fizikai tulajdonságok	
Kémiai képlet	C_4H_{10}
Moláris tömeg	58,12 g/mol
Megjelenés	színtelen gáz
Sűrűség	2,48 kg/m ³ , (gáz (15 °C, 1 atm)) 0,584 g/cm ³ (folyadék)
Olvadáspont	-138,4 °C
Forráspont	-0,5 °C

Solti Biogáz Termelő és Szolgáltató Kft.

A gázmotor a Solti Biogázerőmű telephelyén található.

A Solti Biogázerőmű egy 8 661 m²-es területen elhelyezkedő 637 kWe villamos teljesítményű erőmű. Az erőmű létesítésével a helyben keletkező mezőgazdasági hulladékok kezelésének egy rendkívül hatékony formája valósul meg, amely a kölcsönös előnyökre épülő partneri kapcsolaton keresztül hozzájárul a helyi gazdaságok sikeres működéséhez is. Emellett az erőmű nagyban hozzájárul a környezetvédelmi és hulladékkezelési céljaink megvalósításához, illetve egy élhetőbb környezet kialakításához a helyszínhez közeli területen.

A biogázerőmű szomszédságában található Kossuth Mg. Zrt. fő tevékenységei közé tartozik a sertésenyésztés, valamint a kertészeti növény-, burgonya-, cukorrépa- és kukoricatermesztés. Ez a biogáz üzem telepítéséhez megfelelő kiindulási alapot jelent. A Kossuth Mg. Zrt. telephelyén évi 11000 tonna sertés hígtrágya keletkezik, amelyet a biogáz üzem alapanyagként hasznosít a fermentációs folyamat során, hogy később tápanyagban gazdagabb trágyát biztosítson és visszaszolgáltasson a Kossuth Mg. Zrt.-nek. A mezőgazdasági tevékenység során keletkező hulladékból így hasznos trágya keletkezik, mellyel csökken a gazdaság műtrágya szükséglete is. A sertés trágyán kívül az üzem az egyéb hulladékokat is feldolgozza, mint például a csemegekukorica csuhé, a különféle zöldségszárak, illetve a hibás vagy apró burgonya. A Kossuth Mg. Zrt. hulladékain kívül pedig a környéken keletkező többi biohulladék feldolgozását is elvégzik.

A biogáz üzem évente 2,23 millió m³ biogázt termel. A keletkezett biogázból a gázmotoros kiserőmű közel 4 500 MWh zöldáramot állít elő, melyből önfogyasztás után 4 240 MWh kerül betáplálásra a közcélú hálózatba. Ezenkívül évente körülbelül 4 800 MWh hőenergia is keletkezik, amit a saját fűtésre hasznosítás után a szomszédos létesítmény fűtésére alkalmaznak. Ezen tevékenység által is nagyban hozzájárul az erőmű a környezetvédelmi és energiahatékonysági célok megvalósulásához.

A solti biogáz projekt eredményei összefoglalva éves szinten tehát az alábbiak:

- 2,23 millió m³ biogáz termelés;
- 4 240 MWh zöld villamos-energia értékesítés;
- 4 800 MWh megújuló alapú hőtermelés;
- 22 430 tonna biotrágya termelés és hasznosítás;
- 146 tonna műtrágya kiváltás
- 137 000 m³ földgáz kiváltás
- 13 455 tonna CO₂ egyenértékessel csökkenő emisszió.

Gázmotor

A feladatunk volt a solti biogázerőműben üzemelő GE Jenbacher JMS 312 GS-B LC típusú gázmotorra egy ORC körfolyamot illeszteni. A gázmotor névleges teljesítménye 637 kW. A körfolyamat hőforrása a gázmotorból távozó forró füstgáz. A hidegoldal a mi számításunkban a környezeti levegő volt. A levegő hőmérsékletét számításunk során változtattuk, a tavalyi év havi középhőmérsékleteinek értékeivel vizsgáltuk a körfolyamat hatásfokát.

Adatok

Rendelkezésünkre álltak táblázatos formában a gázmotor adatai, amiből a füstgáz hőmérséklet és a füstgáz térfogatáram volt a meghatározó számunkra. A tömegáramot a térfogatáram és a füstgáz sűrűségének szorzataként kaptuk meg.

JMS 312 GS-B.L Biogas 637kW el.

CO-GEN Module data:		
Electrical output	kW el.	637
Recoverable thermal output (180 °C)	kW	682
Energy input	kW	1.578
Fuel Consumption based on a LHV of 4,5 kWh/Nm ³	Nm ³ /h	351
Electrical efficiency	%	40,3%
Thermal efficiency	%	43,2%
Total efficiency	%	83,6%
Heat to be dissipated (LT-Circuit)	kW	33

Térfogatáram meghatározása:		
Mérési keresztmetszet „Ø”	[m ²]	0,096
Nedvesség tartalom	[mg/m ³]*	94524
Füstgáz átlagos O ₂ tartalma	[tf %]	6,90
Füstgáz átlagos CO ₂ tartalma	[tf %]	11,99
Nedves sűrűség fizikai normál állapotban	[kg/m ³]*	0,49
Száraz sűrűség fizikai normál állapotban	[kg/m ³]*	1,30
Aktuális sűrűség	[kg/m ³]	1,35
Barometrikus nyomás	[mbar]	1022
Gáz hőmérséklete	[C°]	458
Gáz hőmérséklete	[K]	731
Száraz normál állapotra vonatkoztatott térfogatáram	[m ³ /h]*	2398
Száraz normál állapotra vonatkoztatott térfogatáram (15%-os oxigéntartalomra vonatkoztatva)	[m ³ /h]*	5669

* az értékek 273,15 K hőmérsékletre és 101,325 kPa nyomás értékre átszámolva

A füstgáz fajhőjét 1,11 KJ/kgK értékre választottuk. A következő táblázat tartalmazza a főbb jellemzőket:

Füstgáz c_p	1,11	kJ/kgK
Füstgáz maximum hőmérséklet	458	°C
Füstgáz minimum hőmérséklet	150	°C
Füstgáz tömegáram	0,9	kg/s
Füstgáz teljesítmény	307,44	kW
Bután maximum hőmérséklet	130	°C

Számolás

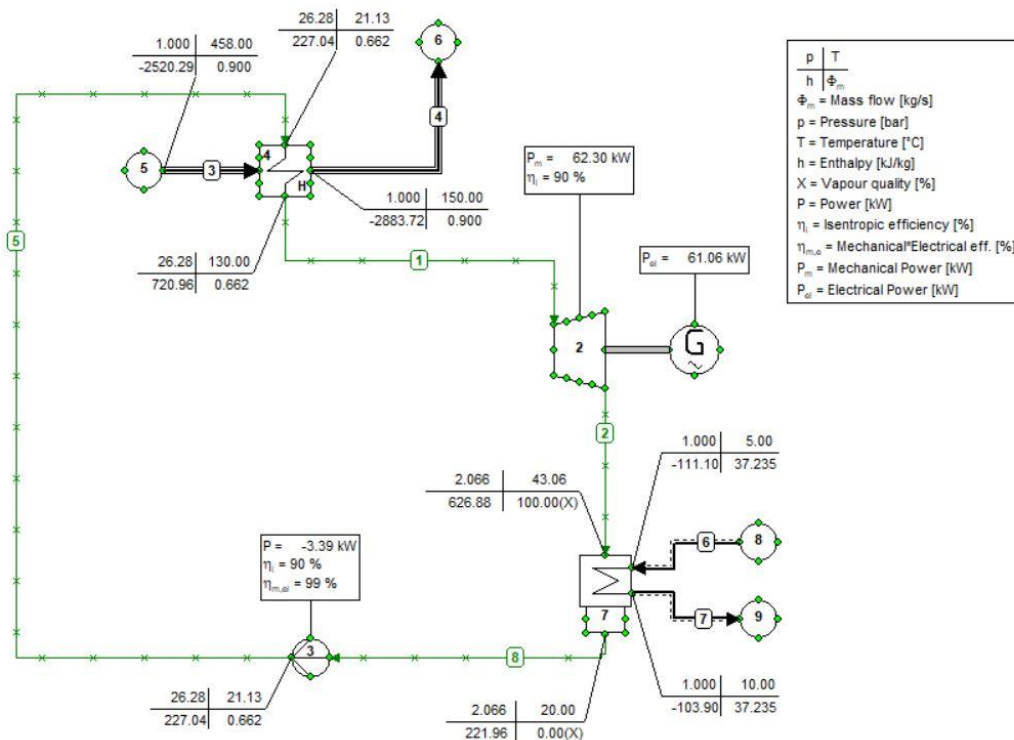


Mivel a tüzelőanyag biogáz, a benne lévő H_2S miatt el kell kerülni a kondenzációt. Ezért a füstgázt $150\text{ }^\circ\text{C}$ -ig lehet visszahűteni. A hőcserélő nem ideális, ezért egy $20\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőfokréssel kalkulálva, a bután maximális hőmérséklete $130\text{ }^\circ\text{C}$. Ez minden vizsgált esetben állandó, mert a füstgáz hőmérséklete állandó az év során. A hidegoldali hőmérséklet azonban folyamatosan változik, ezeket az adatokat tartalmazza a következő táblázat:

Hónap	Átlag hőmérséklet [°C]
január	1,4
február	7,3
március	8,6
április	14,3
május	15,7
június	21
július	23
augusztus	24,1
szeptember	19,2
október	12,7
november	6,6
december	4,7

A kondenzátorban $10\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőfokréssel számoltunk.

A számításokat analitikusan és a Cycle-Tempo segítségével végeztük el. A vizsgált körfolyamat kapcsolása a következő volt:

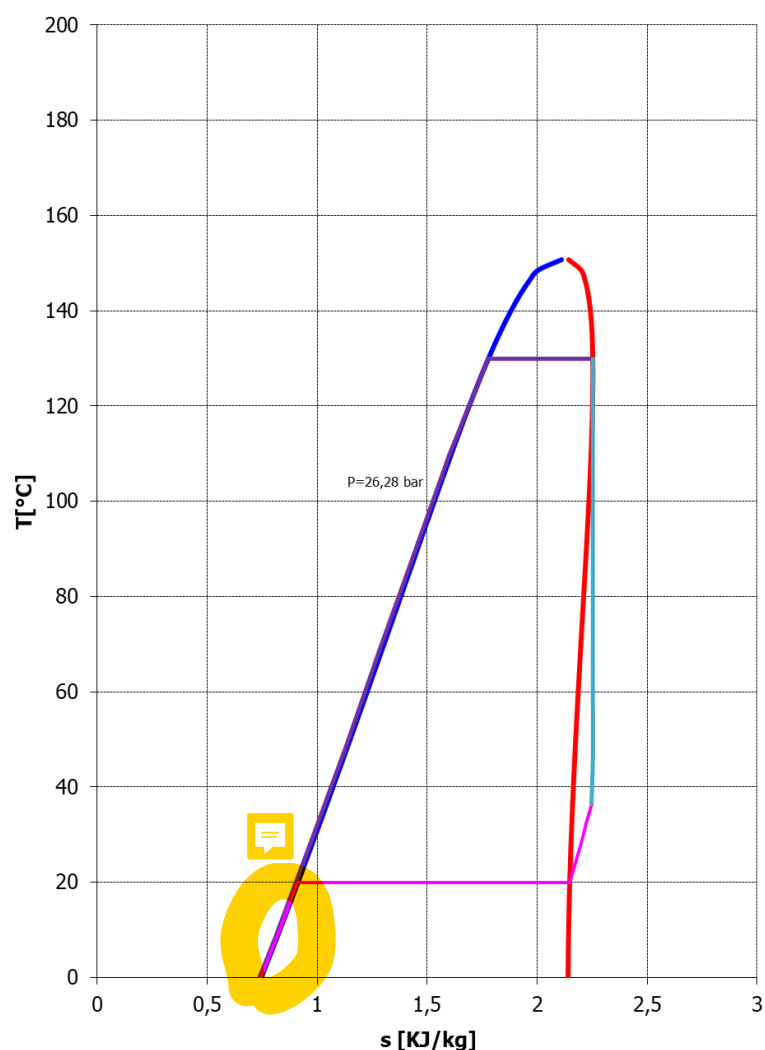


A füstgáz az 5. számú forrásból érkezi, ez szemlélteti a gázmotort. A hőcserélőn áthaladva 150°C-ig hűl le. A bután telítési nyomása a 130°C-hoz a 26,28 bar. Ezt a kondenzátor után elhelyezkedő szivattyú állítja elő. A bután a 2. számú turbinában végez munkát az expanzió során. A turbina a generátort meghajtva termel villamos energiát és a 7. számú kondenzátorban kondenzálódik a közeg.



A körfolyamatot ábrázoltuk T-S diagramon is. Látszódik, hogy a bután termodinamika szempontból megfelelő közeg a feladatra, mert az expanziós vonal nem távolodik el túlságosan a szaturációs görbétől. Feladatunkban nem alkalmaztunk külön gőzhűtőt, így minimálisan túlhevített gőz jut a kondenzátorba.

TPSI; butane



Az analitikus számításunkat a FluidProp segítségével végeztük el. A körfolyamat pontjaihoz tartozó entalpiákkal határoztuk meg a körfolyamat teljesítményét.

Az analitikus számítás és a Cycle-Tempo-ban végzett eredmények között pár kW különbség adódott. Ennek az oka, hogy a program különböző füstgáz fajhővel számol és a programban megadtunk pluszban a berendezésekre izentrópus és mechanikai hatásfokot is.

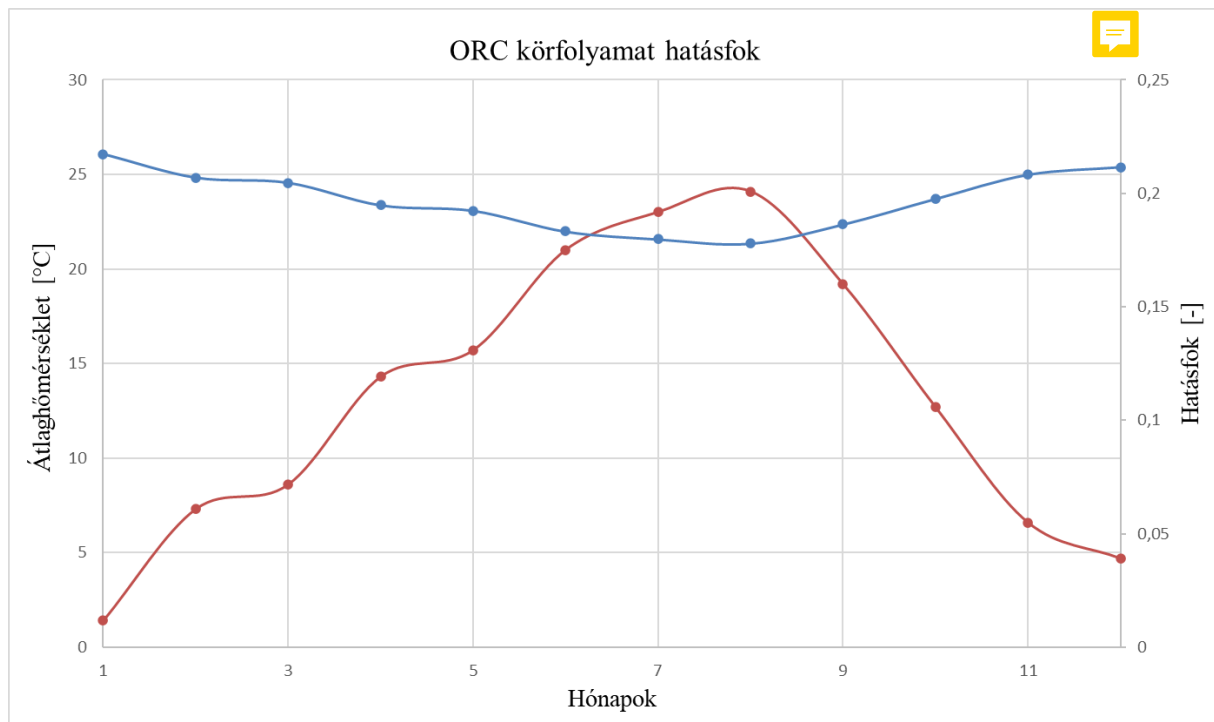
Eredmények

A következő eredményekre jutottunk:

Hónap	Középhőmérséklet [°C]	Carnot-hatásfok [%]	Valós hatásfok [%]	Bután tömegárama [kg/s]	Szivattyú teljesítmény [kW]	Hasznos teljesítmény [kW]
január	1,4	29,43%	21,73%	0,60	2,69	69,49
február	7,3	27,97%	20,69%	0,61	2,80	66,41
március	8,6	27,64%	20,46%	0,62	2,82	65,73
április	14,3	26,23%	19,47%	0,64	2,90	62,76
május	15,7	25,88%	19,23%	0,64	2,91	62,04
június	21	24,57%	18,32%	0,66	2,97	59,29
július	23	24,07%	17,98%	0,66	2,98	58,25
augusztus	24,1	23,80%	17,79%	0,67	2,99	57,68
szeptember	19,2	25,01%	18,63%	0,65	2,95	60,22
október	12,7	26,63%	19,75%	0,63	2,88	63,60
november	6,6	28,14%	20,81%	0,61	2,78	66,77
december	4,7	28,61%	21,15%	0,61	2,75	67,76

Várakozásunknak megfelelően a téli időszakokban, amikor a környezeti levegő hidegebb, nő a hatásfok. Ennek az oka az, hogy a hőelvonás hőmérséklete csökken. A legmagasabb hatásfokot a körfolyamat januárban éri el. A ORC-körfolyamból 60-70 kW teljesítményt lehet kinyerni. A legnagyobb és a legkisebb teljesítmény között több mint 10 kW van.

Ábrázolva ezeket a hatásfokokat havi bontásban ezt kapjuk:



Energiatermelés

A gázmotor termelési adataiból tudjuk, hogy a csúcskihasználási óraszám 7064 óra. Az ORC körfolyamat villamos energiatermelése havi bontásban:

Hónap	Termelt energia [MWh]
január	40,9
február	39,1
március	38,7
április	36,9
május	36,5
június	34,9
július	34,3
augusztus	34,0
szeptember	35,5
október	37,4
november	39,3
december	39,9
Összesen	447,4

Egy év alatt az ORC körfolyamat segítségével 447,4 MWh villamos energia többletet tudunk termelni. Ha ezt az energiamennyiséget a biogázból előállított villamos energia támogatott árán tudjuk értékesíteni, akkor az 13 millió forint többletbevételt jelent az erőmű számára.

Összegzés

Az ORC körfolyamatot használó erőművek száma a világon még igen csekély, ennek oka a munkaközeg tulajdonságai és a nagy beruházási költség. Nincsenek ideális munkaközegek, mindegyiknek megvan az előnye és a hátránya. Ha termodinamikailag megfelel is a munkaközeg, mérgező hatása vagy káros környezeti hatásai miatt nem lehet alkalmazni sokszor. Ha a jövőben találnak megfelelő munkaközéget és elkezdődik a berendezések sorozatgyártása, akkor nagyobb szerepet kaphatnak az ORC körfolyamatot használó erőművek.