

GIANONE JÁNOS  
TDK DOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**  
**GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR**  
**ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK**

**GIANONE JÁNOS**

**TDK DOLGOZAT**

Új magyarországi geotermikus erőmű létesítése a dél-alföldi  
régióban

Konzulens:

*Dr. Imre Attila*

Egyetemi tanár

Budapest, 2023

© Gianone János, 2023.

## NYILATKOZATOK

### *Nyilatkozat az önálló munkáról*

Alulírott, *Gianone János* (PLZNTE), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a Tudományos Diákköri Konferencia dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023 november 5.

Gianone János

# TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke .....	vii
1. Bevezetés .....	1
2. Abstract.....	2
3. Geotermikus hőforrás hasznosításának lehetőségei, valamint a geotermikus rendszerek tervezésének szempontjai .....	3
3.1. Villamosenergia-termelés – szerves Rankine-ciklus technológiai bemutatása .....	3
3.1.1. Az ORC technológia felépítése .....	3
3.1.2. A geotermikus alapú áramtermelés egyéb berendezései .....	5
3.1.3. Munkaközeg .....	6
3.1.4. A moduláris ORC .....	9
3.1.5. Életciklus elemzés (LCA).....	11
3.1.6. Megvalósult geotermikus ORC projektek .....	12
3.2. A geotermikus hőforrás felhasználása távhőszolgáltatásban, a távhőrendszerek méretezése.....	13
3.3. Magyarország geotermikus potenciáljának vizsgálata .....	16
3.3.1. Magyarország geológiai adottságai .....	16
3.3.2. A Magyarországon működő és működtetni kívánt magas hőmérsékletű geotermikus rendszerek .....	17
3.3.3. A telephely kiválasztásának általános szempontjai .....	19
4. Villamosenergiát és távhőt szolgáltató rendszer modellje .....	22
4.1. A modell célkitűzései .....	22
4.2. A körfolyamat sarokpontjainak meghatározása.....	23
4.3. Különböző paraméterek telepítések, telephelyek megadása .....	27
4.4. A modell összeállítása Cycle-Tempo hősémaszámító környezetben .....	29
4.5. Minimális forráshőmérséklet.....	30
5. A dél-ALFÖLDI ÚJ geotermikus erőmű tervezése.....	31
5.1. Telephely kiválasztása .....	31
5.2. Az erőmű összeállítása .....	32
5.3. Távhőellátás a környező településeken .....	35
6. Az erőmű megvalósulásának gazdasági vetülete.....	37
6.1. A piaci környezet bemutatása .....	37
6.2. A beruházás, valamint az üzemeltetés és karbantartás költségei.....	41
6.3. Az erőmű üzemvitele .....	42
6.4. Gazdasági kiértékelés .....	43
7. Összefoglalás.....	45
8. Köszönetnyilvánítás .....	46
9. Felhasznált források.....	47

## JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és *angol* nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

### Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$D$	diszkontráta	1
$h$	fajlagos entalpia	kJ/kg
$L$	élettartam	év
$\dot{m}$	tömegáram	kg/s
$p$	nyomás	bar
$P$	teljesítmény	kW
$q$	fajlagos hőmennyiség	kJ/kg
$\dot{Q}$	hőáram	kW
$s$	fajlagos entrópia	kJ/(kg·K)
$t$	hőmérséklet	°C
$T$	hőmérséklet	K
$w$	fajlagos munka	kJ/kg
$W$	munka	kW
$x$	fajlagos gőztartalom	1

### Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$\alpha$	annuitási tényező	1
$\eta$	hatásfok	1

## Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
'	kétfázisú közeg telített folyadék állapota
”	kétfázisú közeg telített gáz állapota
<i>be</i>	hőbevezetés esetén
<i>el</i>	hőelvonás esetén
<i>e</i>	villamos energia/teljesítmény
<i>iz</i>	izentropikus
<i>K</i>	kompreszor
<i>max</i>	maximális érték
<i>min</i>	minimális érték
<i>net</i>	nettó
<i>ORC</i>	szerves Rankine-ciklusra vonatkozó értékek
<i>p</i>	szivattyú
<i>T</i>	turbina (vagy expander)
<i>th</i>	termikus energia/teljesítmény



## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a fenntarthatóság kiemelkedően fontos társadalmi és szakpolitikai elvárás, mely az energiaszektor elé komoly kihívásokat állít a villamosenergia-termelésben. Ugyanakkor a fenntarthatóság nehezen egyeztethető össze az ellátásbiztonsággal. Ma Magyarországon, mikor az energiatermelő egységek összehangolása és a fogyasztói igények kielégítése jelentős mértékben csak importból fedezhető, szükséges a hazai erőműportfólió bővítése. Cél a fenntartható energiatermelés oly módja, ahol a termelés kiszámítható, az ellátás állandó és a kibocsátás minimális. Magyarországon a geotermikus energia kedvező adottságú energiaforrásnak számít a fent felsoroltak alapján, ugyanakkor a természetes hőforrást elsődlegesen hőigények kielégítésére hatékony felhasználni. Így tevődik össze a feladat, mely a fogyasztói igényeket is vizsgálva keresi az optimális kapcsolt villamosenergia és távhő termelési módot.

Magyarország „geotermikus nagyhatalom”, ennek ellenére elenyésző példa van a hőforrás hasznosítására, aminek a megváltoztatása célja jelen kutatásnak is. A tanulmány a dél-alföldi régióban található meglévő kútra tervez hő- és villamosenergiát szolgáltató rendszert. Míg a távhő szolgáltatásnak – egyszerűsítésekkel élve – a távhőrendszer kiépítési költsége és a hőigények szezonális szab korlátot, addig a villamosenergia-termelését az alacsony forráshőmérséklet következtében a rosszabb hatásfok teszi problémássá. Az üzemvitel pontos megtervezése és a fenti egyensúly megteremtése kiemelt szerepet játszik a kutatásban. A rendszer megtervezése mellett pedig ugyancsak fontos a megvalósíthatósággal kapcsolatos gazdasági és megtérülési számítások elvégzése. A végső cél, hogy konkrét terv készüljön a dél-alföldi régió energiaellátásában fontos szerepet játszó geotermikus erőműre, és annak gazdasági megvalósíthatóságára.

## 2. ABSTRACT

Nowadays, sustainability is an important societal and policy requirement, which poses serious challenges to the energy sector in the field of electricity generation. Sustainability is difficult to reconcile with security of supply. Today, in Hungary, where the coordination of energy production units and the satisfaction of consumer demand can only be met by imports, it is necessary to expand the domestic power plant portfolio. The aim is to achieve sustainable energy production in a way where production is predictable, supply is stable, and emissions are minimal. Furthermore, it is beneficial that generators are distributed across the grid. In Hungary, geothermal energy is considered a favourable energy source for the above reasons, which is why it is logical to include it in electricity generation. At the same time, however, it is preferable and more efficient to use this natural heat source primarily to meet heating needs, if there is a demand for it. The main task is to find the optimum cogeneration method.

Hungary is a 'geothermal superpower', but there are still only a few examples of the use of this heat source, and this research is also aimed at changing this. The study designs a system to supply heat and electricity to an existing well in the Southern Great Plain region. While the district heating service is limited by the cost of building the district heating system and the seasonality of heat demand, the generation of electricity is hampered by the lower efficiency due to the low source temperature. Precise planning of the operation and achieving this balance is a key research issue. In addition to system design, it is also important to carry out economic and payback calculations for feasibility. The ultimate goal is to develop a concrete plan and an economic feasibility plan for geothermal power plant, which will play an important role in the energy supply of the Southern Great Plain region.

### 3. GEOTERMIKUS HŐFORRÁS HASZNOSÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI, VALAMINT A GEOTERMIKUS RENDSZEREK TERVEZÉSÉNEK SZEMPONTJAI

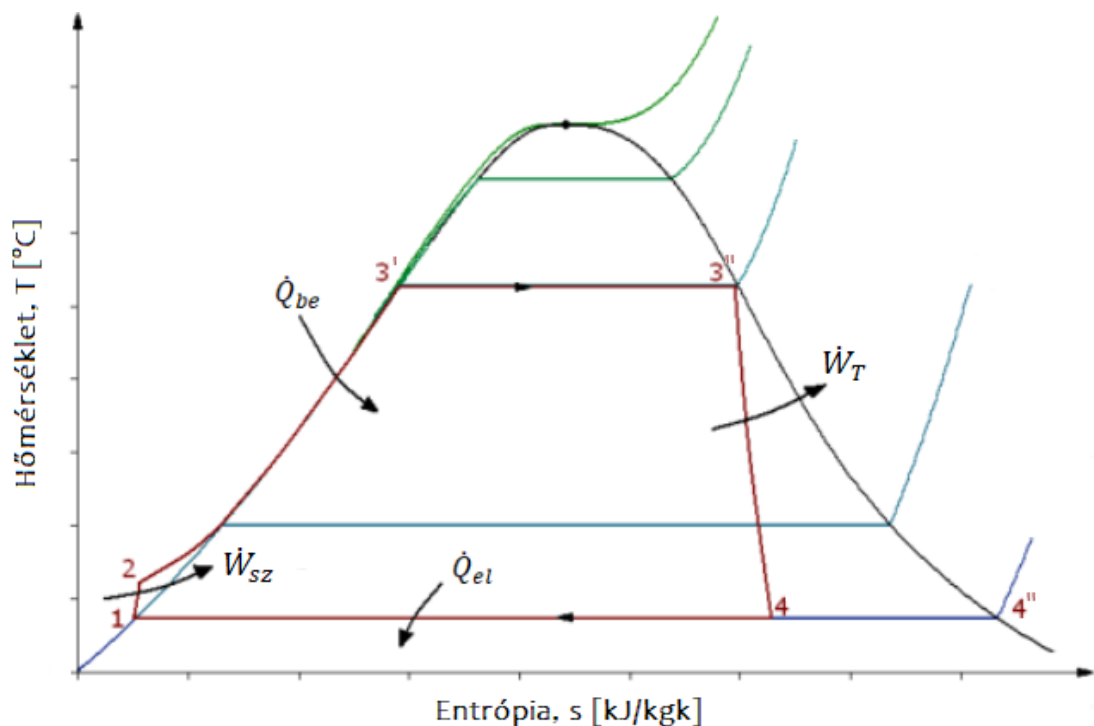
#### *3.1. Villamosenergia-termelés – szerves Rankine-ciklus technológiai bemutatása*

A szerves Rankine-körfolyamat (Organic Rankine cycle, továbbiakban ORC) egy páratlan műszaki megoldás az alacsony és közepes (50–340 °C) hőmérsékletű, korlátozott kapacitású hőforrásokból történő villamos energia előállítására. Ezen alacsony hőmérsékletű és entalpiájú hőforrásokból szerves Rankine-cikluson alapuló erőművekkel lehet átalakítani a hőt villamos energiává. A hő forrása eltérő lehet: előfordulhat geotermikus kútból származó termálvíz, napenergiából származó hő, valamiféle hővisszanyerés alapú hő, akár biomassza, de még hulladékhő is. Ezen hőforrásokat ideális esetben alacsony hőmérsékletű hőt igénylő folyamatokhoz, akár az iparban, de legelterjedtebben távhőként vagy hévizes fürdőkben használják fel. Azonban gyakran az igények nem helyben jelentkeznek vagy a helyi igények kiszolgálásánál jóval nagyobb mennyiségű potenciál áll rendelkezésre. Ez esetben a hőforrást, célszerű úgy átalakítani és olyan terméket létrehozni belőle, amit aztán máshol is fel lehet használni. Energiaátalakítás során a hőből először valamilyen hőerőgéppel mechanikai energiát, majd abból generátorral villamosenergiát állítanak elő, aminek szállításához és kereskedéséhez létező infrastruktúra és piac áll rendelkezésre. Jellemzően a hőforrás minőségileg nem ad lehetőséget a klasszikus Rankine-ciklus használatára, vagyis a geotermikus (vagy más) hő hőmérséklete nem éri el azt a kritikus hőmérsékletet, amivel a célszerű lenne a tradicionális körfolyamatot alkalmazni. Így kerül előtérbe az ORC rendszer, melyben a hagyományos víz-gőz munkaközeg helyett olyan szerves anyagot használnak, melynek forráspontja a víz forráspontja alatt található. [1]

#### 3.1.1. AZ ORC TECHNOLÓGIA FELÉPÍTÉSE

A szerves Rankine-körfolyamat termodinamikai értelemben gyakorlatilag egyenértékű a Rankine-körfolyamattal, vagyis az adiabatikus kompresszió (1-2) után izobár hőbevezetés (2-

3), majd adiabatikus expanzió (3-4) és végül izobár hőelvonás (4-1) történik. Emiatt a berendezés legfőbb felépítő elemei is szinte teljesen megegyeznek a hagyományos gőzkörfolyamatok berendezéseivel. Ugyanakkor túlhevítő általában nem található meg ezen rendszerekben, valamint a turbinán sincsen megcsapolás. Az utóbbinak az az oka, hogy a munkaközeg jellegeből adódóan nincsen szükség a fajlagos gőztartalom csökkentésére általában, így a teljes tömegáram keresztüláramlik a turbinán, amit ebben az esetben jellemzően expandernek hívunk. Ugyanakkor előmelegítő ebben az esetben is gyakran előfordul, amit gyakran belső hőcserélő beépítésével oldanak meg. A belső hőcserélő a kondenzátor előtt helyezkedik el és akkor alkalmazható, ha az expanzió a száraz (gáz) mezőben ér véget. Ekkor az izobár hűtést a telített gőz fázist egy olyan hőcserélővel oldják meg, ami a kompresszor (szivattyú) utáni előmelegítést végzi, ez a belső hőcserélő.



1. ábra: ORC körfolyamat a T-s diagrammja [2]

Az ORC berendezések alapvetően tehát tartalmaznak egy hőcserélőt, aminek a feladata a hőforrás hőjének közlése közvetett módon a munkaközeg felé. A frissgőz mindig telített gőz fázisú. A hőcserélő után az expander van kötve, melyen a munkaközeg expandál, létrejön a tengelyteljesítmény, amivel a generátort meg lehet forgatni, és ezen keresztül áramot lehet termelni. Ezután a közeget a kondenzátorba kell vezetni, ahol a szerves munkaközeg a hőelvonás hatására cseppfolyós fázisba kerül. A legutolsó, alapvetően szükséges eleme egy ORC-nek a szivattyú, melynek feladata a nyomásnövelés, kondenzációs nyomásról a hőbevezetés

nyomására. Ezek mellett egy ilyen rendszert is számtalan kiegészítéssel, szükség esetén belső hőcserélővel, különböző kapcsolásokkal, biztonsági és a különböző üzemvitel szempontjából fontos berendezéssel lehet felszerelni.

### 3.1.2. A GEOTERMIKUS ALAPÚ ÁRAMTERMELÉS EGYÉB BERENDEZÉSEI

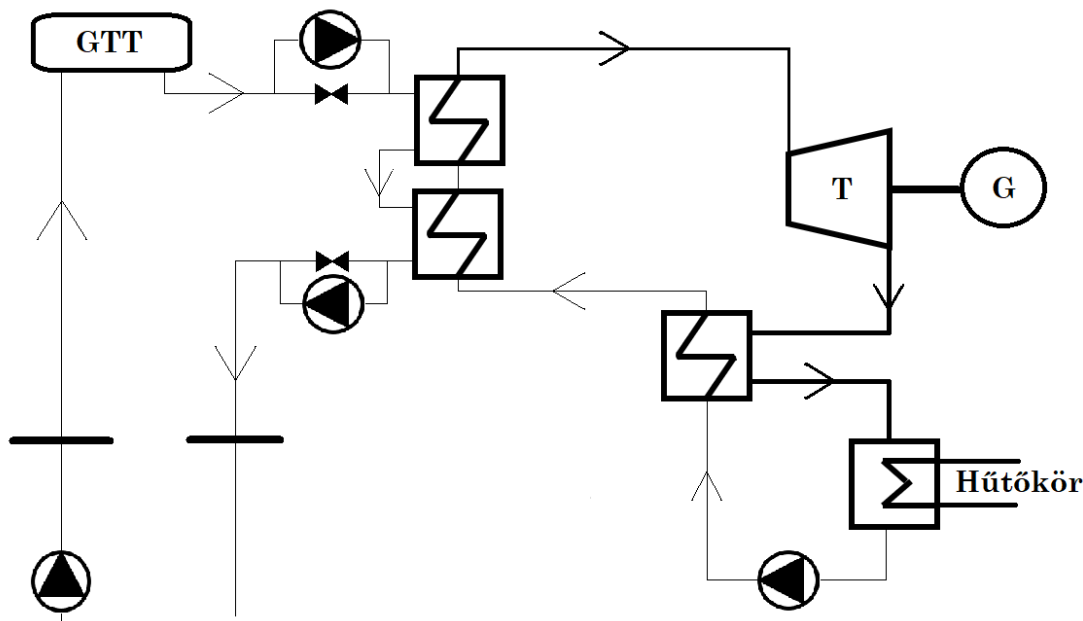
A szerves Rankine-ciklus két különböző hőmérsékletű közeg alkalmazásával képes áramot termelni, de a villamosenergia előállításához további rendszerek elhelyezése is szükségszerű. Ezen rendszereket két részre lehet bontani, egyrészt a hőforrás oldali – vagyis a geotermikus kútra közvetlen épített – rendszer, másrészt pedig a hűtőkör. Ezen felül természetesen a villamos alrendszer, valamint a szabályozási és biztonsági rendszerek.

A geotermikus kút vizét kitermelő szivattyú az egyik, ha nem a legfigyelemigényesebb berendezés mindenféle geotermikus rendszerben. A nagynyomású kutaktól eltekintve – ahol a túlnyomás által a nem szükséges víz felhozatalához energiát befektetni – a szivattyú nyomásnövelése hozza a felszínre a hasznosítandó termálvizet. Ugyanakkor ez a víz nem tiszta: szennyeződések, pontosabban mondva oldott sók és gázok találhatóak meg benne, ami a berendezést igénybe veszi. Emiatt nagyon fontos megfelelő minőségű szivattyút elhelyezni, hogy az élettartam ne csökkenjen. A szivattyú jellemzően 5-10 éves élettartammal rendelkezik, de a közegtől és a használat módjától nagyon függ a tönkremenetele. Egy-egy geotermikus rendszerben ezen (búvár)szivattyúkat a teljes élettartam alatt többször is cserélni kell. Azért is fontos megfelelően megválasztani ezt a szivattyút, mert jelentős áramfelvétellel rendelkezik, így nagyon fontos a megfelelő munkapontban járni, így ezzel rengeteg energiát megspórolni az évek során. [3]

A víz felszínre hozása után a szennyeződésekkel kezdeni kell valamit, amit lehet le kell választani, ugyanakkor nagyon kell figyelni a környezeti paraméterek betartására. Ez általában azt jelenti, hogy a geotermikus víz kémiai összetételén nem lehet változtatni, viszont a gázokat le lehet választani gáztalanítással. Ezen lépés során ügyelni kell, hogy a leválasztott – sokszor üvegházhatású, illetve szennyező hatású – anyagok ne jussanak ki a környezetbe. Miután a gáztalanítás megtörtént, már be lehet vezetni a közeget a hőcserélőkbe, ahol immár jó hatékonysággal adható le a hő. Sok esetben fordul elő, hogy a közvetlen hőhasznosítás helyett, egy extra kör kerül beépítésre, ami eggyel több hőcserélőt és hőátadást jelent, ugyanakkor ezzel javítható a hőcserélők A visszasajtolás szintén szivattyúval történik az eredeti kúttól megfelelő távolságra (akár több kilométerre is, de jellemzően 1-2 km elegendő távolság).

A hűtőkör – ahogy a hagyományos erőműveknél, úgy itt is – lehet frissvíz- vagy levegőhűtésű, de akár ezek kombinációja is. A hűtési rendszereknél figyelni kell a környezeti paraméterek határértéken tartására, ezért célszerű egy frissvízhűtést is kiegészíteni levegőhűtésű rendszerrel.

A villamos alrendszer alatt a turbina után következő rendszereket értjük, vagyis ide tartozik a generátor és a hálózati kapcsolódáshoz szükséges minden villamos berendezés.



2. ábra: Geotermikus forrásra épült ORC kapcsolása (belső hőcserélővel)

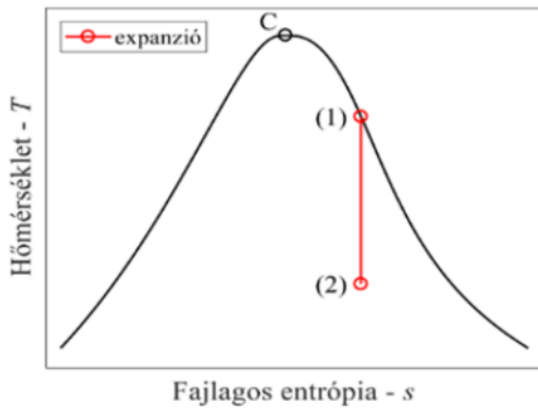
### 3.1.3. MUNKAKÖZEG

Az ORC elnevezésben a szerves jelző a munkaközeg típusára utal, ami ugyanakkor számos kivívást is jelent, mivel a szerves munkaközegek környezetükre gyakorolt hatása gyakran jelentősen eltér a víz-gőz körfolyamatban megszokottaktól. Ezen anyagok telítési görbéjének jellege nemcsak más alakú – amivel majd a munkaközeg kiválasztásánál lesz részletesen szó –, de ami lehetővé teszi az alacsony hőforrás használatát, az az alacsony elpárolgási hőmérséklet. Ez egy relatív fogalom, hiszen adott nyomáshoz tartozik egy adott szaturációs hőmérséklet. Viszont a víz-gőz munkaközeggel fenntarthatatlanul alacsony nyomáson kellene üzemelnie a rendszernek. A szerves közegeknél is figyelni kell ugyanakkor, hogy a kondenzátor nyomása ne legyen túlságosan alacsony.

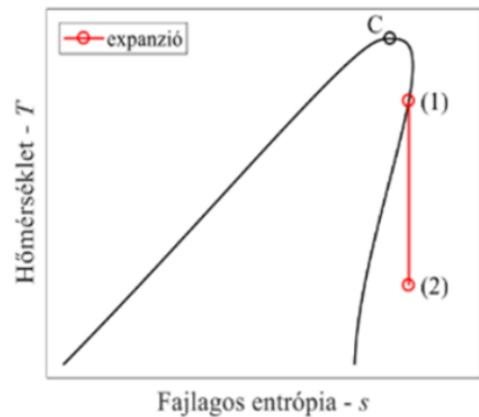
A munkaközeg alapvetően befolyásolja, hogy a rendszerbe bevitt hőt milyen mértékben tudjuk hasznosítani. Rossz munkaközeg választás esetén megeshet, hogy a körfolyamatba

belépő hőtranszport nagy részét a kondenzátoron kívül – jelentős hasznosítás nélkül – leadjuk, míg csak nagyon kis hányadot hasznosítunk a turbinán. Ez gyakorlatilag a körfolyamati hatásfok megfogalmazása, így arra kell törekedni, hogy minél nagyobb részben a turbinán hasznosítsuk az energiaáramot, ezzel pedig villamosteljesítményt generáljunk.

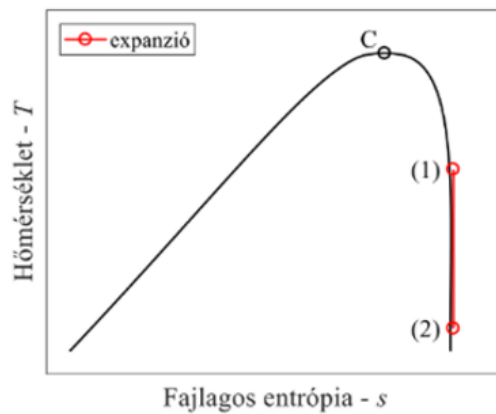
A szerves folyadékot tehát úgy választják ki, hogy az – a termodinamikai tulajdonságait tekintve – a lehető legjobban illeszkedjen a hőforráshoz, így mind a ciklus, mind az expander hatékonysága javítható. Ezen munkaközegek legtöbbször igen toxikus tulajdonságokkal rendelkeznek, emiatt szigorú szabályok és biztonsági előírások érvényesek használatukra. Ezenkívül figyelembe kell venni azt is, hogy a leszálló ágbéli adiabata vége belép-e a kétfázisú tartományba (száraz, nedves, vagy izentropikus munkaközeg), mert ekkor a nedvesség apró cseppek formájában jelentkezik és könnyedén erodálhatja a turbinalapátokat (csepp-erózió). Az adiabatikus szakaszok a T-s diagrammon a következő képen alakulhatnak:



3. ábra: Nedves munkaközeg expansziója  
[4]Hiba! A hivatkozási forrás nem található.



4. ábra: Száraz munkaközeg expansziója [4]Hiba! A hivatkozási forrás nem található.



5. ábra: Izentropikus munkaközeg expansziója [4]

Az elmúlt években a Budapesti Műszaki Egyetem néhány kutatója ugyanakkor honosította a munkaközegek újszerű osztályozását, melyben a fázisgörbén elhelyezett karakterisztikus pontok alapján adhatók meg a munkaközegek típusai. Az eddigi 3 karakterisztikus pontot kiegészítették további 2-vel, így ezen pontok entrópiáit sorba téve jóval több fajta közeg állapítható meg. Ezzel a típusú osztályozási rendszerrel – melyet jelen dolgozatban is alkalmaztam – a munkaközegek kiválasztása optimalizálható. [5] Tipikus munkaközegnek számítanak az egyenesláncú alkánok (pl. propán, bután...), valamint a legtöbb hűtőrendszerben alkalmazott közeg is (pl. R134a, R-123).



#### 3.1.4. A MODULÁRIS ORC

Manapság egyre több rendszerrel kapcsolatban lehet hallani moduláris egységek építéséről. Nincs ez másként az ORC-nél sem, hiszen ezen rendszerek gyártása és telepítése gyorsabb és olcsóbb, továbbá kis teljesítmény leadására képesek, így a moduláris blokkok kapcsolásából tetszőleges méretű erőműegységek hozhatóak létre. Ezen blokkok flexibilisen szerelhetőek, van példa járműveken (pl. tankerhajón, vagy kamionon) való alkalmazásra is, ahol az erőforrás hulladékhőjét tudják alkalmazni. Ráadásul hajókon a közel állandó hőmérsékletű tengervíz is rendelkezésre áll, mint hűtőközeg. Ugyanakkor ilyen kisméretű blokkok esetében a méretgazdaságosság hiánya rontani tudja a beruházás megtérülését. A kis beruházás hátránya továbbá, hogy sokszor nagyon eltérő igényekkel találkoznak a fejlesztők. Ennek következtében nem mindig a legjobb paraméterekhez alkalmazkodnak, összességében a hatékonyság, a rendszer hatásfoka csökkenhet valamelyest. Ugyanakkor, a gyártás meggyorsítása és az, hogy az erőmű összeszerelésekor is csak néhány blokkot kell illeszteni a hőforrásra, jelentősen lecsökkentheti a költségeket. Az erőmű megvalósíthatóságának gazdasági vetülete c. fejezetben is látható ezen a megtakarítás jelentősége, hiszen azzal, hogy az erőmű gyakorlatilag azonnal elkezd termelni, az építés alatti kamatfizetést is megspórolja a beruházó.

A moduláris ORC blokkok hatásfoka jellemzően geotermikus hő alapú rendszerekben 5 és 8 % közé tehető. Ez értelemszerűen összefügg a hőforrásnak hőmérsékletével és a környezeti körülményekkel is. Ezen felül pedig a különböző gyártók más-más kínálattal rendelkeznek, egy kevésbé rugalmas blokk esetében a részterhelésen való üzemelés is jelentősen ronthatja a hatásfokot.

Jól mutatja az aktuális trendet, hogy az elmúlt években rengeteg moduláris blokk létesült Európa szerte. Az alábbiakban a legjelentősebb moduláris ORC-eket gyártó vállalatok és termékeik lettek összegyűjtve és összehasonlítva. Összességében 9 gyártó (Climeon, ElectraTherm, Enogia, Exergy, Kaymacor, Kaishan, Orcan, Rank, Turbodem) termékei lettek megvizsgálva, de ezek közül több az első körben ki lett szűrve, mert vagy valamilyen paraméterében nem találtatott alkalmasnak, vagy pedig az információ hiányában. Természetesen minden gyártó meg lett keresve, és minden válaszadó féltől lett kérve árajánlat is, sajnos ugyanakkor sokan nem szolgáltatottak elegendő adatot a berendezésről.

Gyártó	Típus	Beépített teljesítmény	Hálózati csatlakozás	Hőforrás tartomány	Munkaközeg
<b>Enogia</b>	ENO-100LT	100 kWe	3 x 400 V, 50-60 Hz	70-120 °C 800-1400 kWth	R1233zd
<b>Enogia</b>	ENO-180LT	180 kWe	3 x 400 V, 50-60 Hz	70-120 °C 1400-2400 kWth	R1233zd
<b>Climeon</b>	HP 150	150 kWe	3 x 400 V, 50-60 Hz	70-120 °C 10-35 l/s	Ismeretlen
<b>ElectraTherm</b>	6500B	150 kWe	3 x 400 V, 50-60 Hz	70-150 °C 400-2200 kWth	R245fa
<b>Rank</b>	LT4	180 kWe	3 x 400 V, 50-60 Hz	90-120 °C 1000-2000 kWth	Ismeretlen

1. táblázat: A részletesen vizsgált moduláris egységek paraméterei

A fentiek közül kiemelendő, hogy az ElectraTherm 650B (és 6500B+) rendszerei magas fokú termelésváltoztatásra képesek, széles tartományban alkalmasak az energiatermelést a megbízhatóság csökkenése nélkül szolgáltatni. Ebből a szempontból magasan a 6500B a legflexibilisebb egység, ugyanakkor ezen egység hatásfoka valamelyest elmarad a többiétől.

Ugyancsak kiemelkedik a kínálatból az Enogia kettő vizsgált blokkja, melyek gyakorlatilag csak a méretükben térnek el egymástól. Ezen blokkok gyártója releváns tapasztalattal rendelkezik a régióban és kiváló áron kínálja a berendezéseket. Emellett, pedig finanszírozási környezetet is képes nyújtani, vagyis adott szerződéses környezetben a beruházási költséget – az adott esetben szükséges kútfúrásán kívül – is biztosítja.

Az élettartamát tekintve a moduláris ORC berendezések egyáltalán nem maradnak el a többi ORC rendszertől. Sőt, a gyártók legjava 25 évnél hosszabb élettartamot garantál az ügyfeleinek. Természetesen ezen időszak alatt előfordulhat, hogy a kiegészítő és kapcsolódó elemek és rendszerek cserére szorulnak, de még ezzel együtt is kiemelkedő a hőkörfolyamatot tartalmazó blokk életideje. Azonban értelemszerűen, ha magában a moduláris blokkban észlelnék az üzemeltetés során problémát, akkor sokkal összetettebb annak kijavítása. Ettől

ugyanakkor nem kell tartani, hiszen a rendszer kellőképpen egyszerű, és még a szélsőséges üzemállapotokban – más energiatermelő rendszerekkel ellentétben – is alacsony terhelést ró a berendezésre.

Fontos megjegyezni, hogy a geotermikus forrás kimerülését is nyomon kell követni, hiszen ez nagy mértékben befolyásolja az energiatermelést. A moduláris blokkok ebből a szempontból is felettébb előnyös választás lehetnek, hiszen könnyen mozgatható és installálható berendezések, így szükség esetén új kútra átszerelhető. Ezzel a jelentősen csökkenthető a beruházás kockázata, hiszen akármennyire is méri fel előre a egy adott terület geotermikus rezervoár jellegét, vagy – meglévő kút esetében – akármennyire vizsgálják meg előre a kút paramétereit, könnyen előfordulhat, hogy évek során jelentős változás következik be a számított tervekhez képest. Ez esetben pedig a termelés visszaesése a beruházást gyakorlatilag gazdaságilag tönkre teheti. A moduláris ORC megoldást kínálja erre a problémára, hiszen míg egy összeszerelt erőművet nem – vagy csak magas költségek és hosszú kiesés árán – lehet átépíteni másik telephelyre, addig a moduláris ORC – az erőmű élettartamához képest – gyorsan, akár néhány hét alatt is átszerelhető új kútra. Ezáltal az éves teljesítmény kihasználás sem csökken jelentősen, sőt, ha azt vesszük az új termelési körülményeknek köszönhetően akár nőhet is.

A moduláris erőművek csúcskihasználási óraszámja jóval meghaladja a sima geotermikus erőművekét. Míg előbbinél általában 7000 óra körüli értékekről lehet beszélni, addig a moduláris ORC-k az kicsi karbantartási igény miatt jóval magasabb rendelkezésreállás mellett (>90%) jellemzően a 8000 óra körül mozognak.

### 3.1.5. ÉLETCIKLUS ELEMZÉS (LCA)

Az életciklus elemzés (Life Cycle Assessment, LCA) egy adott berendezés teljes életútja során felmerülő környezeti hatásokat vizsgálja. Először a berendezéshez szükséges nyersanyagok kitermelését és feldolgozását, a konkrét gyártási folyamatot, a szállítást majd a telepítést, a használatot, végül pedig a leszerelést, melyhez az újrahasznosítás, illetve a hulladék-elhelyezés tartozik. Az elemzés során figyelembe kell venni minden olyan hatást, mellyel a vizsgált berendezés kihat a környezetére.

A vizsgálatot különböző fázisokra szokás bontani, mely jelen esetben az építési fázis, üzemeltetési fázis, leszerelési fázis hármából áll, és ezek további alegységekre bonthatók. Ezen

szakaszok elemzését segítik az előre meghatározott mérőszámok, melyek a kritikus területek feltérképezésében és a későbbi technológiai összehasonlításban is segítenek.

Egy 2013-as tanulmányban [6], melyet pekingi kutatók végeztek az alábbi mérőszámok kerültek meghatározásra az ORC berendezések életciklus elemzése során:

GWP – globális felmelegedési potenciál

AP – savasodási potenciál

EP – eutrofikációs potenciál

HTP – humán toxicitás potenciál

SWP – szilárd hulladék potenciál

SAP – korom és por potenciál

### 3.1.6. MEGVALÓSULT GEOTERMIKUS ORC PROJEKTEK

A világ legnagyobb szerves Rankine-ciklusú (ORC) geotermikus erőműve az új-zélandi Ngatamariki, amely 2013 óta működik. A négy párhuzamosan beépített egységet az Ormat gyártotta, és összesen 96 MW elektromos teljesítménnyel rendelkezik. Ugyanakkor jelenleg építés alatt áll az ennél jóval nagyobb beépített teljesítménnyel rendelkező Sarulla, amely Indonéziában található, és ha elkészül, akkor a három egysége összesen 150 MW-ot fog a hálózatra termelni. Ez utóbbi erőművet is a nevadai székhelyű Ormat Technologies Inc. gyártotta, mely nemzetközi cég a világon a legnagyobb geotermikus energiaforrásra épülő ORC berendezéseit tervezi és építi. Ebből világosan látszik, hogy komoly potenciál rejlik a berendezésben, ugyanakkor nem csak hatalmas méretekben, de kisebb egységekben is. Jelenleg Magyarországon mindössze egy ilyen erőmű, a Turai Geotermikus erőmű termel a hálózatra villamosenergiát. Ez az egy egység 3,35 MWe beépített villamos teljesítménnyel rendelkezik, aminek az önfogyasztás levonása után közel a kétharmada kerül a hálózatra, de felmerült már az egység bővítése. Ezen kívül hallani, hogy a MOL is épít Magyarországon geotermikus erőművet, sőt talán már üzemben is van, mindenesetre ennek a rendszernek a működéséről publikusan nem lehet sokat tudni. [7]

### *3.2. A geotermikus hőforrás felhasználása távhőszolgáltatásban, a távhőrendszerek méretezése*

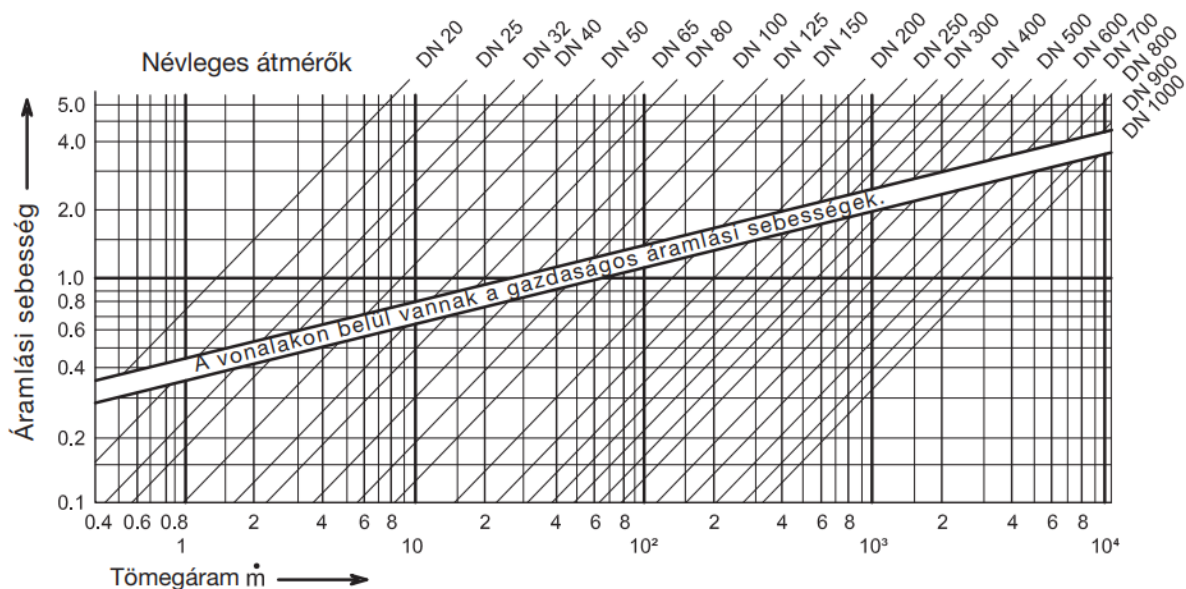
A geotermikus energia hasznosításának legoptimálisabb módja, amikor a hőt hasznosítják. Ez a hőhasznosítás történhet valamilyen ipari vagy mezőgazdasági folyamatban, de akár a turizmusban is (gondoljunk csak a magyarországi termálfürdőkre), hiszen ez esetekben nagy mennyiségű hő szükséges egy helyen. Azonban ahol ilyen alkalmazása nincsen a hőforrásnak, ott a távhőszolgáltatás továbbra is fennmarad, mint opció.

Bevett szokás, hogy geotermikus kutak hőjéhez kapcsolnak különböző technológiákat, de akár szolgáltatásokat is. Ipari folyamatok hőjének biztosítása mellett alkalmas üvegházak fűtésére, de kifejezetten a forrás lokációjához kötődnek például a termálfürdők. Ezek többnyire felemésztik a geotermikus kútból származó víz hőjének nagy részét, de van, hogy kisebb fogyasztói igényeket akarunk kiszolgálni. Ez esetben össze kell szedni a kút környezetében elegendő kisfogyasztót (intézményt, háztartást), amelyre érdemes a rendszert tervezni. Értelemszerűen, ha van kiépített távhőrendszer, akkor az tekinthető egy nagy fogyasztónak abban az értelemben, hogy nem kell a megvalósítás során a hálózat kiépítésével törődni. Ugyanakkor amennyiben a távhőrendszert ki kell építeni, olyankor a beruházás költsége és így a megtérülés ideje jelentősen eltérhet. Ráadásul meg kell állapítani azt az optimális távolságot, ameddig megéri kiépíteni. Ez gyakorlatilag a kút középpontjától vett távolság, mely meghatározza azt a kört, amelyen belül keresni lehet a fogyasztási igényt. Ha nincsen elegendő igény, akkor érdemes lehet a villamosenergia-termelés arányát növelni. A távhő kiterjesztése – viszonylag kicsi volumenben – ugyanis nem számít gazdaságosnak. A veszteségek – csőúrlódás, hővesztés, extra szivattyú – ugyanis nagyon megnövekednek.

Ezen felül gondos figyelmet kell fordítani arra, hogy a forrás és a felhasználók között ne legyen áthidalhatatlan fizikai akadály. Ez a távhő esetében például vasúti töltést, főútvonalat (autópályát) jelent. Bár lehet megoldást keresni ezekre a problémákra, jellemzően jelentős többletköltséget okoznak, így célszerű elkerülni.

A hőigényeket beazonosítása után mindenféleképp párosítani kell melléjük tartamdiagrammot is, valamint az igényeloszlás alakulását. A tartamdiagramm a rendszer kihasználását fogja megmutatni, természetesen lesz egy olyan pont, ami alatt nem lehet gazdaságosan üzemeltetni a távhőrendszert. Az igényeloszlásra pedig a villamosenergiatermelés menetrendezése miatt van szükség, illetve ahhoz is kell, hogy a pontos bevételeket meg lehessen állapítani. Ugyanis a hővel ellentétben a villamosenergiát nem mindegy, hogy milyen periódusokra érté-

kesítjük. Ugyanakkor azt is fontos leszögezni, hogy a távhőrendszer hőtehetetlenségénél fogva nem szükséges minden pillanatban egyensúlyban tartani a rendszert. A fenti adatok meghatározása feltétlen szükséges menete a tervezésnek. A távhőrendszerek csúcskihasználási óraszama jellemzően 2500 óra/év körül szokott mozogni, ebben az esetben természetesen a háztartási melegvíz (HMV) igényt nem számoljuk bele.



6. ábra: Csőátmérő megállapítása a tömegáram és az áramlási sebesség grafikonja alapján [8]

A távhőszolgáltatásban úgy kalkuláltam, hogy bármilyen kútról is beszélünk a várható tömegáram igen alacsony lesz, 10-50 liter per másodperc között ingadozhat a térfogatáram. Alább átlagosan 20 l/s térfogatáramos vízhozammal számoltam. A kalkulációt szabvány szerint végeztem, az Isoplus katalógusa alapján. A 20 l/s-hoz rövid számolás után és táblázat segítségével a KR50 típus lett kiválasztva csővezetéknek, így konkrét típusadatokkal lehet továbbhaladni. Valószínűsíthető, ha nem is ezt a típust választják ki a megvalósításhoz, akkor is közel azonos paramétereket ad a későbbiekhez, esetleges változtatásokhoz. Ahogy az ábrán is látszódik, a választott csőtípus duplacső, szigeteléssel ellátva, mely a tömegáram és az áramlási sebesség alapján lett kiválasztva. Ezt alapvetően a veszteségek és a anyagköltségek minimalizálása eredményezi.



7. ábra: KRD50 csőtípus [8]

A KRD50 típusú csővezeték esetében a belső (előremenő) és külső (környezeti) hőmérsékletek, valamint a hővezetési tényezőből kiszámítható, hogy megközelítőleg 20 W/m hővesztéssel kell számolni, így kilométerenként nem jelentős, mindössze 0,24 °C-os előremenő lehülés várható. Ráadásul ez a minimális lehülés visszahat a hővesztésre: kis mértékben tovább csökkenti azt is. Ami ugyanakkor kérdéses és befolyásolja a számítást, hogy a távhő milyen mélyen van földbe ásva, ha egyáltalán van erre lehetőség. Amennyiben nincs beásva, akkor a hővesztések jelentősen növekednek, ugyanakkor a beruházás méretét tekintve nem biztos, hogy megtérül a földbe fektetett távhőhálózat.

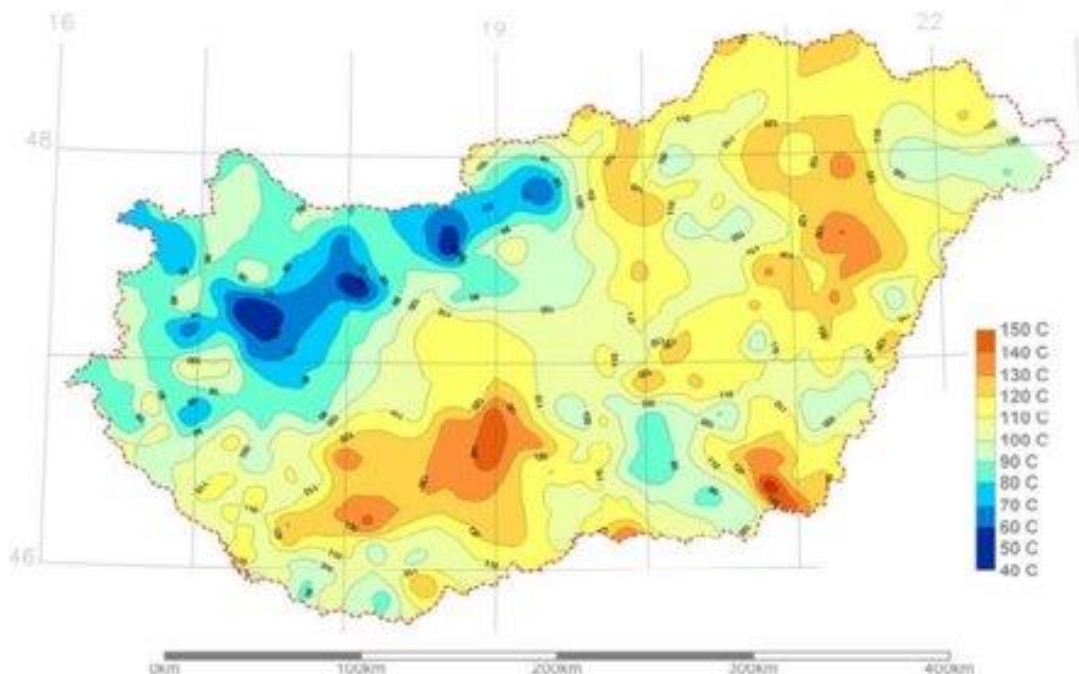
A mechanikai veszteségeket ugyancsak figyelembe kell venni a csőidomok következtében fellépő csősúrlódás miatt. Ez ugyan valamelyest növeli a hőmérsékletet, de a szivattyúzási munkát is. A csősúrlódás a távolság függésében növekszik, illetve szakaszonként – a hőtágulás miatt – kompenzátorokat kell elhelyezni, amelyek további nyomásesést okoznak. A pontos értéket a csősúrlódás okozta veszteségről, illetve az emiatt bekövetkező nyomásesésről csak konkrét helyszíni tervek alapján, a terep ismeretével lehet nyilatkozni. [8]

### 3.3. Magyarország geotermikus potenciáljának vizsgálata

#### 3.3.1. MAGYARORSZÁG GEOLÓGIAI ADOTTSÁGAI

Rengetegszer lehet hallani, hogy Magyarország geotermikus nagyhatalom, ehhez képest, viszonylag alacsony ennek a potenciálnak a kihasználtsága. A geotermikus kutak szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a hőmérsékleti gradiens, a másik pedig a kőzetek típusa, hővezető képessége. A hőmérsékleti gradiens meghatározza, hogy a földben lefele fúrva milyen gyorsan változik a hőmérséklet. A hőmérsékleti gradiens, valamint a kőzet hővezető képességének szorzataként határozható meg a hőáram. Jelentős szerepet tölt be a hőáram a geotermikus rendszereknél, hiszen minél nagyobb, annál kevesebbet kell lefúrni, a kútmélység csökkentésével pedig a költségek is jelentősen csökkenthetők.

A becslések szerint a geotermikus potenciálnak jelenleg mindössze 10%-a van kihasználva Magyarországon. A 2020 januárjában kiadott magyar energiastratégiában szerepelt, hogy a geotermikus energia kiaknázása a geológiai adottságok függvényében megtérülő, versenyképes technológia lehet, ugyanakkor megfelelő ösztönzők szükségesek lehetnek a piac serkentésére, ahogy az a napenergiánál is megfigyelhető volt. [9]



8. ábra: Hőmérséklet 2 kilométer mélységben [10]



Ugyanakkor a magyarországi geotermikus hőhasznosítás két részre célszerű bontani. Egyik része magának a hőnek a közvetlen hasznosítása, ami jelenleg Magyarországon is több helyen bevett, ipari szektorban vagy távhőként, de még így is nagyon alacsony a lehetőségekhez képest. A másik pedig a meglévő hőteljesítmény átalakítása villamos energiává. Ez utóbbi esetben beszélünk geotermikus erőműről. A következő fejezetben ezen két tekintetben vizsgálja a magyarországi projekteket.

### 3.3.2. A MAGYARORSZÁGON MŰKÖDŐ ÉS MŰKÖDTETNI KÍVÁNT MAGAS HŐMÉRSÉKLETŰ GEOTERMIKUS RENDSZEREK

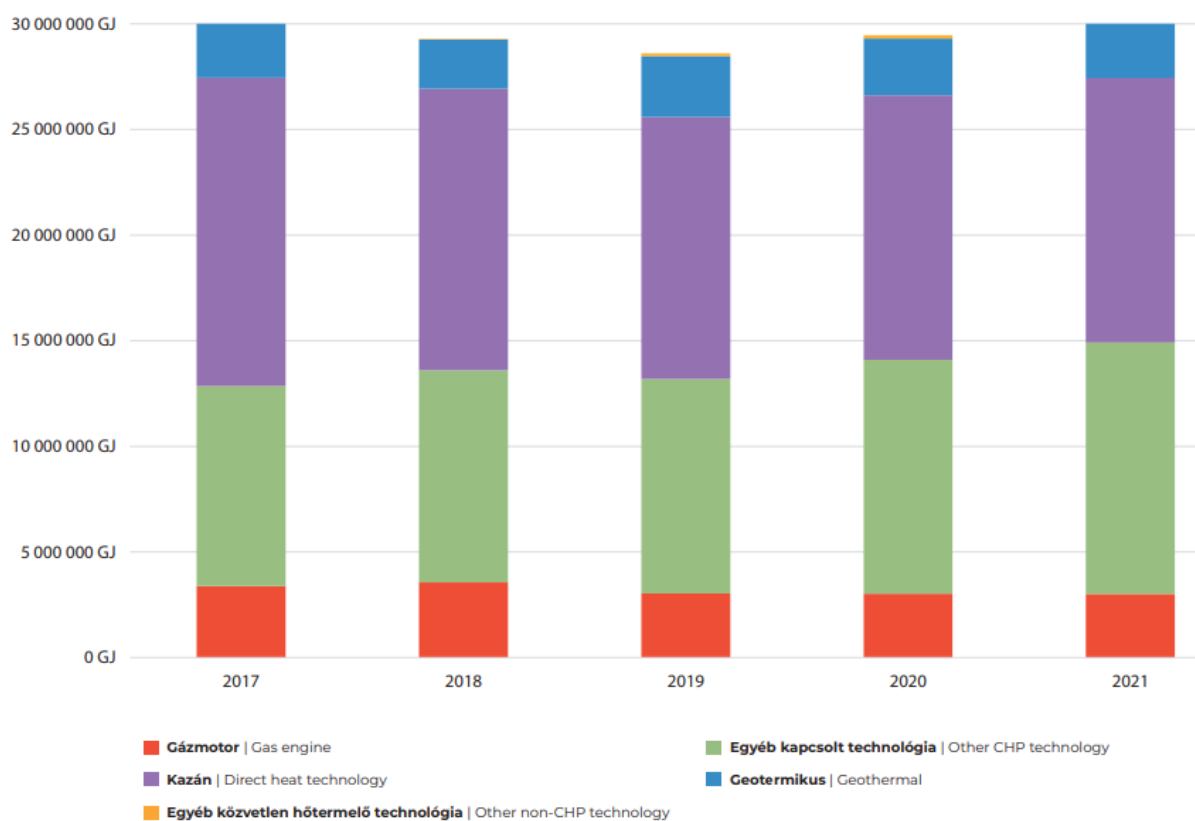
Napjainkban Magyarországon a kiaknázott geotermikus forrásaink nagyon nagy részét hő formájában hasznosítják. Ez a hő sokszor a turizmusban, ipari folyamatokhoz, vagy mezőgazdaságban kerül felhasználásra, valamint nem utolsósorban távhő rendszerek forrásaként is szolgál. Összességében Magyarországon jelenleg elenyésző számú olyan kút ismert, ahol megfelelő minőségi és mennyiségi tulajdonságokkal rendelkező termálvizet termelnek ki. Természetesen ezen kutak számának bővítése fontos és előremutató lenne, hiszen többek között a Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig is kiterjed a geotermikus energia hasznosítására. Erre az energiatülszórás csökkentése érdekében is nagy szükség volna, kiemelten a 2022 telén kitört, Ukrajnában zajló háború óta. A Zöld Távhő Program megvalósítása során kitűzték a geotermikus forrás fűtési célú felhasználását a távhőszektor zöldítésére. Emellett kiemelten foglalkoznak az időjárástól független megújuló villamosenergia-termelés keretein belül a geotermikus energiával is. [9]

Szempontok	Tura	Bőny	Miskolc
Víz hőmérséklete [°C]	125	105	105
Max. vízhozam [l/s]	100	150	150
Hőteljesítmény [ $MW_{th}$ ]	7	52	55
Villamos teljesítmény [ $MW_e$ ]	~3	-	-
Kútmélység [m]	1500-2000	2000-2500	1000-2000
Rezervoár típusa	karbonát	karbonát	karbonát

2. táblázat: Jelentősebb kihasznált magyarországi geotermikus kutak jellemzői [11], [12]

Jelenleg mindössze a Budapeستől 40 kilométerre lévő Tura városában termelnek villamosenergiát az országos hálózatra. Emellett van néhány nagyobb hozamú és megfelelő hőmérsékletű kút, melyek vizét hőforrásként hasznosítják. Ezen kutak hőteljesítményét, a felszínre hozott víz hőenergiájának időszerinti deriváltját, az ebből kinyert villamos energiát, a kutak vizének hőmérsékletét, valamint a maximális hozamot a lenti táblázatban lehet fellelni. Ezen felül a kutakhoz tartozó rezervoár típusa és a kútmélység is meg lett adva. Értelemszerűen ezen kutak esetében kútpárról lehet beszélni, hiszen visszasajtolás történik.

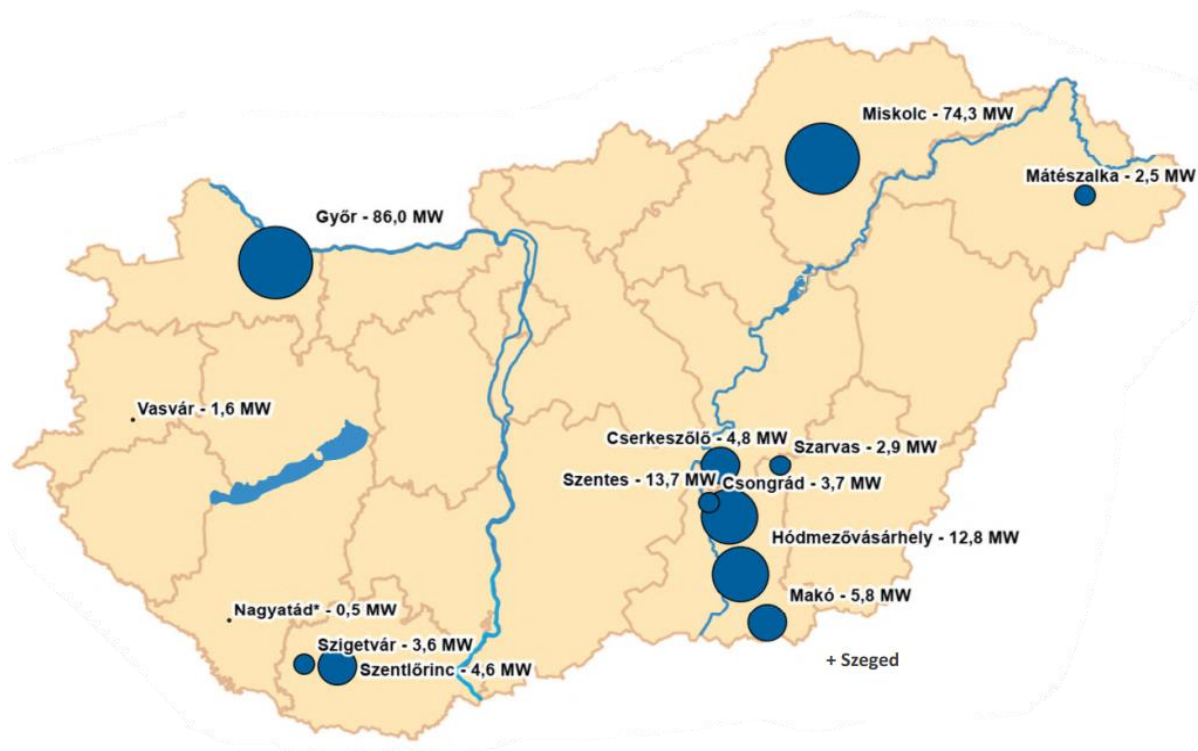
A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (továbbiakban MEKH) és a Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége (továbbiakban MaTáSzSz) kiadványából kiderül, hogy összességében 2900 TJ körüli a geotermikus energiából származó távhő mennyisége éves szinten, ami megközelítőleg a teljes távhőszolgáltatás 10%-át teszi ki. Ez a mennyiség 15 geotermikus rendszerből kumulálódik.



9. ábra: Hőtermelő technológiák részesedése a távhőtermelésben [13]

Magyarországon jelentős geotermikus betáplálással rendelkező – 50 MW feletti beépített hőteljesítő képességű – távhőrendszerek találhatóak Miskolcon és Győrben, valamint Szegeden (Hódmezővásárhelyen) és Szentesen is jelentős mértékű a geotermikus forrásból származó

távhő. Azonban elmondható, hogy sok kisebb rendszer is létezik főként a dél-alföldi régióban kisebb településeken is. Ezen rendszereket jeleníti meg a MaTáSzSz a lenti térképen.



10. ábra: Geotermikus távhőtermelők rendelkezésre álló hőteljesítő képessége településenként [13]

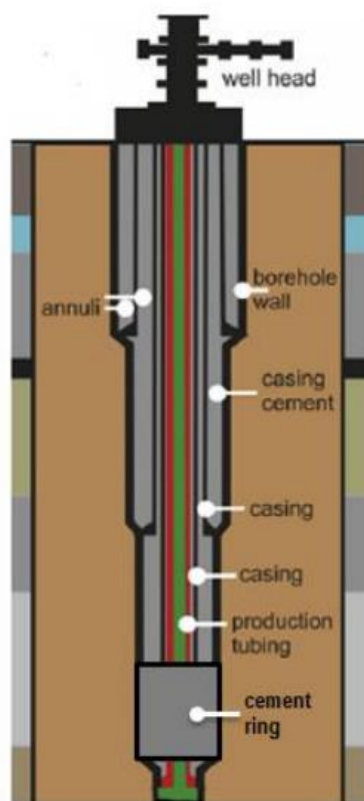
### 3.3.3. A TELEPHELY KIVÁLASZTÁSÁNAK ÁLTALÁNOS SZEMPONTJAI

A telephely kiválasztásakor az a cél, hogy megtaláljuk az olcsó kitermelési pont és a fogyasztási igények megfelelő optimumát. Vagyis amellet, hogy megfelelőek a körülmények a rendszer telepítésére, a telephely elhelyezkedése a fogyasztási igényeket is vegye figyelembe.

A geotermikus kút kitermelési pontjának meghatározásakor fontos figyelni arra, hogy a kitermelés közelében legyen kereslet a hőre, akár ipari, akár intézményi és lakossági távhőszolgáltatásként. Ugyanakkor mivel villamosenergia is értékesítésre kerül, így nem árt, ha megfelelő hálózati kapcsolódási pont is rendelkezésre áll. A helyi villamosenergia-igények vizsgálata is fontos, mivel a projekt célja a helyi igények kiszolgálása és akár autonóm rendszert is lehetne így üzemeltetni. Ugyanakkor a villamosenergiát nagyobb távolságokra is egyszerűen lehet továbbítani, a megfelelő piac is rendelkezésre áll, vagyis ezen szempont csak másodlagos a hőigénnyel ellentétben. A hőigények tekintetében szükséges megvizsgálni az igények szezonálisát, valamint napon belüli eloszlását is. Érdemes olyan fogyasztókat keresni, ahol

az igények viszonylag jól megbecsülhetőek, és az igények időfüggése is ideális. Időfüggés tekintetében a szezonális kihasználásra lesz nagy hatással, hiszen alapvetően a fűtési szezonban lesz nagy igény. Ez alól természetesen kivételt képeznek a fürdők, és egyéb állandó hőigénnyel rendelkező létesítmények. Összességében viszont a szezonális miatt fogja megérni villamosenergiát is termelni, hiszen annak jóval magasabb a kihasználási tényezője. Az időfüggés másik indikátora a napon belüli ingadozás, vagyis, hogy éjszaka kisebb kereslet van a hőre, illetve lakóházaknál reggel és este, míg intézményeknél főként napközben van jelentősebb hőfelhasználás. Ugyanakkor a hőigények és a hőtermelés – a villamosenergia-rendszerrel ellentétben – nem szükséges, hogy minden pillanatban egyensúlyban legyen. Ez a távhőrendszerek hőtehetlenségéből, és a hőmérsékleti tartomány szélességének megválasztásából következik. Így összességében egyfajta rugalmasságot tud adni egy kapcsolt rendszernek.

A kitermelés oldaláról történő telephely választásnak alapvetően a kút miatt van jelentősége. A kút fúrásának költségei jelentős szeletét teszik ki egy geotermikus beruházásnak, ezért érdemes lehet meglévő kútban, kútpárban gondolkodni. Van sikeres példa arra, hogy elhagyott olaj- és gázkutat alakítanak át a föld hőjének kinyerésére. [14]



11. ábra: Egy geotermikus kúttá utólagosan átalakított kőolajkút sémája [14]

Amennyiben szükséges a kútfúrás, akkor nagyon fontos földtani adatok és vizsgálatok alapján dönteni, hiszen rengeteg minden múlik a jó helyszínválasztáson. A föld alatti tározókat rezervoároknak nevezik, ezek feltérképezése nagyon fontos, hogy a kút jó helyen találja el a forrását. Ezen vizsgálatokkal elérhető, hogy ne kelljen a szükségesnél mélyebbre lefúrni, valamint a visszasajtolás okozta kihülés mértéke is csökkenthető. Meg kell vizsgálni a közegek típusát, mert az nemcsak a rezervoárról ad fontos jellemzőket, de a kútfúrásakor is nagy jelentősége van, hogy porózus vagy karsztos típus.

A telephely kiválasztásakor érdemes ügyelni arra, hogy a jelenlegi szabályzás szerint a kitermelt vizet hőjének hasznosítása után nem lehet kiengedni a környezetbe, hanem szükséges a visszasajtolás. Erre egy másik kútban kerül sor, hogy a rezervoárba máshol térjen vissza a hidegebb víz, így ne hűtse ki a termelő kút vizét. Ezt a távolságot szintén a földtani vizsgálatok, a rezervoár határozza meg. Lényegében ez azt jelenti, meg kell tudni oldani a felszínen a kitermelt víz eljuttatását a két kút között, biztosítani kell a csővezetékét, ahol megteszi ezt a távolságot. Ismételten kiemelendő, hogy a visszasajtoláskor ugyanolyan kémiai összetételű vizet kell a föld alá juttatni, mint ahogy azt a felszínre hozták.

## 4. VILLAMOSENERGIÁT ÉS TÁVHŐT SZOLGÁLTATÓ RENDSZER MODELLJE

### 4.1. A modell célkitűzései

Alapvető felvetés, hogy a párhuzamosan hőt és villamosenergiát termelő rendszert tervezésekor kettő részre lehet elkülöníteni. Jelen fejezet elsősorban a villamos energia termelésére koncentrál. Mivel távhőellátás bevezetésével a kúthoz tartozó hőtéljesítményt megosztjuk az üzemvitel szempontjából éppen optimális arányban, ezért a villamosenergia-termeléskor a kisebb bevezetett hőtéljesítmény a körfolyamat tömegáram csökkenésében jelentkezik. Ennek megfelelően, ahol lehetett, ott fajlagos értékek kerültek kiszámításra.

Bár a korábbi fejezetben tárgyalt moduláris blokkok kerültek elsőként szóba az újonnan kiépíteni kívánt erőműnél, ennek ellenére fontos tisztán látni, hogy mivel járna, ha saját tervek alapján készülné az erőmű. Itt megjegyzendő, hogy fontos szempont volt az összehasonlíthatóság, egyrészt a más-más bemeneti paraméterrel rendelkező rendszerek között, másrészt pedig ezek viszonyítása a moduláris blokkokhoz. A különböző paraméterekhez különböző telephelyek lettek rendelve, amik közül a számítás bemutatására legalkalmasabbnak vélt példát igyekeztem hozni minden részszámításnál.

A számolásokban a különböző szignifikáns bemeneti paraméterek alapján összesen 4 típusú telephely került meghatározásra, ugyanakkor ezen értékek változtatásával továbbiak létrehozása lehetséges. Minden telephelyen külön kiszámítható a választott munkaközegekre a hősémához szükséges összes paraméter.

A számolás első felét a FluidProp segítségével végeztem, melyben olyan összehasonlító modell elkészítése volt a cél, ahol a különböző lehetőségek paramétereit könnyen lehet egymáshoz viszonyítani. A bemenő, változtatható paraméterek a geotermikus hőforrás hőmérséklete és a hőelvonó közeg hőmérséklete. Első körben a körfolyamat tömegárama, illetve a hőforrás és hőelvonó közeg anyaga nem lett megadva, illetve kalkulálva, mivel alapvetően a termodinamikai folyamat fajlagos paramétereinek meghatározása volt a cél. Ezen adatok a hőcserélőkben végbemenő hőközlési folyamatokat, így a végső teljesítményt befolyásolják. Mindezek meghatározása azonban csak később, a számolás második felében, a Cycle-Tempo

programmal készített modellnél kerül elő. Ugyanakkor már e számítás kialakításánál figyelembe lett véve a kompresszor (szivattyú) és a turbina (expander) hatásfoka, melyek a számolást kis mértékben befolyásolják.

A kalkuláció során meghatározott karakterisztikus pontok paramétereinek meghatározása történik első körben. Ezen pontok jellemzően az egyes folyamatok végpontjaihoz, valamint az anyag szaturációs görbéjén jól vizualizálható (12. ábra: bután telítési görbéjére felvett ORC körfolyamat). A (3'') pont gyakorlatban a (3) pontnak felel meg, kitevők használatánál csak 3 pontként lesz hivatkozva. A (3') pont a hőbevezetés azon pontja, ahol az izobár vonal metszi a telítési görbe folyadék felét. A (4'') pont valóságban nem feltétlen része a körfolyamatnak (csak akkor, ha az expanzió a kétfázisú részben ér véget), de azt a pontot jelöli, ahonnan a hőelvonás indulna, ha pontosan telített gáz fázisvonalról beszélünk e hőelvonás kiindulásakor.

A karakterisztikus pontok közül ismert fajlagos gőztartalom az (1) és (3') pontokban 0%, a (3'') és a (4'') pontban 100%, míg a (2) pontról azt tudjuk, hogy csak folyadék fázisban van, a (4)-es pont, ha nem esik egybe (4'')-el akkor kétfázisú, vagy túltelített mezőben is lehet a munkaközeg típusától függően.

A hőmérsékleteket a hőelvonás, illetve hőbevezetés esetében a 5 fokos hőfokrást vettem fel alapértelmezetten, vagyis a hűlő és felmelegedő közeg között ekkora a minimális hőmérsékletkülönbség, de ez is egy változtatható paraméter, akár 2 fokos hőrésig is le lehetne menni megfelelő hőcserélő méretezéssel és választással. Ez alapján a geotermikus forrás hőmérséklete és a hőelvonó közeg hőmérséklete alapján meghatározhatóak a körfolyamat egyes pontjainak a hőmérsékletei a (2)-es és a (4)-es pontok kivételével.

#### *4.2. A körfolyamat sarokpontjainak meghatározása*

A számolás első lépéseként azoknak a pontoknak a nyomásértékei kerültek meghatározásra, melyek a telítési görbére esnek. Ezek az (1), (3'), (3'') és (4'') pontok, ahol a nyomás értéke a  $p(T,q)$  függvény alapján lett meghatározva, vagyis az izotermák és a fázisgörbe alapján – melyen ismert a fajlagos gőztartalom – a két görbe metszése egyértelműen meghatározza az adott pontot. (2) pont nyomásáról tudni lehet, hogy megegyezik a (3') és a (3'') pontok nyomásával, hiszen a hőbevezetés állandó nyomáson, izobár módon történik. Természetesen a hőcserélőben minimális nyomásesés lép fel, de az jelen esetben elhanyagolhatónak tekinthető és majd csak a Cycle-Tempoban végzett körfolyamati szimulációnál lesz számításba véve. A

(4) pont nyomását a kondenzátorban és a hőcserélőben szintén állandó nyomású hőelvonás alapján vettem fel, tehát eme pont nyomása az (1) és a (4'')-vel egyezik meg.

Az entalpia és entrópia értékei az (1), (3'), (3'') és (4'') pontokra szintén a hőmérsékletből és a fajlagos gőztartalomtól lettek kiszámolva. Mivel a kompresszor (szivattyú) és a turbina (expander) hatásfoka figyelembe lett véve, így a (2) és (4) pontok entalpiájához először a reverzibilis pontok entalpiái –  $h_{2,iz}$  és  $h_{4,iz}$  – a nyomásból és entrópiából a  $h(p,s)$  függvénnyel lettek meghatározva, hogy aztán a gépek hatásfokával korrigálva kijöjjön a valós (irreverzibilis) pontok entalpiája. Ez az alábbi függvények szerint valósult meg:

$$h_2 = \frac{(h_{2,iz} - h_1)}{\eta_K} + h_1 \quad (4.2.1.)$$

$$h_4 = (h_{4,iz} - h_3) \cdot \eta_T + h_3 \quad (4.2.2.)$$

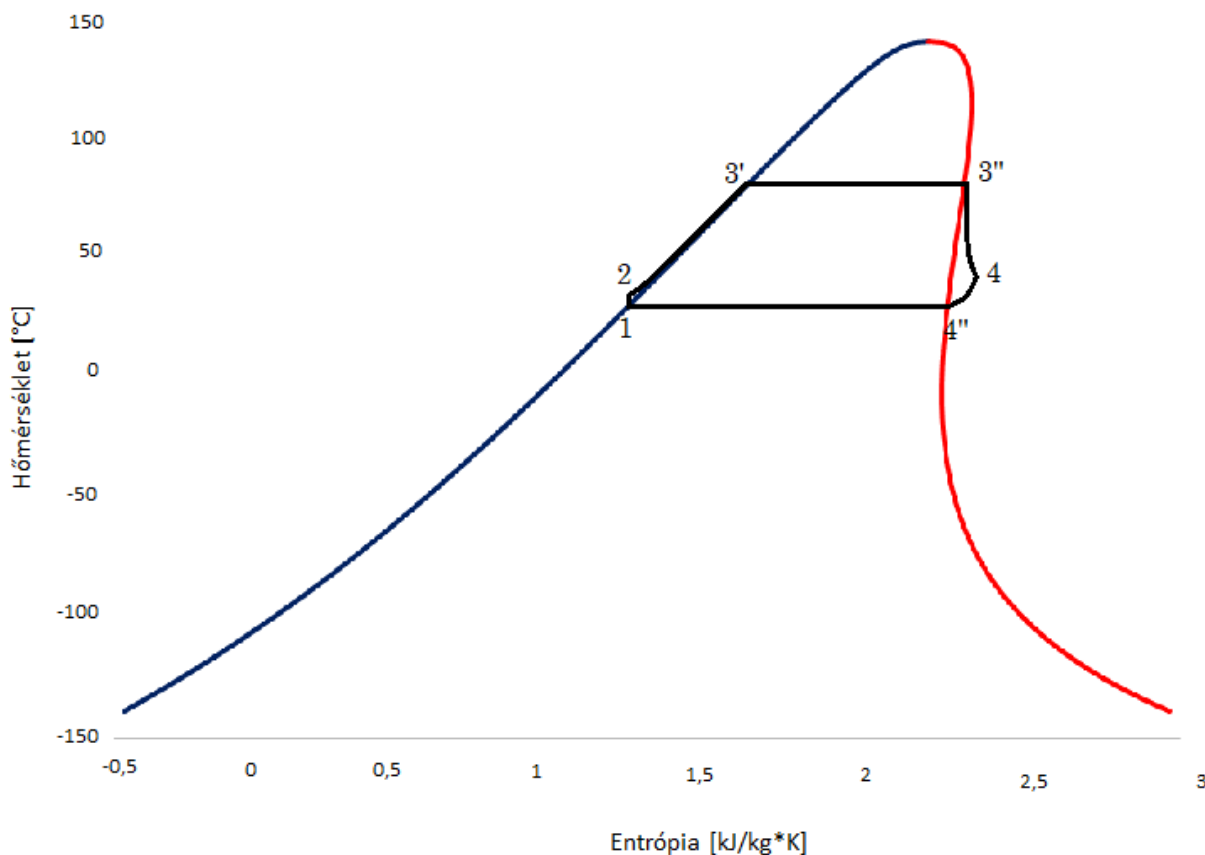
Miután mindez ki lett számolva – vagyis az (1), (3'), (3'') és (4'') pontokra minden adott, valamint a (2) és (4) pontoknál adott a nyomás és az entalpia – a (2) és (4) pont hőmérsékletét és entrópiáját a nyomásból és az entalpiából ki lehet kalkulálni a  $T(p,h)$  és  $s(p,h)$  függvények segítségével.

Minden FluidProp-ban végzett számításhoz a munkaközeg a FreeStanMix-ből lett behívva. A FreeStanMix modell a PRSV állapotegyenletet valósítja meg, amely az egyik legpontosabb köbös állapotegyenlet a nem ideális gázok és folyadékok tulajdonságainak előrejelzésére. A hivatkozott munkaközegknél különösen jó eredményeket ad a telítettségi tulajdonságok becslésére, továbbá kiemelkedő olyan folyadékok esetében, amelyekre a RefProp nem áll rendelkezésre, mivel a folyadék modellezéséhez csak egyetlen paraméterre van szükség.

Végző soron a (4) pont fajlagos gőztartalma került kiszámításra, az alábbi képlettel:

$$x = \frac{s_4 - s_1}{s_{4''} - s_1} \quad (4.2.3.)$$





12. ábra: bután telítési görbéjére felvett ORC körfolyamat

Természetesen ez csakis, akkor értelmezhető, ha a kétfázisú részben ér véget az expanzió. Erre külön vizsgálat került felállításra számolások során, így ha az expanzió nem a kétfázisú részben ér véget, azt is megjeleníti a program. Ennek előnye, hogy az adott hőmérsékletpár között a használt munkaközeg típusát jelöli. A munkaközeg újraszortírozásával nagy előrelépés történt a közeg optimális kiválasztásához, ezzel ugyanis az adott hőmérséklet-tartományban a használt anyag fázisgörbéjének a karakterisztikáját lehet megjeleníteni. A fázisgörbéhez való közelséget a kétfázisú részben az mutatja meg, mennyire közelít a szám (a fajlagos gőztartalom) a 100%-hoz, míg a gázhalmazállapotban ezt a (4) és a (4'') pontok hőmérsékletének különbsége jelzi. Ez a kettő típus a körfolyamati elemek összeállításánál is fontos lesz, hiszen utóbbi esetben mindenképpen célszerű belső hőcserélőt alkalmazni.

A számolás gyakorlatilag akárhány munkaközegre elvégezhető, a termodinamikai körfolyamat paraméterei és – a munkaközeg újraszortírozásának értelmében – az expanzió jellege alapján kiválasztható a megfelelő munkaközeg. A különböző munkaközegtípusokra kiszámolva megfigyelhető, hogy az adott hőmérsékletpár között a bután száraz, míg a propán

nedvesítő munkaközegként viselkedik, ezért az első esetben belső hőcserélő beépítése szükséges, míg a másodiknál ez elhagyható. Értelemszerűen a belső hőcserélő alkalmazásakor a felállított modell átalakul, hiszen a száraz munkaközegek esetében a hőelvonás első részében elvont hőt – ahol nincsen fázisváltozás – előmelegítésre fel lehet használni. Ezt az extra hőmennyiséget természetesen már a Cycle-Tempo modellben is figyelembe kell venni. [5]

freeStanMix; butane					
	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg·K]	x [-]
1	35,0	3,287	-349,172	-1,290	0%
2	35,5	11,368	-347,646	-1,290	-
3'	85,0	11,368	-209,727	-0,876	0%
3''	85,0	11,368	76,673	-0,077	100%
4	50,8	3,287	35,422	-0,045	-
4''	35,0	3,287	6,614	-0,136	100%

3. táblázat: Bután munkaközegű körfolyamat sarokpontjainak paraméterei

Ezzel szemben propán alkalmazása esetében ez az extra hőcserélő nem szükséges, mivel az expánzió a kétfázisú részben ér véget, 95%-os telítettséggel.

freeStanMix; Propane					
	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg·K]	x [-]
1	35,0	12,257	-337,077	-1,528	0%
2	37,4	34,616	-332,049	-1,527	-
3'	85,0	34,616	-150,227	-0,986	0%
3''	85,0	34,616	-0,974	-0,570	100%
4	35,0	12,257	-33,541	-0,543	95%
4''	35,0	12,257	-18,510	-0,494	100%

4. táblázat: Propán munkaközegű körfolyamat sarokpontjainak paraméterei

### 4.3. Különböző paraméterek telepítések, telephelyek megadása

A számítások kialakításánál figyelembe lett véve, hogy az eredeti projekt célja több kisebb termelőegység összekapcsolása. Ugyanis tervben volt, illetve hosszú távon továbbra is tervezik egy nagyjából 100 MW-os virtuális geotermikus erőmű létrehozását. Éppen ezért nagyon fontos, hogy a különböző erőművekre könnyen kiszámíthatók legyenek a várható termelés paraméterei. Ennek köszönhető az is, hogy könnyen lehet változtatni a pontos kialakítás, a kapcsolás, illetve a hőforrás- valamint a környezeti hőmérsékletek változtatásának függvényében a bemeneti paramétereket. Mint korábban említésre került, alapértelmezetten 4 telephelyet definiáltunk, a kút hőmérséklete (90 °C és 100 °C) valamint vízhozama (60 l/s és 80 l/s) alapján, és így különféle összehasonlítások készültek.

1. típusú telephely						
	$w_p$ [kJ/kg]	$w_T$ [kJ/kg]	$w_{net}$ [kJ/kg]	$q_{be}$ [kJ/kg]	$q_{el}$ [kJ/kg]	$\eta_{th}$ [-]
Izopentán	1,187	40,047	38,860	415,627	376,767	9,35%
Bután	1,525	41,252	39,726	424,320	384,594	9,36%
Pentán	0,567	42,854	42,287	443,667	401,380	9,53%
Propán	5,028	32,567	27,539	331,075	303,536	8,32%
n-Hexán	0,229	43,260	43,031	449,369	406,338	9,58%

5. táblázat: 1. típusú telephely különböző munkaközegekre kiszámított eredményei

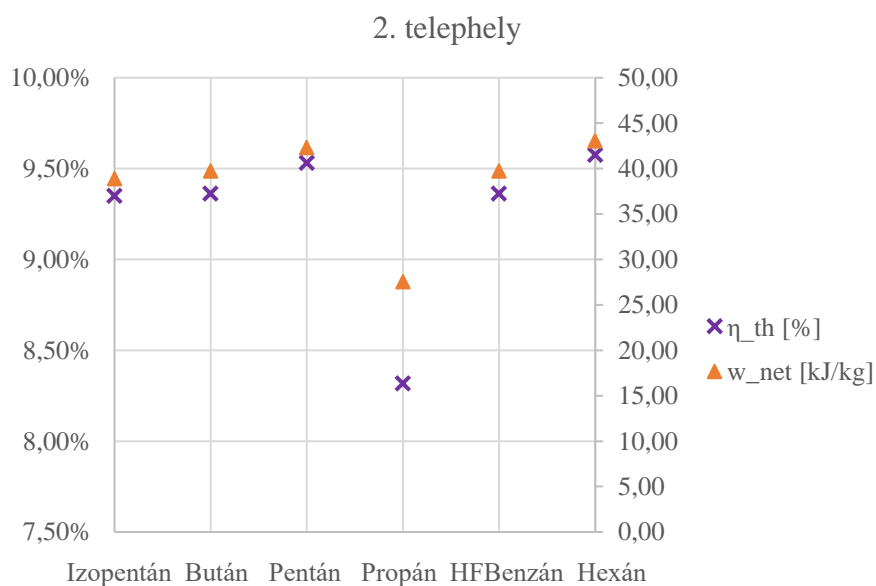
Fontos kiemelni, hogy pontos teljesítmények nem lettek meghatározva ennél a számításnál, mindössze a fajlagos értékek, aminek az az oka, hogy a pontos tömegáram nem csak a telephelyen megtalálható kúton múlik. Eredetileg a tömegáram is bemeneti paraméter lett volna, ugyanakkor azzal, hogy párhuzamos villamosenergia- és távhőszolgáltatást szeretnénk fenntartani, így az üzemviteltől függővé vált a tömegáram, tehát az igények kielégítésére lett optimalizálva a termelés, nem pedig a maximális hatásfokra. Ezek miatt a hőségében a fajlagos értékek használata sokkal célravezetőbb. Fontos, hogy minimális villamosenergiaigény mindig van, mivel, ha magas a hőigény, akkor a távhőszolgáltatásban alkalmazott szivattyúk teljesítményfelvétele is magas.

3. típusú telephely						
	$w_p$ [kJ/kg]	$w_T$ [kJ/kg]	$w_{net}$ [kJ/kg]	$q_{be}$ [kJ/kg]	$q_{el}$ [kJ/kg]	$\eta_{th}$ [-]
Izopentán	1,429	47,212	45,783	431,188	385,405	10,62%
Bután	2,017	48,203	46,186	436,305	390,120	10,59%
Pentán	0,767	50,505	49,738	459,890	410,152	10,82%
Propán	6,514	33,174	26,661	304,865	278,204	8,75%
n-Hexán	0,318	51,128	50,810	467,242	416,432	10,87%

6. táblázat: 1. típusú telephely különböző munkaközegekre kiszámított eredményei

Értelemszerűen az összhatásfok változni fog a pontos tömegáram függvényében, ezért is nagyon fontos, hogy minél inkább rugalmasá lehessen tenni a szabályozást. A komprimálást végző egységet, a szivattyút, valamint az expandert is úgy kell megválasztani, hogy képes legyen a szabályozást lekövetni.

A 2. telephely esetében a különböző munkaközegek használata esetén mutatott várható körfolyamati hatásfok és kinyerhető fajlagos munka látható. Megfigyelhető az esetek többségében (más telephelyeknél is jellemző), hogy adott körülmények között közel másfélszerese a hatásfok a moduláris blokkokhoz viszonyítva.

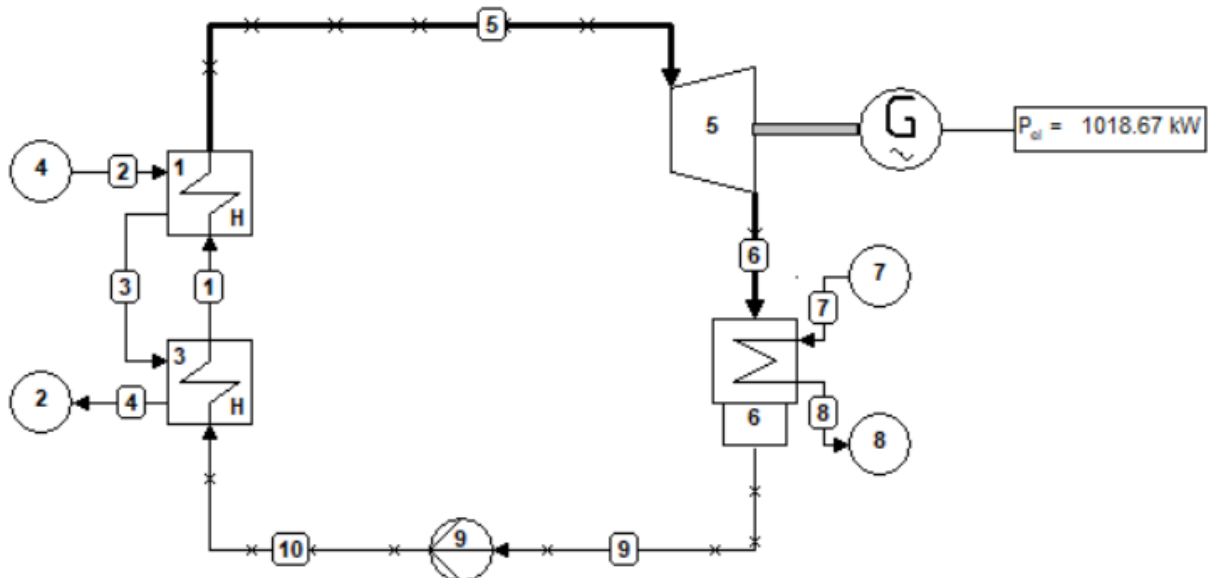


13. ábra: 2. típusú telephely különböző munkaközegre vetített eredményei

#### 4.4. A modell összeállítása Cycle-Tempo hőszámszámító környezetben

A kiszámolt körfolyamati pontok és az azokból levont következtetések alapján a Cycle-Tempo program alapján lehet összeállítani a megfelelő modellt. Bár a FluidProp-ban végzett számolás célja az összehasonlítás, a modellezés során is lehet a többféle összeállítás tulajdonságaiból fakadó eltéréseket vizsgálni. Ugyanakkor nagy könnyebbséget jelent az modellezésben, hogy ismert a termodinamikai körfolyamat sarokpontjainak, valamint a berendezéseknek közel összes paramétere. Ez segíti a pontos berendezések összetételének meghatározását: az expanzió végpontjának helye szerint szükség van-e belső hőcserélőre vagy más kialakítás is jó. Emellett természetesen az értékek pontosabb bemeneteli adatainak meghatározásában is segíthet, valamint kiemelten az ellenőrzésben, a hibás számítások feltérképezésében.

A lenti modell a 4. telephely paramétereire választott propán munkaközeggel töltött rendszert mutat be. Ez esetben nem szükséges a belső hőcserélő alkalmazása, mivel az expanzió végpontja a kétfázisú mezőben 87%-os fajlagos gőztartalomú. A 4. telephelyre jellemző, hogy 60 literes másodpercenként 100 Celsius fokos termálvizet használ, és a hőelvonás 10 Celsius fokon történik.



14. ábra: ORC propán munkaközeg alkalmazásával a 4. típusú telephelyre

A fenti példa ugyan csak egy a szimulált kimenetek közül, de az kiköthető, hogy minden egység beépített villamos teljesítménye 0,5 - 1 MW<sub>e</sub> körüli. A távhőrendszer felállításával a

tömegáram megoszlik, így az éppen optimális arányú hő- és villamosenergia-termelési pont megtalálása után a tömegáramot kell szabályozni.

#### *4.5. Minimális forráshőmérséklet*

A villamosenergia-termelés minőségi korlátba ütközik, ha a hőforrás hőmérséklete egy bizonyos hőmérsékleti érték alá csökken. Természetesen a szerves Rankine-ciklusnak pont az az előnye, hogy a szerves munkaközeg megválasztása lehetővé teszi, hogy gyakorlatilag bármilyen hőmérsékletpár között működő körfolyamatot hozzunk létre. Ugyanakkor, ha a szélsőhőmérsékletek közötti hőfokrés túlságosan kis értéket vesz fel, akkor a veszteségmentes körfolyamati hatásfok (Carnot hatásfok) radikálisan lecsökken, amivel összességében a villamosenergia-termelés már nem lesz gazdaságos. Persze, ha lenne mód a hőelvonás hőmérsékletét radikálisan csökkenteni, úgy ez a probléma nem állna fenn, sőt úgy a hatásfokot nagy mértékben lehetne javítani, csak a hőterhelésre kellene jobban odafigyelni. Erre példa egy másik kutatásban bemutatott tanulmány, ahol az LNG visszagázosításakor használtak hidegenergiát a körfolyamat hidegoldalán a kondenzátorban, és így akár jóval  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alá is le tudtak menni. [15] Azonban annak az esélye, hogy egy geotermikus kút mellett egy ilyen visszagázosító terminált találunk gyakorlatilag zérus. Összefoglalva tehát csak a hőforrás minimális hőmérséklete lesz a mivel a körfolyamati hatásfokot optimalizálhatjuk, a hőelvonás szezonálisan ugyan ingadozik, de bizonyos korlátok mindenképp fennállnak. A kutatást kiegészítően fontos elemnek bizonyult meghatározni, hogy meddig csökkenthető optimálisan a kútnak a hőmérséklete.

## 5. A DÉL-ALFÖLDI ÚJ GEOTERMIKUS ERŐMŰ TERVEZÉSE

### 5.1. Telephely kiválasztása

A telephely megállapítása az irodalomkutatásra alapozva a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Országos Geotermikus Rendszer (OGRe) adatbázisa segítségével történt. Elődlege- sen peremfeltétel természetesen az volt, hogy Magyarországon kell legyen az erőmű. Az OG- Re adatbázisában minden Magyarországon működő és lezárt kút a legfőbb paramétereivel együtt megtalálható. A tanulmány szempontjából a kútra legfontosabb adatok a kút hozama, talp- és felszíni hőmérséklete, a metán (és egyéb más gáz) tartalma, valamint a kút nyomása. [16] Az elsődlegesen felállított keresési paraméterek a következők voltak:

- minimum 90 °C a kút felszíni hőmérséklete – a villamosenergia-termelése ezen hőmérséklet alatt már racionálisan nem kivitelezhető (ahogy ez korábban már is- mertetésre került)
- minimum 60 l/s vízhozam, mivel egy adott volumen felett gazdaságos bármiféle rendszert kiépíteni
- elsősorban túlnyomásos kút keresése, így meg lehet takarítani nagy mennyiségű szivattyúzási energiát – ezt a szempontot végül másodlagossá kellett nyilvánítani, mivel túlságosan is korlátozta a lehetőségeket
- vízminőség, oldott gáztartalom, ami főként metánt és szén-dioxidot jelent

A fent meghatározottak alapján néhány ideálisnak tűnő kutat határoztunk meg, elsősorban a Dél-Magyarországon. Ezek közül többnek is hiányosak voltak a paraméter listái, ezek meg- határozása kulcsfontosságú amennyiben azon kutakra szeretnénk a rendszert alapozni.

A másik fontos szempont a helyszín kiválasztásakor a hőigény, ami a település intézmé- nyeitől, valamint esetlegesen a közelben lévő ipari létesítménytől függ.

Az összes szempont figyelembevételével a megvizsgált kutak három termelő kútra lettek csökkentve, az egyik a Nagyszénás B-13 kút, a másik a Balotaszállás K-22 kút, a harmadik pedig a Szarvas K-110 kút. Mindhárom esetben jelenleg lezárt kutakról beszélhetünk, de ké- pesek a megfelelő hozamra.

Kút neve	Nagyszénás B-13	Balotaszállás K-22	Szarvas K-110
<b>Település</b>	Nagyszénás	Balotaszállás	Szarvas – Csabacsüd
<b>Forráshőmérséklet</b>	90 °C	101 °C	98 °C
<b>Vízhozam</b>	> 60 l/s	> 60 l/s	> 60 l/s
<b>Vízminőség</b>	megfelelő	megfelelő	megfelelő
<b>Hőigény</b>	jelentős	kevés	megfelelő
<b>Egyéb előny</b>	túlnyomásos	-	ideális lokáció
<b>Egyéb hátrány</b>	sok ismeretlen paraméter	sok ismeretlen paraméter, visszasajtoló kút hiánya	sok ismeretlen paraméter

15. ábra: Részletesen vizsgált telephely adatok

A fenti kutak közül a nagyszénási kutat a kútra vonatkozó bizonytalanság miatt kellett elvetni. Ezen kút korábban egy fürdőt szolgált ki, azonban a felújítás idejére lezárták a kutat és azóta eltérő információk találhatóak a kút használatával kapcsolatban. Ugyanakkor mivel nem csekély annak az esélye, hogy ismét használatban van, ezért nem tartottuk célszerűnek a rendszert erre építeni. Balotaszálláson a lehetséges termelő kút mellett sajnos nem áll rendelkezésre más megfűrt kút, amit a visszasajtolásra lehetne használni. A kútfúrással ugyanakkor a beruházás költségei jelentősen növekednének, így végül a Szarvas K-110 kút lett a befutó. A Szarvas és Csabacsüd között elhelyezkedő kút esetében kiderült, hogy akár 80 l/s tömegáramú közeg is rendelkezésre áll 98 °C-on és megfelelő egyéb minőségi jelzőkkel. A visszasajtolásra pedig a Csabacsüd B-50 kút lett választva. Ez a kút sincsen jelenleg használatban, így a visszasajtolás megoldható.

## 5.2. Az erőmű összeállítása

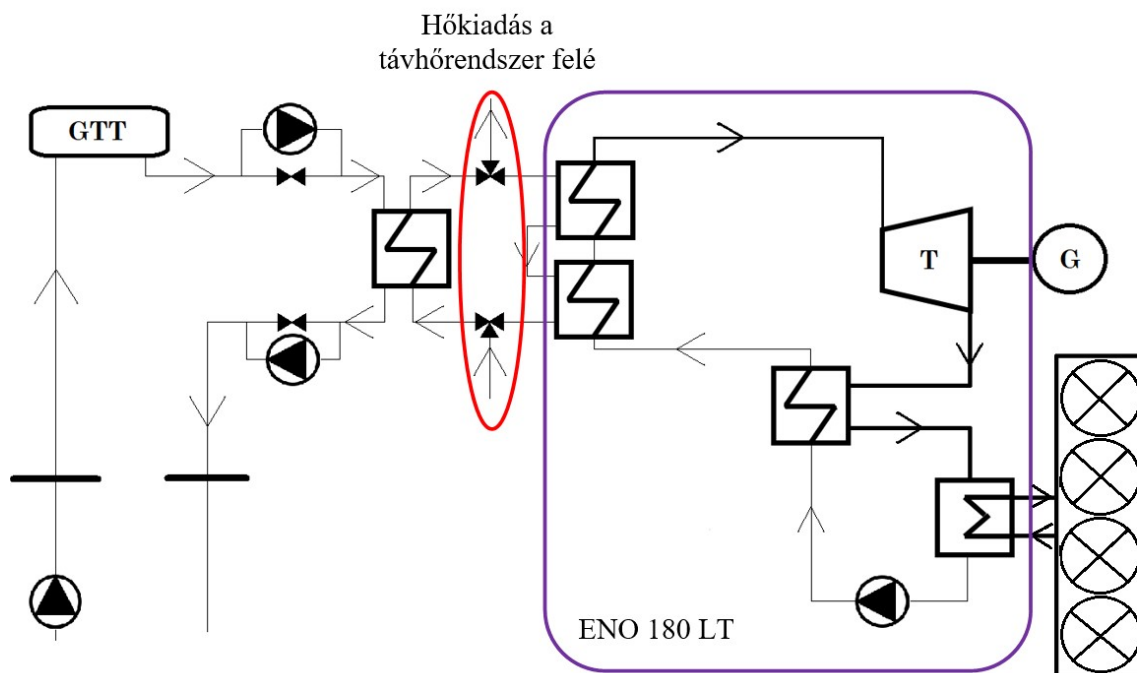
Az irodalomkutatás során, valamint az árajánlatok bekérése alapján lett összehasonlítva az, hogy a villamosenergiát termelő alrendszer egyéni tervezés alapján legyen kivitelezve, vagy a moduláris ORC megoldása az optimálisabb. A saját tervek mellett szólt egyértelműen, hogy a részletes és precíz kidolgozás után így lehet a legjobban az adottságokhoz illeszthető rendszert tervezni. Ez elsősorban azért érhető el, hogy a legmegfelelőbb munkaközeg és kialakítással a villamosenergia-termelés hatásfoka 10% körüli értéket vehet fel. Mindazonáltal ez a megoldás egy kiépítése hosszabb és költségesebb lenne. Emellett a rendszer termelésére se lenne referencia, tapasztalat. Ezzel szemben a moduláris bloknál pont ezek jelentik az előnyt,



igaz a hatásfok jóval alacsonyabb, valamivel több mint a kétharmada lenne. Csak viszonyítás-ként, ha az erőművet arányosítanánk a Turai geotermikus erőműhöz, akkor egyértelműen lát-szódna, hogy nem kicsi kiesésről beszélünk, még akkor is, ha Turán a vízhőmérséklet 27 °C-al magasabb. Ugyanakkor a korábban már összefoglaltakból az is kiderül, hogy az installáció könnyen áthelyezhető, rugalmas és historikus termelési adatok által megbízhatóan tervezhető a termelése, valamint az ismert ára miatt a megtérülése is pontosan kiszámolható.

Összességében a fenti szempontok alapján arra jutottunk, hogy a bizonytalanság csökken-tése fontosabb, és hogy a bizonytalanság miatt a beruházási akarat is valószínűleg csökkenne. Továbbá jelen kutatásban fontos szerepet kap a gazdaság elemzés, amit szinte lehetetlen lenne pontosan elvégezni a sok ismeretlen függvényében. Ennek értelmében a Szarvas – Csabacsüdi geotermikus erőműben a moduláris blokkok alkalmazás mellett döntöttünk.

Az erőműben 3 db ENO 180 LT típusú moduláris blokk lett elhelyezve. Ezeknek a névle-ges geotermikus hőigénye 98 °C-on 56 l/s, ami megközelítőleg 7500 kW<sub>th</sub>. Mint látható ez a tömegáram jóval a lehetséges 80 l/s alatt van. Azonban ez több szempontból is előnyös lehet, elsődlegesen nem szeretnénk, ha feleslegesen nagy kapacitást építenénk be, és sajnos van art-ra esély, hogy a hozam becslése pontatlan, vagy a közeljövőben csökkenteni szükséges a tö-megáramon. A másik szempont pedig értelemszerűen a távhő, aminek a kielégítésére is sze-retnénk hőt csoportosítani. Mivel a téli időszakban egyébként is jobb a villamosenergia-termelés hatásfoka, így kevésbé szükséges visszavenni a termelést a hőkiadás javára, ami ilyenkor jelentkezik. Ugyanakkor nyáron, amikor a hatásfok csökken, a névleges tömegáram fölé lehet menni, ezáltal pedig valamelyest kompenzálni a hatásfokcsökkenésből adódó ki-esést.



16. ábra: Kapcsolt geotermikus erőmű terve

A fenti ábrán látható az erőmű összeállítása, piros színnel jelölve a távhő irányába történő hőkiadás helyét, lilával pedig magát a moduláris blokkot. A három ENO 180 LT blokk párhuzamosan van kötve a rendszerre, és a hűtőkört száraz hűtőkkel látjuk el. A moduláris blokkhoz természetesen hozzátartozik a generátor is, ezt az ábra némiképp rosszul jelöli. Bár jelen esetben – mivel kész terméként vesszük az ORC berendezést – nincs komolyabb jelentősége, de megállapítható, hogy az 180 LT blokkok által használt R1233zd (Solstice zd) munkaközeg szárító munkaközegként viselkedik. Ezt a munkaközéget sokszor az R123 hűtőközeg kiváltójaként emlegetik, mert hasonlóan magas hatékonysággal rendelkeznek, ugyanakkor nem gyúlékony és a környezetre gyakorolt negatív hatása is jóval alacsonyabb (kisebb GWP). [17]

Tereplőkészítés a forrás kút mellett megjelölt helyen történik 1000 négyzetméteren, ugyanis ekkora helyen bőségesen elfér a három blokkot tartalmazó konténer, a hűtőrendszer, a szivattyúk, valamint kiszolgáló egységek. A villamos csatlakozást is természetesen ki kell alakítani. A terület nem esik természetvédelmi besorolás alá, így a szigorított követelményeknek nem kell megfelelni. Az erőmű elhelyezkedését, egységeit az alábbi térkép mutatja.



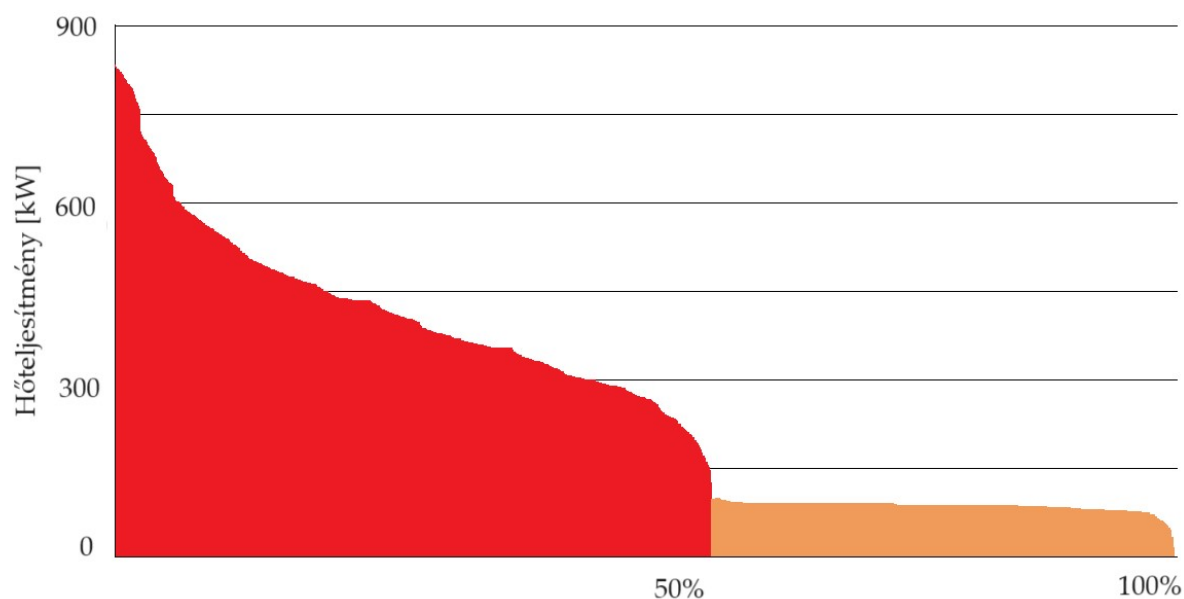
17. ábra: Szarvas-Csabacsüdi erőmű tervezett elhelyezkedése [18]

### 5.3. Távhőellátás a környező településeken

A távhő szolgáltatást kettő részre lehet bontani a Szarvas-Csabacsüdi geotermikus erőmű esetében. Első körben Csabacsüden az idősek otthona, az általános iskola és két nagyobb társasház hőigényének kielégítését célozná meg a projekt. Mivel a visszasajtoló kút Csabacsüden helyezkedik el, és a Szarvas K-110 kút Csabacsüdhöz közel helyezkedik el, így nagyobb mennyiségű távhővezeték lefektetése nélkül el lehet juttatni a hőt a fogyasztókig. Ráadásul az intézmények hőigény eloszlása ideális az erőmű szempontjából.

A másik megoldás a szarvasi távhőrendszer lehet, hiszen Szarvason geotermikus távhőrendszer jelenleg is üzemel. Az itteni rendszer csak fűtési hőt ad ki, HMV szolgáltatás nincsen. Ez alapvetően az apró méretéből adódik, ugyanis a szarvasi távhő rendszer mindössze 5200 GJ hőt ad le éves szinten. A Szarvasi Geotermális Távfűtőrendszer Üzletszabályzata alapján a fogyasztói kör kiterjesztése új felhasználókra és a rendszer bővítése lehetséges. Ebbe a rendszerbe való csatlakozás, a rendszer bővítésével, a két rendszer összekötéseinek költségeivel járna. [13], [19]

A fűtési igényt legtöbbször az épületek hővesztesége alapján szokták meghatározni. Ez egy épületállomány állapotával összhangban lévő mutató, ami az újépítésű házaknál már szabályozva van  $70-100 \text{ W/m}^2$  értékben. Ugyanakkor természetesen jelen helyzetben a csabacsüdi épületeket tekintve valamivel magasabb lehet – a pontos hőveszteség, és hőigény ismeretlen – így  $120 \text{ W/m}^2$  -el lett számolva, ami összességében  $7500 \text{ m}^2$  terület kifűtésére elegendő. [20]



18. ábra: Távhőellátás tartamdiagramja

A fenti tartamdiagram a távhő kihasználtságát mutatja, melyből kiemelendő az, hogy ha kizárólag távhőellátásra használnánk egy geotermikus kutat, akkor alig tudnánk kihasználni a természet adta hőben rejlő potenciált. Egyúttal érdemes azt is megfontolni – kisméretű rendszerek esetében – hogy megéri-e a háztartási melegvíz-fogyasztást is kiszolgálni.

A távhőrendszer, kivitelezést és tervezését a javasolt fenti két lehetőségen felül, illetve ezek pontosítását javasoljuk, más tanulmányokra alapozva. [21]

## 6. AZ ERŐMŰ MEGVALÓSULÁSÁNAK GAZDASÁGI VETÜLETE

Egy erőmű gazdasági számításit két részből kell összeállítani, egyfelől a beruházás költségeiből, mely egyrészt nagy mértékű tőkebefektetést igényel (CAPEX), másrészt pedig vannak folyamatosan jelentkező működési költségek is (OPEX). Természetesen ezen költségeket is befolyásolja a piaci környezet, a gazdasági válságok, világjárványok és háborús helyzetek mind hatással vannak rá. Ugyanakkor a másik oldalt a bevételeket ezen szituációk, a piaci környezet által sokkal radikálisabban befolyásolják. Ennek igazolását a fejezet első alfejezetében próbáljuk alátámasztani. A piaci környezet és a beruházás költségeiből pedig meghatározásra kerül az optimálisnak talált üzemvitele az erőműnek.

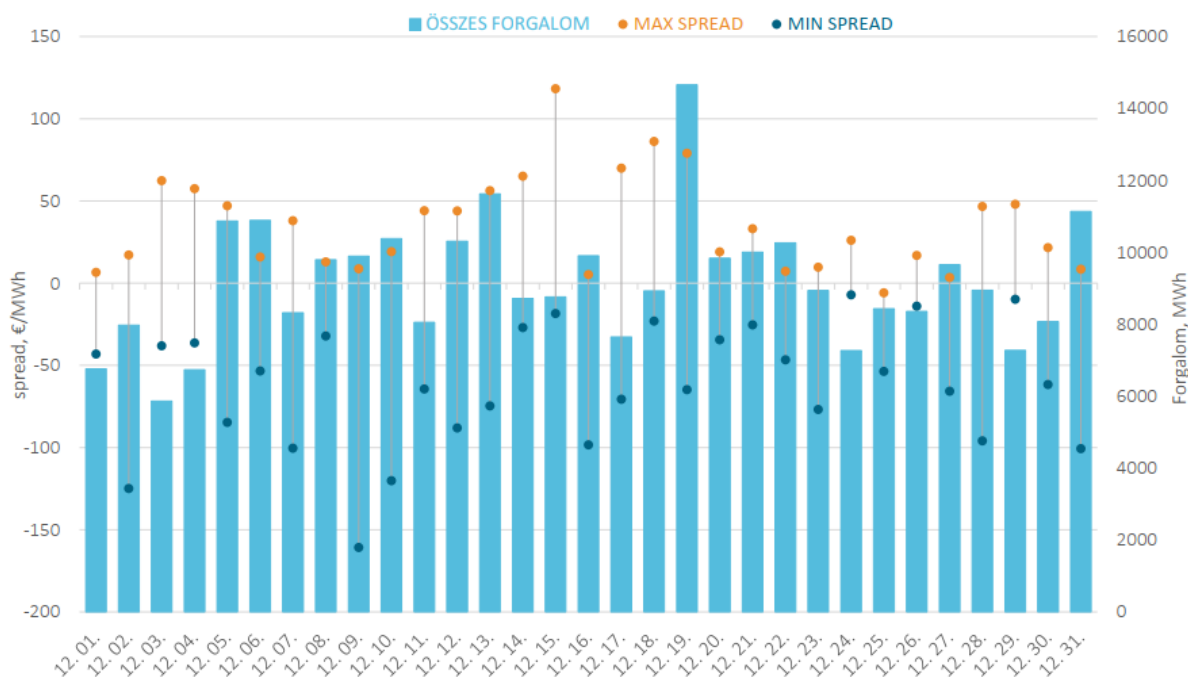
### *6.1. A piaci környezet bemutatása*

Az erőmű által előállított elsődleges termékek – jelesül a villamosenergia és a hő – mindenkori ára határozza meg a bevételeket, ami rámutat arra, hogy valójában milyen formában térül meg a beruházás. Emellett meg kell még említeni a rendszerszintű szolgáltatásokat is, itt főként mFRR kiegyenlítő szabályozási kapacitás piacon tud terméket kibocsátani az erőmű. Az alábbiakban elsődlegesen az energiadíjakra kell fókuszálni.

A hőenergiát előre szerződött áron lehet értékesíteni, ez rögzített érték, és hatalmas előnye a fagyasztók számára, hogy a piaci környezet változásától gyakorlatilag független. Vagyis hiába nő meg ugrásszerűen a földgáz ára – ahogy ez az elmúlt néhány évben megtörtént – a geotermikus erőmű által kiadott távhő költsége nem követi ezt a trendet. A hőt egységesen 2400 Ft/GJ áron szeretnénk értékesíteni. [22] Mivel rögzített érték így gyakorlatilag a hóból nem tervezünk extra profitot termelni.

A villamosenergia értékesítése ennél egy fokkal komplikáltabb. A vizsgálat során arra jutottam, hogy a másnapi piacon (day ahead market, továbbiakban DAM) szeretnénk elsősorban értékesíteni az energiát, valamint kis részben az aznapi piacon (intraday market, továbbiakban ID) is. [23] Az aznapi piacon lehetne elsősorban kihasználni a kapcsolt rendszer hőkapacitásából eredő rugalmasságot. Az ID piacon kétféle terméket lehet kereskedni, az órás és a negyedórás termékeket, a lenti ábra a 2022 decemberében az órás termékek árának alakulása mellett a lekereskedett mennyiséget is mutatja. Természetesen lehetne előre szerződni egy-

ségnyi energiára hosszútávon, de várhatóan a „termék leszállításához közeli” piacokon összességében nagyobb bevétel érhető el.



19. ábra: A HUPX intraday órás piaca, a napi kereskedési mennyiség és az árkülönbözet alakulása[23]

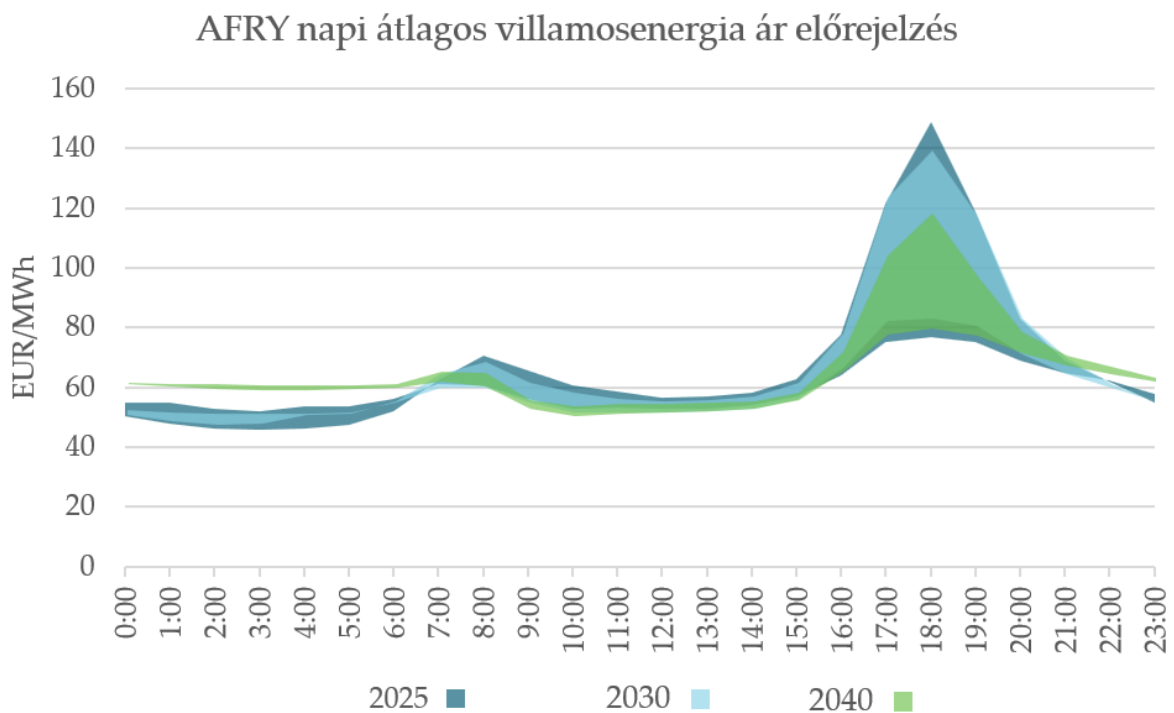
Adott esetben az üzemeltetés során ezen változtatni lehet a profitmaximalizálás érdekében. A DAM és ID piacokon az árak állandóan változnak, és itt a piaci környezet nagyon komoly hatással van az árakra. A villamosenergia-piacra ható két legfontosabb indikátor a földgáz ára és a szén-dioxid kvóta ára. Ismert dolog, hogy a földgáz és a villamosenergia ára nem lehet független, melynek gyakorlatilag a villamosenergia-termelésben résztvevő földgázüzemű erőművek az okai. Éppen ezért például egy az Északi Áramlattal 2022 szeptemberében történt váratlan eseményhez hasonló folyamatok az egyik napról a másikra rángathatják meg a DAM és ID piacokat. Mindazonáltal vannak hosszútávú trendek, a földgáz árában is, de a másik igen fontos tényezőben a CO<sub>2</sub> kvóta árában is. Szintén komoly meghatározó erővel bír a villamosenergia árára, mindazonáltal ezen a szén-dioxid piacon a váratlan kilengések kevésbé jellemzőek. Természetesen számtalan összetevő határozza meg a közép- és hosszútávon az ár görbe trendjét, például az villamosenergia-rendszer erőműállománya, az erőművek típusa, kora, megbízhatósága és a határkeresztező kapacitások rendelkezésre állása is.

Azonban nem csak a piaci környezetnek van hatása a villamosenergia árára, de az időjárás is jelentős szerepet játszik benne. itt célszerű megkülönböztetni azt, amikor a napon belül a megújulók miatt az árak szélsőséges értéket vesznek fel, hiszen ez a fajta kiszámíthatatlanság éves szinten kiszámítható mértékű. Más szavakkal azt, hogy egy évben/ évszakban milyen

gyakran lesznek szélsőséges árak a megújulók miatt nagyjából meg lehet becsülni. A másik időjárás alapú eset, ami viszont éves távlatban is jelentősen befolyásolhatja a trendet az kicsit más jellegű. Erre két szemléletes példát lehet hozni: egyik esetben nagyon enyhe tél következtében a téli igények jóval alacsonyabbak a megszokottnál, ez ráadásul az elektrifikációval (hőszivattyúk térnyerésével egyre jelentősebb lesz). A másik esetben egy aszályos időszakot feltételezünk, emiatt pedig a szivattyús energiatárolók, vízerőművek nyújtotta flexibilitás teljesítménye csökken, ami az árakra szélsőségesen hat, nagyon alacsony és nagyon magas árak alakulnak ki a völgy, illetve csúcsidőszakokban.

A villamosenergia árának becslése tehát piaci és időjárás alapon is történhet, illetve ezek mindenféle permutációjaként. Egyrészt a piaci alapú esetek alapján lehet meghatározni egy ár tartományt, másrészt pedig erre van extra hatással felharmonikusként az időjárás. Ugyanis megfigyelhető, hogy a trendeket nagyobb mértékben befolyásolja a piaci környezet, mint az időjárás. Összességében a piaci alapon meghatározhatóak a magas, közép és alacsony árú kimenetek, valamint időjárás alapon legjobb és legrosszabb kimenetek. A kimeneteket adott referenciákból szokták az erre szakosodott tanácsadók kalkulálni. A piaci alapú scénáriókat lehet igazítani a jelenlegi trendekhez (central), a mostaninál várhatóan drágább (high commodity), olcsóbb (low commodity), valamint a politikai céloknak megfelelően a karbonsemlegességet megcélzó (net zero) törekvéseknek megfelelően. Ezzel szemben az időjárás alapú scénáriókat jellegzetes referencia évekből szokták meghatározni.

A geotermikus erőmű megtérülésének számítása során Magyarországra egy nemzetközi mérnökszolgálati, tervezői és tanácsadói vállalat, az AFRY előrejelzése alapján vizsgáltuk az energiaárak alakulását. Az alábbiakban a central (vagyis jelenlegi piaci folyamatokból következtetett) legjobb és legrosszabb időjárás alapú scénáriók lettek feltárva. A másnapi piaci (DAM) árakat ezek alapján a lenti diagram mutatja.



20. ábra: AFRY DAM villamosenergia-ár előrejelzése a Magyarországi

Az ár görbék a legjobb és legrosszabb időjárás alapú kimeneteleket páronként ábrázolja, ezzel egy tartományt hozva létre 2025, 2030, valamint 2040-re. A görbék a napon belüli ár ingadozás átlagos értékeit tartalmazzák. Megállapítható, hogy az esti csúcsidőszak valamelyest ellaposodni látszik hosszútávon – aminek várhatóan a rendszerbe integrálandó tárolók az okai – ugyanakkor továbbra is lehetőséget kínál arra, hogy a geotermikus erőmű ilyen időszakban kizárólag villamosenergiát értékesítsen, így növelve a bevételeket. Azáltal ugyanis, hogy a csúcsidőszakban távhőt nem ad ki az erőmű, az igény oldali hőmérséklet tartományt még képes lehet betartani. Továbbá jelen esetben csak DAM piacot vizsgálta a tanácsadói vállalat, az ID piaci árak ennél várhatóan szélsőségesebben lehetnek.

Az alábbi táblázatban a fent már említett három év (2025, 2030 és 2040) előrejelzései találhatóak, kétórás átlagár lebontásban. Látható itt is az egy értelmű völgyidőszak, valamint az esti csúcs. Mivel ezek szintén átlagárak, így várhatóan lesznek olyan időszakok melyekbe a dél-magyarországi erőmű még magasabb áron tudja értékesíteni a villamosenergiát.



	Legrosszabb év alapú árak (2014)			Legjobb év alapú árak (2012)		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Átl. 00-02	54.96	53.01	60.53	49.08	50.57	61.35
Átl. 02-04	52.42	51.88	59.31	46.14	48.48	60.92
Átl. 04-06	53.77	52.39	59.35	46.72	51.69	60.77
Átl. 06-08	58.57	58.08	61.05	57.08	60.62	63.22
Átl. 08-10	58.49	58.39	56.50	68.22	65.70	60.33
Átl. 10-12	53.24	52.42	50.93	59.65	57.94	54.20
Átl. 12-14	52.92	52.66	51.76	56.70	56.31	54.75
Átl. 14-16	55.58	55.44	54.35	60.55	60.07	56.78
Átl. 16-18	69.52	75.02	71.23	99.77	101.55	87.84
Átl. 18-20	75.98	82.49	78.47	133.61	128.87	107.37
Átl. 20-22	66.75	68.50	69.46	75.95	77.07	74.34
Átl. 22-24	60.14	58.41	63.25	58.48	59.11	64.93

21. ábra: AFRY órás átlagárak, csúcs és völgyidőszakok jelenléte

## 6.2. A beruházás, valamint az üzemeltetés és karbantartás költségei

A beruházás pénzügyi értékelését a piaci környezet megvizsgálása után annuitásos számítás segítségével lehet kiértékelni. A beruházás költségeit a szakirodalmak szereplő értékek, valamint a beérkezett árajánlatok aggregálásával hoztam létre. Természetesen a konkrét moduláris blokk ára nem aggregált érték, hanem az Enogia cég által kínált ajánlat értéke. A forrás és visszasajtoló kutak használatát/megvásárlását nem számoltam a költségek közé, ahogy az erőmű területhasználati díját, telekvásárlását sem. A költségek millió forintban kerültek meghatározásra, valamint a teljes beruházás beépített villamos teljesítményre fajlagosított értéke is ki lett számolva. Mivel az erőmű moduláris blokk beépítésével – ami mindössze egy-két hónapot igényel – már gyakorlatilag működőképes, így az építés alatti kamatteher minimális. Természetesen a távhő kiépítése ennél hosszabb időt vehet igénybe, de amellet, hogy azt célszerű a fűtési szezon elejéhez időzíteni, villamosenergiát már ezen idő alatt is képes termelni az erőmű. A beruházási költségek összefoglaló táblázatát alább láthatjuk.

BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK	
<b>Főtechnológia beruházási költség (ENOGIA ajánlat &amp; távhő kiépítés)</b>	842 [millió Ft]
<b>Terepelőkészítés, folyórendezés építés előtt</b>	4 [millió Ft]
<b>Villamos csatlakozás beruházási költsége</b>	17 [millió Ft]
<b>Projektfejlesztési költségek (menedzsment engedélyezés, minőségbiztosítás, szakértők)</b>	25 [millió Ft]
<b>Kamatteher az építés idején</b>	1 [millió Ft]
<b>Tulajdonosi költségek</b>	13 [millió Ft]
<b>Bontási költségek</b>	17 [millió Ft]
<b>Összes beruházási költség:</b>	921 [millió Ft]
<b>Teljes beruházás fajlagos költsége</b>	4 371 [€/kW <sub>e</sub> ]

22. ábra: Beruházási költségek várható alakulása

Az üzemeltetés és karbantartás (O&M) költségeit a teljes beruházási költség 5%-nak vettem éves szinten, ami így összességében 46 millió forintot tesz ki éves szinten. A tőkeköltségek pedig 65 millió forint lesz évente, amit az annuitási tényező (és a beruházási költség határozta meg). Az annuitási tényezőt az erőmű várható élettartamából ( $L = 25$  év) és a diszkont-rátából ( $D = 5\%$ ) a következőképpen lehet meghatározni:

$$\alpha = \frac{D \cdot (1 + D)^L}{(1 + D)^L - 1} \quad (6.2.1.)$$

Mivel a geotermikus erőműnél sem tüzelőanyag költségek, sem pedig CO<sub>2</sub> vásárlási költségek nincsenek, így az erőmű gyakorlatilag csak állandó költséggel rendelkezik, változó költsége nincsen.

### 6.3. Az erőmű üzemvitele

A korábban már több helyen leírtak alapján az erőmű adott mennyiségű hő kiadása mellett a maximális villamosenergiát szeretné termelni. Ugyanakkor a hőkiadás időszakát nem csak a hőigények ideje határozza meg, hanem az aktuális és a következő órákban várható villamosenergia-igény. Ennek megfelelően érdemes lehet a hőfogyasztóktól nagyobb hőmérséklettartományban megállapodni, mivel ezzel jelentősen növelhető a csúcsidőszakok árbevétele. A kiegyenlítő szabályozási kapacitás értékesítése természetesen a villamosenergiatermelés függvényében értelmezhető csak, vagyis lesznek olyan időszakok melyben az erőmű elsődlegesen villamosenergiát értékesít (csúcsidőszak), ilyenkor maximum le irányú tartalékról lehet

beszélni, ugyanakkor a völgyidőszakban, amikor a hőkiadás is magasabb arányú, akkor le- és felirányú mFRR szabályozást is értékesíthet. Ennek komplexitása miatt a szabályozásból származó bevételt ún. extra profitként kezeltem az erőmű gazdasági számításainál, melynek valós értékét üzemeltetési tapasztalattal lehet megállapítani és tervezhetővé tenni.

Az 540 kW<sub>e</sub> és 700 kW<sub>th</sub> összteljesítményű geotermikus rendszer az alrendszerek éves kihasználtsága alapján 4030 MWh<sub>e</sub> villamosenergiát és 8100 GJ hőt termel, ugyanakkor a 7,4%-os villamos önfogyasztás miatt 3730 MWh<sub>e</sub> ad csak le a hálózatra. A hőenergia önfogyasztása minimális az erőműnek. Az erőmű rendelkezésre állása gyakorlatilag 95% feletti, ugyanakkor a csúcskihasználási óraszámok a kapcsolt energiatermelés következtében részben megoszlanak a hő- és villamosenergia között. Az erőmű alapvető üzemviteli jellemzőit, termelési adatait az alábbi táblázat tartalmazza.

TERMELÉSI ADATOK	
<b>Csúcskihasználási óraszám villamosenergia-termelésre</b>	7500 [h/év]
<b>Csúcskihasználási óraszám hőenergia termelésre (távhő)</b>	2500 [h/év]
<b>Termelt villamos energia</b>	4030 [MWh <sub>e</sub> /év]
<b>Önfogyasztás (villamosenergia)</b>	300 [MWh <sub>e</sub> /év]
<b>Termelt hőenergia</b>	8100 [GJ/év]

23. ábra: Az erőmű várható termelési jellemzői

#### 6.4. Gazdasági kiértékelés

A piaci környezetet, valamint az erőmű beruházásának és üzemeltetésének költségeit, továbbá az erőmű által értékesített termékekből származó bevételeket ismerve meghatározható az újonnan létesíteni kívánt geotermikus erőműnek a legalapvetőbb gazdasági mutatói. A hőenergiát fix áron tervezzük értékesíteni, azonban a villamosenergiánál minden esetben figyelemmel kell lenni az aktuális árra, aszerint lehet értékesíteni az áramot. Ugyanakkor mindenképpen szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy a villamosenergia ára gyakorlatilag teljes egészében az állandó költségekből következik, a fajlagos termelési költségnek nincsen változó költsége része. Magyarul a merit orderben legalul helyezkedik meg az erőmű, és mindenképpen érdemes törekedni a lehető legnagyobb kihasználtságra. A rendszer által termelt villamosenergia költsége 63 Euro megawattóránként, ami persze nem azt jelenti, hogy az áram értékesítése is ennyiért történik. 2023 szeptemberében Magyarországon a tőzsdei villamosenergia-ár 110 €/MWh volt. Ezek alapján az éves bevétel is közelíthető, ami így összességében 170 millió Forintra becsülhető. Ezek alapján a cash flow (pénzforgalom) felírható, amiből

a belső megtérülési ráta (Internal Rate of Return, továbbiakban IRR) és a megtérülési idő is kiszámolható. Az IRR 10,79 % ami a jelenlegi környezetben nem számít kiemelkedőnek, a jelenleg a versenyszférában általában 14 % feletti IRR esetén vágnak bele a beruházásba. Ugyanakkor ez nem jelenti azt, hogy nem érdemes a projekt kivitelezésébe belekezdeni. Már csak azért sem mert a korábbiakban már összefoglaltak szerint, kormányzati, illetve szakpolitikai cél a geotermikus energiatermelés jelentőségének növelése, arányának javítása magyar energiamixben. Vagyis adott esetben támogatásra is lehet pályázni és/vagy más kedvezményeket elérni. Ehhez jön hozzá előnyként, hogy a lokális hőkiadás a térség energiabiztonságát növeli, az helyi intézmények pedig biztos és megfizethető forrásból juthatnának a távhőhöz.

Fontosnak tartom a rendszer alkalmazásával megtakarított szén-dioxid kibocsátást is megemlíteni, hiszen nemcsak a CO<sub>2</sub> kvóta megspórolása miatt, de a klímavédelmi célokhoz való idomulása miatt is nagy jelentősége van ennek. Alább csak a villamosenergiára számított megtakarítás látható, földgáztüzelésű erőműhöz viszonyítva. Az erőmű legfontosabb gazdasági mutatóit az alábbi táblázat tartalmazza.

LEGFONTOSABB GAZDASÁGI INDIKÁTOROK	
<b>ORC által termelt villamosenergia költsége</b>	63 [€/MWh]
<b>Éves bevétel*</b>	170 [millió Ft/év]
<b>IRR</b>	10,79 [%]
<b>Megtérülési idő</b>	6,42 [év]
<b>CO<sub>2</sub> megtakarítás (villamosenergiára)</b>	1380 [tCO <sub>2</sub> /év]
*tartalmazza az O&M-et, nem tartalmazza a rendszer szintű szolgáltatásokat	

24. ábra: Az erőmű gazdasági és környezeti mutatói

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat széleskörűen mutatja be a magyarországi geotermikus energiatermelés lehetőségét. Ahhoz, hogy az energiasztratégiában megfogalmazott irányokat követni lehessen – ami a geotermikus energiatermelést illeti – nemcsak a magyarországi potenciál ismerete és az erre építhető rendszerek ismerete szükséges, de ezen rendszerek költségei és a termelésből számolható bevételei is. Ebben a tanulmány igyekszik előre lépni, a számítási eljárás kidolgozása által más hasonló erőművek tervezése is egyszerűbbé válhat, igaz a gazdaságossági számításokat javasoljuk minden esetre és piaci környezetre ismételtén kidolgozni.

A geotermikus hőforrás hasznosíthatóságának szakirodalmi kutatása, a magyarországi potenciál feltárása után a kapcsolt villamosenergiát és hőt termelő egység kidolgozása történt. A széleskörű technológiai elemzés alapvetően a villamos energia termelésére tér ki, a távhőszolgáltatást kevésbé taglalja, ugyanakkor ennek precíz tervezésére más tanulmányok használatát javasolja. A villamosenergia-termelés vizsgálata során több moduláris ORC gyártó céget is megkerestünk, az ajánlatok és javaslatok alapján összegezve a tapasztalatokat egy moduláris ORC blokkokból épülő erőműre tettünk javaslatot. Az erőmű megvalósulásának helye Szarvas és Csabacsüd közé esik, itt találtuk meg az optimális környezet mind geotermikus forrás, mind a hőigények oldaláról. A Szarvas-Csabacsüdi kapcsolt geotermikus erőműnek az üzemtanára is javaslatot tesz a kutatás, az üzemeltetést a piaci környezettől tesszük függővé a bevételek maximalizálása érdekében. Erre az erőmű rugalmassága miatt van lehetőség, melyet szintén részletez a tanulmány. Ezekből összesítésként szűri le a kutatás az erőmű gazdaságosságára vonatkozó mutatóit, illetve mint beruházást vizsgálja ezen indikátorokat.

A kitűzött célterületeket a tanulmány alaposan végigjárta, ezek alapján pedig javasoljuk az új magyarországi geotermikus erőmű megvalósulását Szarvas-Csabacsüdi lokációval.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA), valamint az Energiatudományi Kutatóközpont Kiemelt Pályázatok Programja (127/2022-2023) támogatta.

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-2-III-BME-109 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS  
MINISZTERIUM



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI  
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL



Új Nemzeti  
Kiválóság Program

## 9. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] A. Ahmadi és mtsai., „Applications of geothermal organic Rankine Cycle for electricity production”, *Journal of Cleaner Production*, köt. 274. Elsevier Ltd, 2020. november 20. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122950.
- [2] „Organic Rankine cycle”. Elérés: 2023. november 5. [Online]. Elérhető: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle).
- [3] W. Shi és L. Pan, „Optimization study on fluids for the gravity-driven organic power cycle”, *Energies (Basel)*, köt. 12, sz. 4, febr. 2019, doi: 10.3390/en12040732.
- [4] Imre Attila R., „Energiaátalakítási folyamatok: 3. előadás: Körfolyamatok.”, 2022.
- [5] A. R. Imre, R. Kustán, és A. Groniewsky, „Thermodynamic selection of the optimal working fluid for organic Rankine cycles”, *Energies (Basel)*, köt. 12, sz. 10, máj. 2019, doi: 10.3390/en12102028.
- [6] C. Liu és mtsai., „The environmental impact of organic Rankine cycle for waste heat recovery through life-cycle assessment”, *Energy*, köt. 56, o. 144–154, júl. 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.04.045.
- [7] „ORC World Map”. Elérés: 2023. november 5. [Online]. Elérhető: <https://orc-world-map.org/>
- [8] Isoplus, „Merev csövek”, Elérés: 2023. november 5. [Online]. Elérhető: [https://www.isoplus.hu/fileadmin/data/downloads/documents/hungary/manuals/Merev\\_csovek.pdf](https://www.isoplus.hu/fileadmin/data/downloads/documents/hungary/manuals/Merev_csovek.pdf)
- [9] „Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig”.
- [10] B. C. Egyetem, F. Anita, H. Miklós, M. András, és P. Zsuzsanna, „Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon”, 2009.
- [11] Mannvit, „Tura – Geotermikus erőmű”. Elérés: 2023. november 5. [Online]. Elérhető: <https://www.mannvit.hu/projektek/tura-geotermikus-eromu/>
- [12] Mannvit, „Geotermikus Energiahasznosítás”.
- [13] MEKH; MaTáSzSz, „A Magyar távhőszektor 2021. évi adatai”, 2022.
- [14] M. Shmeleva, „Geothermal Energy Production from Oil and Gas Wells”.
- [15] J. Gianone és A. R. Imre, „LNG as a Key to Sustainability and the Rise of Connected Green Technologies”, in *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/IAS54023.2022.9940091.
- [16] Dr. Szócs Teodóra, „Új termálvíz és gázelemzések végzése és adatok komplex értékelése”, 2017.
- [17] European Refrigerants, „Solstice® zd”. Elérés: 2023. november 5. [Online]. Elérhető: <https://www.honeywell-refrigerants.com/europe/product/solstice-zd/>

- [18] „Magyarország térképe”. Elérés: 2023. november 5. [Online]. Elérhető: <https://www.magyarorszagterkep.net/bekes/>
- [19] Szarvasi Gyógy-Termál Kft, „A Szarvasi Geotermális Távfűtőrendszer Üzlet-szabályzata”, 2013.
- [20] Joó Renátó, „Családi házak fűtési költségei”, *Magyar Installateur*, 2017.
- [21] Jasper Andor, „Távhőellátó rendszerek tervezésének és üzemeltetésének opti-amlizációja”, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola Épületgépészet és eljárástechnika részprogram*, 2016.
- [22] MVM Csoport, „Távhődíjak és vállalozási díjak”, 2023. Elérés: 2023. novem-ber 5. [Online]. Elérhető: <https://mvmtavho.hu/szolnoki-tavhoszolgalatas/tavhodijak-es-vallalkozasi-dijak/>
- [23] MEKH, „Villamosenergia-piac 2022.12 havi riport”, 2023.