

Miskolci Egyetem
Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
Bányászat és Energia Intézet



**Egy komplex geotermikus rendszer felhasználhatósága
Magyarországon
Diplomamunka
2024**

Szerző:	Csécsei Mária MSc. Olaj- és gázmérnök szakos hallgató
Tanszéki konzulens:	Dr. Vadászi Marianna Intézeti tanszékvezető egyetemi docens
Ipari konzulens:	Magyar Gábor okl. Olajmérnök, Közgazdász Műszaki-stratégiai igazgató Rotaqua Kft.

Miskolc, 2024. április 30.

Diplomamunka-feladat

CSÉCSEI Mária

Olaj- és gázmérnök szakos
MSc hallgató részére

A diplomamunka címe:

Egy komplex geotermikus rendszer felhasználhatósága Magyarországon

1. Ismertesse Magyarország geotermikus viszonyait, indokolja meg a geotermikus energiahasznosítás fontosságát!
2. Mutassa be a hazai geotermikus rezervoár típusokat!
3. Mutassa be a geotermikus energiavagyon becslésének módszereit!
4. Tervezzen meg egy komplex geotermikus energiahasznosításon alapuló rendszert, egy ön által preferált régióban, és indokolja meg a kiválasztás szempontjait!
5. Határozza meg a kiaknázható geotermikus energia mennyiségét és eredményeit vesse össze számítógépes szimulációval és mutassa be a komplex rendszert!

Tanszéki konzulens: Dr. VADÁSZI Marianna, egyetemi docens

Üzemi konzulens: MAGYAR Gábor, műszaki-stratégiai igazgató

Dr. Szunyog István

intézetigazgató egyetemi docens

Miskolc, 2023. június 2.

Eredetiségi nyilatkozat

Alulírott Csécei Mária, a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy az Egy komplex geotermikus rendszer felhasználhatósága Magyarországon című diplomamunka/szakdolgozat (a továbbiakban: dolgozat) önálló munkám, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az Egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat.

A dolgozatban csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Kijelentem, hogy az elektronikusan feltöltött és a papír alapú dokumentum mindenben megegyezik.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot nem magam készítettem vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Miskolci Egyetem megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Miskolc,

.....
a hallgató aláírása



Intézeti igazoló lap diplomamunka és szakdolgozat benyújtásához

MISKOLCI EGYETEM

Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar

Bányászat és Energia Intézet Intézet

A hallgató neve: Csécsei Mária

Neptun-kódja: XG07UM

Első konzultáció, az utolsó előtti tanulmányi félév szorgalmi időszakában a második hónap utolsó munkanapjáig: a téma elfogadása, tájékoztatás a rendelkezésre álló forrásokról.

A diplomamunka/szakdolgozat témája: Nyomás alatti elzáró szerelvények

Az egyetemi konzulens(ek) neve, beosztása, intézete:

Dr. Vadászi Marianna intézeti tanszékvezető egyetemi docens,

A jelölt köteles a témát az első konzultáció határidejéig az intézeti adminisztrációban nyilvántartásba vétetni.

A jelölt által javasolt témát elfogadom:

Miskolc,

.....

konzulens aláírása

A jelölt által javasolt témát jóváhagyom:

Miskolc,

.....

intézetigazgató

aláírása

Második konzultáció, az utolsó előtti tanulmányi félév szorgalmi időszakában a harmadik hónap utolsó munkanapjáig: a feldolgozott források, valamint a diplomamunka/szakdolgozat vázlatának bemutatása, címének véglegesítése.

A diplomamunka/szakdolgozat címe:

.....

Miskolc,

.....

konzulens aláírása

Harmadik konzultáció, az utolsó előtti tanulmányi félév vizsgaidőszakának utolsó napjáig: a forrásokat feldolgozó fejezet kéziratának beadása:

Miskolc,

.....

konzulens aláírása

Negyedik konzultáció, az utolsó tanulmányi félév szorgalmi időszak második hónap utolsó munkanapjáig:

a kész szöveg kéziratának beadása első változatban:

Miskolc,

.....

konzulens aláírása

Ötödik konzultáció, a beadási határidő előtt legalább tíz munkanappal:

a kész munka bemutatása abban a formában, ahogy a jelölt be kívánja adni:

Miskolc,

.....

konzulens aláírása

A diplomamunkát/szakdolgozatot formai szempontból beadhatónak ítélem:

Miskolc,

.....

konzulens aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	7
2. A geotermikus energia meghatározása	8
3. Magyarország energiapolitikai céljai.....	15
4. Magyarország geotermikus viszonyai.....	17
4.1. Geotermikus energiahasznosítás fontosságáról.....	17
5. Hazánk geológiai háttere.....	19
5.1. Geotermikus rezervoárjaink.....	20
5.2. Enhanced Geothermal System, azaz Továbbfejlesztett Geotermális rendszerek EGS-lehetőségek Magyarországon	22
6. Geotermikus vagyonunk	25
6.1. A geotermikus energiavagyon statikus rendszerű becslése	25
6.2 A geotermikus energiavagyon dinamikus szemlélet szerinti becslése	28
7. A geotermikus energia kiaknázásának helyzete Magyarországon.....	29
8. Egy komplex geotermikus rendszer felépítése	31
8.1. Régiókiválasztás szempontjai.....	35
8.2. Somogy megye geotermikus viszonyai	39
8.3. A környező kutak elemzése	41
8.4. A Geotermikus energiarendszer felhasználhatóságának vizsgálata.....	51
8.5. Új geotermikus kutak kialakítása során figyelembe veendő szempontok	51
8.6. Tervezett kutak	53
8.7. Szimuláció.....	57
8.8. Manuális számítás	60
8.9. AZ ORC erőmű felépítése	62
9. Számítási példa megvalósuló létesítményre.....	63
10. Összegzés.....	68
11. Summary.....	69
12. Köszönetnyilvánítás	70

1. Bevezetés

Az ipari forradalom kezdete óta az energiahordozók meghatározó jelentőségűek lettek az emberiség számára. Kezdeti időben még a kőszén volt a legfontosabb energiaforrás, és mivel nagy mennyiségű készlet állt rendelkezésre, és az akkori bányászati technológiával a kőszén bányászata eredményes volt.

A növekvő igények, a fogyó készletek arra ösztönözték az embereket, hogy korszerűbb energiahordozót keressenek, ami nagy mennyiségben rendelkezésre áll, ezért viszonylag olcsó is. Ekkor esett a választás a kőolajra, majd később a földgázra, mely sokkal inkább környezetbarátabb megoldás az emittált CO₂ mennyiség szempontjából.

energiahordozók területén, hiszen viszonylag elegendő mennyiségben rendelkezésünkre állt, akár import formában is, megfizethető áron lehetett hozzájutni, és ami az egyik legfontosabb követelmény: sokkal inkább környezetkímélő, mint a kőszén és a kőolaj.

Az utóbbi évek azonban mind a társadalmi-, gazdasági-, politikai-, eseményei mind az elmúlt évtizedek egyik legfontosabb tudományos felismerése: a klímaváltozás problémaköre tekintetében elkerülhetlenné tették megváltoztatni a viszonyunkat a fosszilis energiahordozókkal szemben, és stratégiai szempontból még fontosabb szerepbe helyezték az energiakérdést.

Az energiaigény folyamatos növekedése, a fosszilis alapú energiafelhasználás és az olaj és gáz ingadozó árából adódó események, a szennyezés és emisszió miatt a világközösség jelentős erőfeszítéseket tesz különböző, a környezetet kevésbé terhelő és megújuló energiaforrások és/vagy hosszú távon fenntartható, például nap-, szél-, vízenergia, óceánhullám- és geotermikus energia hasznosítására.

Közülük a geotermikus energia a közelmúltban teret hódított széles elérhetősége, viszonylag kis helyigénye és jobb megbízhatósága miatt. A szél- és napenergiához hasonlóan alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiaforrásnak számít. Továbbá folyamatosan használható, a környezeti feltételektől függetlenül.

2. A geotermikus energia meghatározása

Magyarországon az 1993. évi XLVIII. Bányatörvény határozza meg a geotermikus energia fogalmát és az ezzel kapcsolatos jogokat. Amely alapján:

- „Geotermikus energia: a földkéreg belső hőenergiája.” [1]
- „Geotermikus energiahordozók: [...] azok a különböző halmazállapotú anyagok (pl. felszín alatti vizek, gőzök), melyek a földkéreg belső energiájának hőenergetikai célú hasznosítását kitermeléssel vagy más technológia alkalmazásával lehetővé teszik.” [2]

Az Európai Unió terminológiájában ez a fogalom meghatározás:

- „Geotermikus energia: a szilárd talaj felszíne alatt hő formájában található energia.” [3]
- Érezhető a két terminológia szerinti különbség, mivel a magyar bányatörvényben a „földkéregben”, az uniós jogszabályban a „szilárd talaj felszíne alatt” van jelen a geotermikus energia.

A geotermikus energia olyan belső energia, amelyet a földkéreg és köpeny és a nagy hőmérsékletű tömegei tárolnak. Mivel a Föld belsejében sokkal nagyobb hőmérsékleteket találunk, mint a felszínen, a belső energia szakadatlanul áramlik a nagy mélységű forró zónákból a felszín felé. Ez a földi hőáram. [4]

A földkéreg hőmérséklete a Fourier-féle hővezetési törvény alapján lineáris összefüggést mutat a mélységgel. Ebből következik hogy a földkéreg egységnyi tömegű darabjának fajlagos energiatartalma is növekszik a mélység növekedésével.

Annál alkalmasabbak lehetnek a körülmények a geotermikus energia kitermelésére, minél közelebb van a felszínhez a belső energiát hordozó, nagy hőmérsékletű közeg. Ez az egységnyi mélységre eső hőmérsékletnövekedéssel a geotermikus gradienssel jellemezhető. A földi hőáram és a geotermikus gradiens értéke nem homogén eloszlású, a kéregfejlődéstől függően területi eloszlást mutat.

A földkéreg minden pontja tartalmaz geotermikus energiát, viszont a gazdaságosan kitermelhető geotermikus energia természeti, műszaki és gazdasági feltételek által meghatározott az időben változó kategória.

A geotermikus technológia fejlődését is érdemes megemlíteni, és ezzel párhuzamosan a támogató technológiáit a globális felmelegedés mérséklésére, a légszennyezés csökkentésére és a globális energiaigény kielégítésére vonatkozóan.

A legfrissebb adatok azt mutatják, hogy 20 ország összesen 73,7 TWh/év értékben használ geotermikus energiát villamos energia előállítására. Ezenkívül közel 7 tucat országban összesen körülbelül 163 TWh/év geotermikus energiát használtak fel közvetlen alkalmazásokra (hűtés, fűtés és egyéb folyamatok). 2015 és 2020 között a geotermikus energiatermelési kapacitás 27%-ra (3,65 GW) nőtt, a legnagyobb bővülés pedig Törökországban, Indonéziában, az Egyesült Államokban és Kenyában történt. A geotermikus energia elterjedése várhatóan folyamatosan növekszik, 2050-re 800-1300 TWh villamosenergia-termelés és 3300-3800 TW/év közvetlen hőfelhasználás várható. [5]

A geotermikus energia átlagon felüli potenciáljának hátterében alapvetően kétféle magyarázat állhat. Mindkét magyarázat földtani adottságokkal kapcsolatos. Az egyik magyarázat a vulkanikus tevékenységekre vezethető vissza, ezek az aktív geotermális övezetek. Ez olyan földterületeken lehetséges, ahol a kontinentális lemezek találkoznak (például: Izlandon), ami aktív vulkanikus zónákat keletkeztet, ilyen módon a forró közegek közel kerülnek a felszínhez. A passzív övezetek magyarázata a földkéreg elvékonyodása, ami miatt a magas hőmérsékletű közegek közelebb helyezkednek el a felszínhez (nincs vulkanikus tevékenység). Az utóbbi kategóriába tartozik Magyarország is. Ennek legfőbb magyarázata a Kárpát-medence kiemelkedő adottságaiban rejlik. A Föld belső szerkezetének feltárása, vizsgálata nem egyszerű, olyan bizonyítékok állnak rendelkezésre, melyet a földrengéshullámok elemzésére alapoznak. Közvetlen adatokhoz mélyfúrással lehet hozzájutni, amelyek kivitelezése azonban rendkívül költséges. Egy vulkanikus tevékenység is szolgáltat adatokat, azonban, ha ezt összehasonlítjuk a Föld 6372 kilométeres sugarával, érzékelhető hogy a feltérképezett szakasz csak töredéke. (Jakucs, 1993) [6]

Hazánkban a geotermikus energia nagy mennyiségben rendelkezésre álló energiaforrás, ezért első és legfontosabb gazdasági hozadéka, hogy csökkentheti az importenergiától való függést. Továbbá a kutatás, kiépítés, karbantartás, ipari és mezőgazdasági alkalmazások hazai munkahelyeket teremtenek és tartanak meg. A földhő „fenntartható” módon használható. A kitermeléssel kivett hő a termelés befejezése után kb. ugyanannyi idő alatt pótlódik 95%-os szinten, mint a kitermelés ideje volt.

A geotermikus energia hordozóját a Kárpát-medencében fluidum azaz, termálvíz képviseli, amely a nagy vastagságú, több helyen 6 km-t is meghaladó üledékes kőzetek porózus – permeábilis tartományait tölti fel. Ha összehasonlítjuk a hőmérsékletemelkedést akkor azt mondhatjuk 1 °C, a világszerte 33 m, míg a Kárpát-medencében ez csak 15-18 m.

A geotermikus energia hordozójaként Magyarországon kizárólagosan a mélységi rétegvizeket termálvizeket hasznosítják ezek, Magyarországon a 30 °C-nál nagyobb felszíni hőmérsékletű rétegvizek.

A geotermikus energia előnye, hogy a hévíz, mint energiaforrás hasznosítása környezetkímélő, mivel az energiaátalakítása nem jár levegőszennyezéssel, káros anyag nem kerül a levegőbe. A hőenergiát leadó vizet visszasajtolják a rétegbe, így a rétegnomás is fennmarad. Az energia kinyerése során nem, vagy csak jóval kisebb környezetszennyezést okoz, mint a fosszilis energiaforrások felhasználása. Továbbá, ha a termelés során kísérő gáz lép fel, akkor ennek felhasználására is lehetőség van.

A geotermikus energia kinyeréséhez – a hőszivattyúk kivételével – közvetítő közegre van szükség, azaz vizet vagy gőzt kell kitermelni. A geotermikus energia felhasználásának módjai:

- a) hőszivattyúval segített hőhasznosítás,
- b) közvetlen hőellátás,
- c) kapcsolt villamosenergia és hőtermelés

A sekély geotermikus hasznosítás tekintetében a hőszivattyús technológia elsősorban új épületek fűtési és hűtési igényeinek kielégítéséhez javasolt, főként mivel a jó szigeteléseknek köszönhetően, kicsi a hőigény, fajlagos költsége alacsonyabb, és egyre gyakrabban kombinálják napelemes megoldásokkal. Fő jellemzője, hogy nincs feltétlenül szükség a felszín alól történő vízkivételre. Hőforrása lehet külső levegő, folyó, tó, patak vize, kutak vizének hőmértalma, vagy ipari hulladék hő. A hőt szolgáltató közeg amennyiben sekély mélységű kutakról beszélünk, néhány méteres mélységben a talajhő és a földhő 150-300 méteres mélységig. A hőszivattyús rendszert télen fűtésre, nyáron hűtésre lehet alkalmazni. A hőszivattyúval segített hőellátás legnagyobb előnye, hogy gyakorlatilag mindenütt, családi házas és tanyasi szórt elhelyezkedésű lakóépületeknél is alkalmazható. A hőszivattyúk másik alkalmazási módja, mikor „hulladékhőt”, vagyis olyan hőt, amely különben a környezetbe távozna, hasznosítunk. Ez a hő lehet akár lehűlt 30-40°C-os termálvíz, de ipari folyamatoknál keletkező meleg víz vagy levegő formájában jelentkező hulladékhő is.

Geotermikus energiavagyonunk döntő részét jó határfokkal és nagy mennyiségben közvetlenül hőellátásra (lakóépület fűtés, használati melegvíz előállítás, üvegház fűtés, terményszárítás, stb.) tudjuk felhasználni, mert kitermelhető termálvizeink hőmérséklete 100°C-nál alacsonyabb.

A villamosenergia-termeléshez a jelenlegi technológia mellett – kielégítő hatásfok eléréséhez – legalább 120°C-os vízre van szükség. Ilyen hőmérsékletű víz elegendő mennyiségben 2500-3000 m mélységben és korlátozott kiterjedésű víztárolókban áll rendelkezésre az országban. Ebben az esetben fontos tényező az áramtermelési potenciál becslése. Erre több módszert is alkalmaznak, a leginkább elfogadottnak tekinthető a számos geotermikus áramtermelési potenciál közül a 70 és 140 GW közötti kapacitás építése. [7] A villamos energiatermeléshez különböző elven működő erőműveket alkalmazhatunk, ely még a későbbiekben említésre kerül.

Magyarország első geotermikus erőműve 2017 őszén kezdte meg működését. Ez az első hazai, kapcsoltan hő- és villamos energiát előállító geotermikus erőmű. A termelő és visszasajtoló kutakat a Turawell Kft. építette 2005-2006 év során a kivitelező a ROTAQUA Geológiai-, Bányászati-, Kutató-, Mélyfűró Kft. volt. A beruházás a szingapúri KS Orka által megvalósított elképzelés és fejlesztés eredményeként létesült. Az erőmű 124°C-os termálvíz kisajtolásával működik, hozzávetőlegesen 2 MW villamos teljesítménnyel, összesen 800 család évi villamosenergia-igényét biztosítja.

Óriási potenciálja ellenére a geotermikus energia hasznosítása és elfogadása viszonylag lassú, és csak meghatározott földrajzi helyekre, azaz intenzív vulkáni és hidrotermális tevékenységekkel rendelkező területekre összpontosult. A lassú haladás egyik fő oka a geotermikus kútfúrás kihívásokkal teli, nagy kockázata és magas költsége. Diplomamunkámban a geotermikus energiahasznosítással kapcsolatosan egy komplex beruházásra vonatkozóan számszerűsített példát hozok arra, milyen előnyöket lehet kovácsolni egy rendszer kiépítése tekintetében.

Mivel a geotermia a múltban is sok szállal kötődött a bányászathoz, a probléma leküzdésére egy lehetséges megoldás lehet a mélyben lévő bányáállomás vagy az elhagyott olaj-/gázkutak hasznosítása. Az elhagyott olaj-/gázkutakban nagy lehetőség rejlik a geotermikus kutakká való átalakításra, mivel könnyen hozzáférhető, azaz nincs szükség fűrésra, és általában teljes adatnaplókkal rendelkeznek a termelési időszak alatt, lehetővé téve a kútteljesítmény teljes becslését, minimalizálva a kockázatot és jobb költségbecslést. Azonban fontos kiemelni a kút állapotát is, mert lehet régi a kút szerkezet, sérült az integritása, akkor az átalakítás kockázatos eljárás. Emellett ha a felhagyott kutat mégsem erre hasznosítják, egy előzetes rétegsort mindenképp tartalmazhat információkat egy újonnan tervezendő kút tervezése során.

Ahogy az összefoglalásban és a bevezetőben is szerepel, manapság elengedhetetlen az energiaforrások diverzifikálása. A legradikálisabb hangok szerint a közeljövőben a szén-

dioxid-mentesítés és a fosszilis tüzelőanyagoktól való megszabadulás a cél. Éghajlatunk változik, és az emberi viselkedés felgyorsítja ezt a változást. Részben az üvegházhatású gázok légkörbe engedésével tüzelőanyagok elégetésével. A fosszilis tüzelőanyagok tökéletlen elégetésének eredménye valóban felgyorsítja a klímaváltozást.

A Földünk védelméhez az emberiségnek hozzáállást kell változtatnia. A légszennyezés és a fokozódó üvegházhatás, így a globális felmelegedés folyamatáért nem kizárólag a fosszilis tüzelőanyagok a felelősek, ... a lista meglehetősen hosszú. Ez azonban jogos cél, hogy minden lehetőséget megvizsgáljunk a szén-dioxid-kibocsátó energiaforrásoktól való függőség csökkentésére.

A megújuló energiaforrások használata mindenképpen a jövő útja bolygónk megőrzése érdekében.

1. Részben azért, mert valamikor kifogyunk az erőforrásokból.
2. Részben azért, mert lépésről lépésre megvalósítható zöld és megújuló energiasztruktúra felé kell haladni, és lassítani a gyors és hirtelen klímaváltozást, a globális felmelegedést, ami hosszú távon veszélyes, és a negatív hatások hatványozódva jelennek meg lehet az emberiség számára.

A kérdés a megújuló energiaforrások tekintetében az energiasűrűség. A szél- és napenergia-források még mindig jelentős szerepet töltenek be a világ energiamixében. Úgy gondolom azonban, hogy még mindig nagy áttörésre várunk a megújuló szektorban. A PV, a szél, a víz, a geotermikus energia együttesen Magyarországon még mindig nem képesek jelentős részt biztosítani a teljes energiaszükséglet kielégítésében.

A Nemzeti Földhő Stratégiában megfogalmazottak alapján: Magyarország éves geotermikus termelése (beleértve a balneológiai hasznosítást is) az 1,02 GWt beépített kapacitás mellett eléri a 9,0 PJ-t, amelyből 6,4 PJ kerül energetikailag hasznosításra. Ennek csaknem egészét (99,8%-át) a hőenergia felhasználása adja. [8]

Azonban a többi fosszilis energiahordozóhoz képest az utolsó frissítések alapján hazánkban egyes részarányok az alábbiak szerint alakulnak:

1. táblázat Hőenergia termelés 2022-ben

(forrás: www.mekh.hu)

Energiahordozó 2022	[terajoule]
Nukleáris	378
Szén és széntermékek	2 785
Földgáz	31 500
Kőolajtermékek	39
Biogáz	115
Kommunális hulladék megújuló	844
Biomassza	3 898
Geotermikus	3 133
Egyéb	4 243
Összesen	46 935

Az egyik út a kereslet csökkenése, az emberiség kevesebb fogyasztása / a globális gazdaság / ipar kevesebb energiaigénye lenne. Ez rövid távon nem érvényes és nem elérhető cél. A megújuló forrásokból kitermelt energia növelése még technológiai áttörést igényel. A megújuló energiatartalom/sűrűség még nem ötvözi a globális változást. A kutatás-, fejlesztés, eredményeképpen juthatunk el ehhez az úthoz.

Új kutatási eredmények felhasználása, új energiakitermelési lehetőségekbe történő befektetés, ez is kormányzati és különböző szervezetek feladata. Világszerte jelentős forrásokat fordítanak ezekre a fejlesztésekre és projektekre. A geotermikus energia felhasználása ezen utak egyike. Bár a geotermikus energiaipar jelenlegi szakaszában a projekteket általában jelentős mértékben a kormányok támogatják, de vannak olyan szervezetek is, akik kormányzati támogatás nélkül is fel tudnak mutatni sikeres projekteket. A cél az kell legyen, hogy minden projektet hosszú távon gazdasági sikerre vigyenek. A jövőben a hangsúly a geotermikus energia kitermelésén lesz.

Ezen esetek költsége rendkívül fontos tényező az általános gazdasági megvalósíthatóság szempontjából. Egy geotermikus energiát használó projekt tervezése és megvalósítása során a teljes költség és beruházási terv szempontjainak és részeinek listája található. A költségek jelentős része az energiaforrás – a hő – elérése a geotermikus kút fúrásával. Lehetőség van a kutak – geotermikus kutak – költségeinek csökkentésére.

Jelen munka keretében a kapcsolt földhő felhasználásának néhány vetületére vonatkozó szempontokat, gazdaságossági lehetőségeket szeretném bemutatni egy konkrét elképzelésen keresztül.

3. Magyarország energiapolitikai céljai

Az energiaszektorban lezajló változások a globális, európai és ez által a hazai energiapiacok jelentős átalakulását vetítik előre. Annak érdekében, hogy az alacsony üvegházhatású gáz kibocsátási jellemzőkkel bíró energiaszektorra történő átmenet hatékonyan, a költségek racionalizálásával és az ellátásbiztonságot maximálisan garantáló módon tudjon megvalósulni, szükség van a jelenlegi ösztönzők felülvizsgálatára, a szabályozói környezet megújítására, a termelési és beszerzési portfóliók átalakítására. A rendelkezésre álló energia fontos stratégiai kérdés, ezért az elmúlt évtized jelentős technológiai és piacszerkezeti változásai miatt szükségessé tették a Magyar Nemzeti Energiastratégia megújítását oly módon, hogy az a hazai energetikai szektor átalakításával egy fenntartható, működőképes, az állami vagyonpolitika érdekeit szem előtt tartó, uniós joggal összhangban álló politika kereteit, célkitűzéseit aktualizálja. [9]

Az új Nemzeti Energiastratégia egyik legfontosabb célkitűzése az energiabiztonság, az energiaszuverenitás megerősítése, az importtól való függőség legnagyobb mértékben való megakadályozása, valamint az energiatermelés dekarbonizálása, főként uniós elvárások miatt is, ami csak az atomenergia és a megújuló energiaforrások együttes alkalmazásával lehetséges.

Az energiabiztonság minden ország számára alapvető, és jóléti kérdés. Bővelkedünk ugyan energiahordozókban, azonban más kérdés ezek kinyerhetősége mennyire gazdaságos, vagy milyen technológiák segítségével lehetséges.

Hazánk érdeke is az, hogy csökkentse energiainport-szükségletét, és ezzel egyidejűleg biztosítsa mind szélesebb körű kapcsolódását a régiós áram- és földgázhálózatokhoz, mivel tranzitország is kulcskérdés lehet a rendelkezésünkre álló saját forrás, ami az ellátásbiztonság és a hatékony importverseny garanciája is egyben.

Magyarország egyértelmű céljaként szerepel, hogy a magyar villamosenergia termelést is átalakítsa. A magyar villamosenergia-termelés legnagyobb részére két forrást jelöl ki: atomenergiából és megújuló energiából, elsősorban naperőművekből. Ezeket sem egymást kiváltó vagy kizáró technológiák, hanem egymást támogató megoldások, és mindkettő tiszta energiaforrásnak tekinthető. A nap- és az atomenergia együttes használatával 2030-ra a magyarországi áramtermelés 90 százaléka szén-dioxid-mentes lehet. [10]

Az Európai Unió elvárása, hogy 2050-re összességében a zöld átállásra képes/ átállást megvalósító gazdasággal rendelkezzenek tagországai. Ahhoz, hogy Magyarország karbonsemleges villamosenergia-termeléssel rendelkezzen, a földgázfelhasználást teljes egészében kiváltsa, és a közlekedést elektromos alapra helyezze, a stratégiai előrejelzések szerint egy ilyen infrastruktúra fejlesztés, bővítés eléréséhez 50.000 milliárd forintot becsülnek.

A gázpiaci stratégia, az ellátásbiztonságot hosszú távon is garantáló gazdasági és szabályozói környezet biztosítását helyezi előtérbe. A földgázpiac – a végfogyasztói energiahatékonyság javulása, az elektrifikáció, valamint a dekarbonizációs törekvések erősödése következtében - hosszú távon lassan, de fokozatosan zsugorodik.

Az energiahatékonyság javulása elsősorban az egyedi és a távfűtéssel rendelkező háztartások gázfogyasztását csökkenti majd, továbbá az elektrifikáció, valamint a gáz megújuló energiaforrásokkal történő kiváltásának várhatóan csökkenni fog a kereslet. Az energiahatékonysági beruházások és a megújuló technológiák alkalmazásának terjedése miatt a fűtési célú gázfogyasztás 2030-ra a becslések szerint évi 2 milliárd m³-rel fog csökkenni.

Ezt a folyamatot a szolgáltatók energiahatékonysági kötelezési rendszerének bevezetésével, a megújuló erőforrásokra alapozott fűtési/hűtési megoldások alkalmazását támogató programokkal, illetve a megújuló források használatát ösztönző programokkal is kívánja támogatni. Így a geotermikus energiatartalom hasznosítása is jelentős szerepet kap az energia mix megújuló elemében. A földgáz részarányát a távhőtermelésben 2030-ra a jelenlegi 70% feletti szintről 50%-ra kívánja az ország csökkenteni, amivel évi mintegy 120 millió m³ földgázimport váltható ki. [11]

4. Magyarország geotermikus viszonyai

Magyarország kedvező geotermikus adottságai két tényezőben is megnyilvánulnak. Egyrészt a hőmérséklet a világtátlagnál gyorsabban nő a mélységgel, azaz magas a geotermikus gradiens, átlagosan 45°C/km. Ennek ok az, hogy a Kárpát-medencében a földkéreg jóval vékonyabb a világtátlagnál. Ez azt jelenti, hogy átlagosan 24–26 km vastag, így a forró magma a felszínhez közelebb van, és jó hőszigetelő üledékek töltik ki a medencét: agyag, homok. Másrészt az ország területének jelentős részén a felszín alatt törmelékes üledékek vagy karsztosodott, repedezett mészkő, dolomit kőzetek találhatók, melyek vízzel telítettek és számottevő a vízvezető képességük. A természetes geotermikus rendszerek belső energiataralmának felszínre hozatalához fluidumra is szükség van. Magyarországon a földhőt a termásvíz közvetíti – amely legalább 30°C-os – a hazai definíció szerint, az ország területének több mint 70%-án rendelkezésre áll (Liebe, 2001). [12]

A geotermikus energiakutatás szempontjából a legfontosabb fizikai mennyiségek a hőáramsűrűség és a felszín alatti hőmérséklet.

4.1. Geotermikus energiahasznosítás fontosságáról

Földünkön természetes módon megtalálhatók a geotermikus rendszerek. A belső hő kinyerése érdekében ezeket a képződményeket használjuk fel, némi mesterséges kiegészítő berendezés hozzáadásával (például kutak fúrásával). A természetes geotermikus rendszerek alapvetően három fő elemből épülnek fel. A (1) hőforrás az alapja és a kiindulópontja a rendszernek, amit a Föld belsejéből sugárzó hő biztosít. A hő közvetítésére azonban szükség van olyan (2) kőzetekre, melyek képesek tárolni és jó hővezető képességgel rendelkeznek. És végül, de nem utolsó sorban szállító közegre is szükség van, ami a hőt a felszínre tudja továbbítani. Ez általában a (3) fluidum, leggyakrabban víz vagy gőz. Az eddigiek alapján elmondható, hogy a geotermikus energia hasznosításánál elengedhetetlen a kőzetek és a vízminőség, vagyis a fluidum vizsgálata. A kőzetek esetében kockázatot jelenthet, ha a vízáteresztő képességük (permeabilitás) nem megfelelő, ez ugyanis megakadályozhatja, hogy a szállító közeg a hőenergiát a felszínre juttassa. A fluidum vízkémiai vizsgálata is fontos, figyelembe kell venni például, hogy a felszín alatti vizek gáztartalma, illetve savassága is magas lehet, ami korróziót,

lerakódásokat idézhet elő a csővezetékekben, ami annak tönkremenetelét okozhatja. (Fischer et. al, 2009). [13]

A kutatási projekt akkor lesz sikeres (a becsült hőmérséklet és hozam adatok alapján számolt teljesítmény akkor jön létre), ha a geotermikus kutatófúrás igazolja, hogy:

- Ø a kút adott mélységében mért hőmérséklet elégséges a tervezett hasznosításhoz,
- Ø a tárolóként feltételezett geológiai képződmény (pl. porózus homokkő, repedezett-karsztosodott karbonát, töredezett gránit) az elégséges hőmérsékletet biztosító mélységben kifejlődött,
- Ø a tárolóként beazonosított geológiai képződmény pórus- vagy hézagtere biztosítja a geotermikus energiatermeléshez elégséges hozamot,
- Ø a termálvíz geokémiai összetétele, oldott anyag tartalma nem lehetetleníti el geotermikus hasznosítást.

Emiatt a geotermikus projektek mindig a geológiai/geokémiai adottságok vizsgálatával kezdődnek, a további lépések pedig erre alapozódnak. Ritkán lehet pontosan meghatározni, melyek azok a területek, ahol a geotermikus energiát gazdaságosan fel lehet használni, azonban alapos vizsgálatokkal és felmérésekkel le lehet azokat szűkíteni, ami által a kockázatok is nagyságrenddel csökkenthetők.

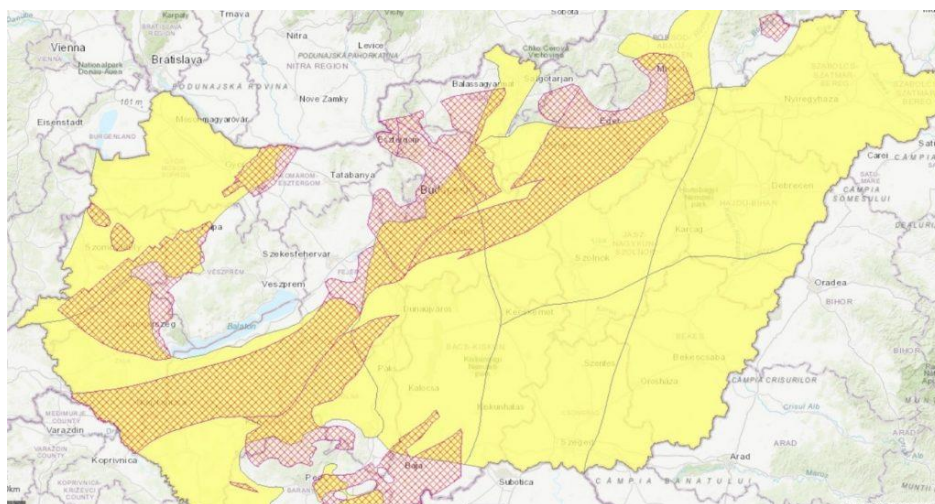
A geotermikus rendszereknél a hőforrás nem helyettesíthető, vagyis természetesnek kell lennie, a másik két elem viszont mesterséges is lehet.

5. Hazánk geológiai háttere

A Kárpát-medence alatt, a legtöbb szárazföldön belüli medencéhez, vagy árkos süllyedéshez hasonlóan vékony a földkéreg az asztenoszféra felhalmozódott. A kontinentális medence fejlődés ma elfogadott modellje szerint a litoszféra egy darabja a vízszintes irányú húzófeszültségek hatására elvékonyodott majd lesüllyedt. Ez után a tektonikailag aktív süllyedés után következett be a lassúbb termikus süllyedés és hővezetés révén kiegyenlítődt.

A Kárpát-medence aljzatának süllyedése a medence feltöltődésével járt együtt. Az üledéklerakódás és tömörödés a környezeti tényezőktől függött. Azokon a szegélyterületeken, ahol a gyors süllyedés és az ezzel egyensúlyban lévő intenzív törmeléklerakódás történt zömmel homokos, a delta előtti mélyebb vízben zömmel agyagos rétegek rakódtak le. A felső-pannonban így kialakult homokos-homokkőves rétegek képezik Magyarország legjelentősebb hévíztárolóját. A homokrétegek a mélyebb szintekben vastagok, sűrűn települtek és egymással összeköttetésben állnak. A homokok 1500-2000 m között még alig cementálódtak, hasznos hézagterfogatuk 25-30%, átteresztőképességük 500-1000 mD. Vízföldtani és szénhidrogén-kutató fúrások jól feltárták ezt a képződményt így hidrogeológiai sajátosságai jól tisztázottak. Ez a felső-pannon homokos hévíztároló Magyarország területén mintegy 40 000 km² kiterjedésű.

A vastag, porózus és permeábilis felső-pannon üledékek alkotják három legnagyobb hévíztárolónkat, az Alföld, a Kisalföld és a Dráva süllyedék területén.



1. ábra: Magyarország termámvíz testjei, karsztos és porózus együtt (forrás: mgte.hu/ageotermikus-energia-hasznositasa-magyarorszagon)

Megközelítőleg a magyarországi hévízkutak 80 %-a termel a porózus felső-pannon homokos-homokkőves rétegeiből és 20 %-a karbonátos repedezett kőzetekből. Az ábra alapján elmondható, hogy Magyarország geotermikus adottsági európai és világviszonylatban is kedvezőek.

5.1. Geotermikus rezervoárjaink

5.1.1. Neogén rezervoár

A hegyvidéki területek kivételével az ország felszíne alatt neogén üledékek találhatóak, melyek vastagsága néhány 100 m és 8 km között változik. Az üledékek vastagsága a Kisalföld (8 km), a Dráva árok (4 km) és az Alföld bizonyos területei alatt (Makói-árok, 7 km és Békési-süllyedék, 7 km) a legnagyobb. A neogén rezervoár felső része – a negyedidőszaki és felső-pannóniai vízáadó rendszer – egymással váltakozó kavics, homok, homokkő, iszap, agyag és márga rétegekből áll, amelyek hidraulikailag egységes rezervoárt képeznek. A rezervoárt regionális vízáramlás jellemzi, melynek utánpótlódási területe a magasabban fekvő domb és hegyvidéki területek, a Nyírség, a Duna-Tisza köze, megcsapolódási területei pedig a legalacsonyabban fekvő térszínnek. A rezervoár termelhetősége a regionális áteresztőképesség függvénye. A felső-pannóniai homok és homokkő (Alföldi Vízfűzető) vízáteresztő-képessége: 10-5 m/s, a kutakból több 10, akár 100 m³/h vízhozam érhető el. Az Alföldi Vízfűzető alatti üledékeket márga és agyag alkotja. Ezek a kőzetek uralkodóan vízázó jellegűek (Algyői Vízfűgő $K=10^{-8}-10^{-7}$ m/s; Endródi Vízfűgő $K=10^{-9}$ m/s), bár a vízfűgők között előfordulnak homokkőtestek is: Szolnoki Vízfűzető, $K=10^{-7}-10^{-6}$ m/s. [14]

A vízfűgőkben, ill. alattuk már mindenhol túlnyomást tapasztalunk. Ennek helye azonban területenként változó. Szentesen például előnyös a hidraulikai helyzet, mert még az Algyői Vízfűgőben is közel hidrosztatikus a nyomásállapot, a hidrosztatikust 0,15 MPa/km-rel meghaladó a nyomás-gradiens. Ez a gravitációsan feláramló vizeknek köszönhető. Ez azt jelenti, hogy a terület a hévíztermelés szempontjából kedvező, mert nagy mélységig (2500 m) utánpótlódó készleteket találunk. Más vidékeken viszont – így Biharkeresztes körzetében – már 1200 méteres mélységtől 2- 6 MPa, majd 2200m-től >10 MPa túlnyomás jelentkezik.

A Pannon-medence legújabb geodinamikai modellje (Horváth, 2007) [15] értelmében az aljzattól akár a negyedkori rétegekig is elérő, többszörösen felújult vetők vízfűzetésben betöltött szerepe is döntő lehet hévízkutatási szempontból. Hiszen az alsó túlnyomásos

rendszernek a vezető vetőkön keresztül lehetősége van a túlnyomás „leeresztésére” (Tóth és Almási, 2001) [16], ami nehezíti az utánpótlódó és nem utánpótlódó készletek elhatárolását, a hévizek termelhetőségi karakterisztikájának előrejelzését. A túlnyomásos tározók zártak, ezért termelhetőségük a regionális tározási tényezőtől függ (Tóth, 2006). [17] Semmiképpen nem termelhetők visszasajtolás nélkül. Mivel az utánpótlódó és a túlnyomásos rezervoárok határai kiemelkedően fontosak a termálvizek használata szempontjából – és jelenleg a fentiekből következően nagy bizonytalansággal jelezhetők előre, – ezért e kérdés tisztázása további tudományos kutatást igényel.

A neogén rezervoárban 2000-2500 m mélységben 90-110°C a várható hőmérséklet, kisebb mélységben pedig még alacsonyabb. Így ez a rezervoár az alacsony entalpiájú rendszerek közé sorolható és hőenergiája elsődlegesen közvetlenül hasznosítható. Nagy előnye, hogy a rezervoár az egész Alföld, Kisalföld, Dél-Dunántúl alatt megtalálható. Itt kell megemlíteni, hogy a neogén rezervoár felszínhez közelebb eső porózus rétegei adják az ország ivóvízkészletének jelentős részét. Mivel a rezervoár hidrodinamikailag egységet képez, a geotermikus energia hasznosításánál erre a tényre szakmai és jogi szempontból különös gondot kell fordítani.

5.1.2. Karbonátos rezervoárok

A karbonátos rezervoárok vízvezető-képessége repedezettségükből és karsztosodásukból fakad. Karbonátos mezozoos kőzetek a felszínen található a Dunántúli-középhegység, Mecsek, Villány, Bükk, Aggteleki karszt területén. A kőzet repedezettsége miatt a csapadékvíz könnyen beszivárog, majd a mélyben felmelegedve a hegylábaknál meleg forrásokban lép a felszínre (Hévíz, Budapest, Eger). A víz hőmérséklete itt is alacsonyabb, mint 100°C, így ezek a rezervoárok is az alacsony entalpiájú rendszerek közé sorolhatók. A karbonátos kőzeteket a hegylábaknál neogén üledékek fedik. Ezeken a helyeken a feláramló melegvíz beszivárog az üledékekbe és hőmérséklet-anomáliát hoz létre. A neogén üledékekkel fedett aljzatban található mezozoos karbonátok nagy része nincs kapcsolatban a nyílt karszttal (DNy-Dunántúl, D-DK-Alföld). Ezek zárt rendszert képeznek, ami onnan is látszik, hogy a repedésekben tárolt víz oldott sótartalma magas (2-3 g/l), a vizek jellege gyakran konyhasós, illetve ezek a tározók is valószínűsíthetően túlnyomás alatt állnak (ld. Fábiansebestyén-Nagyszénás).

A példaként megemlített helyiségben 1985-ben Magyarországon itt történt az első gőzkitörés. A Kőolajkutató Vállalat az 1980-as években több nagy mélységű

kutatófúrást mélyített az Alföld délkeleti részén szénhidrogén-előfordulásokat keresve. Ezek a fúrások 3200-3500 m átlagmélységűek voltak. Fábiansebestyén-4 kutat mélyebbre tervezték és 4239 m-nél a kúttalpi nyomásegyensúly megbomlott és forró víz és gőz tört ki a kutató fúrásánál. Több mint egy hónapos küzdelem után, német és amerikai szakemberek segítségével sikerült elfojtani a kitörést.

Szeizmikus szelvények és mélyfúrások alapján ismerjük a rezervoárok tetejét, azonban a vastagságukat csak becsülni tudjuk, max. 1000-2000 m-re. A 3000 m-nél mélyebben található rezervoárookban a hőmérséklet legalább 120°C, de Fábiansebestyénnél a hőmérséklet a 190°C-ot is eléri.

A neogén üledékek aljzatában található repedezett, töredezett karbonátos kőzetben található közepes, magas entalpiájú rezervoárok tehát már alkalmasak energia termelésére. Kitermelésük szempontjából az akadályt a túlnyomás jelenti.

5.2. Enhanced Geothermal System, azaz Továbbfejlesztett Geotermális rendszerek EGS-lehetőségek Magyarországon

A továbbfejlesztett geotermikus rendszer (EGS) geotermikus villamos energiát termel természetes konvektív hidrotermikus erőforrások nélkül. Hagyományosan a geotermikus energiarendszerek csak ott működtek, ahol a természetben előforduló hő-, víz- és kőzetáteresztő képesség elegendő az energia kinyeréséhez. Azonban a legtöbb geotermikus energia, amely a hagyományos technikák számára elérhető, száraz és át nem eresztő kőzetben található. Az EGS-technológiák stimulációs módszerekkel, például hidraulikus rétegcsúsztatással („hydro shearing”) bővítik a geotermikus erőforrások elérhetőségét.

Az EGS-ben a folyadék a felszín alá besajtolva gondosan ellenőrzött körülmények között, már meglévő repedéseket nyit újra, átjárhatóságot teremtve. A megnövelt permeabilitás lehetővé teszi, hogy a folyadék végig áramoljon a töredezett kőzetben, hőt szállít a felszínre, ahol elektromosságot generál. Előnye, hogy szinte bárhol alkalmazható, mivel nem szükséges termásvízforrás, hátránya, hogy nagyon pontos geológiai ismeretekkel kell rendelkezni a repedéshálózat létrehozásához, és a fúrási költségek is magasak a nagy mélység miatt, földtani kockázatokat és szeizmikus kockázatokat is magába foglal.

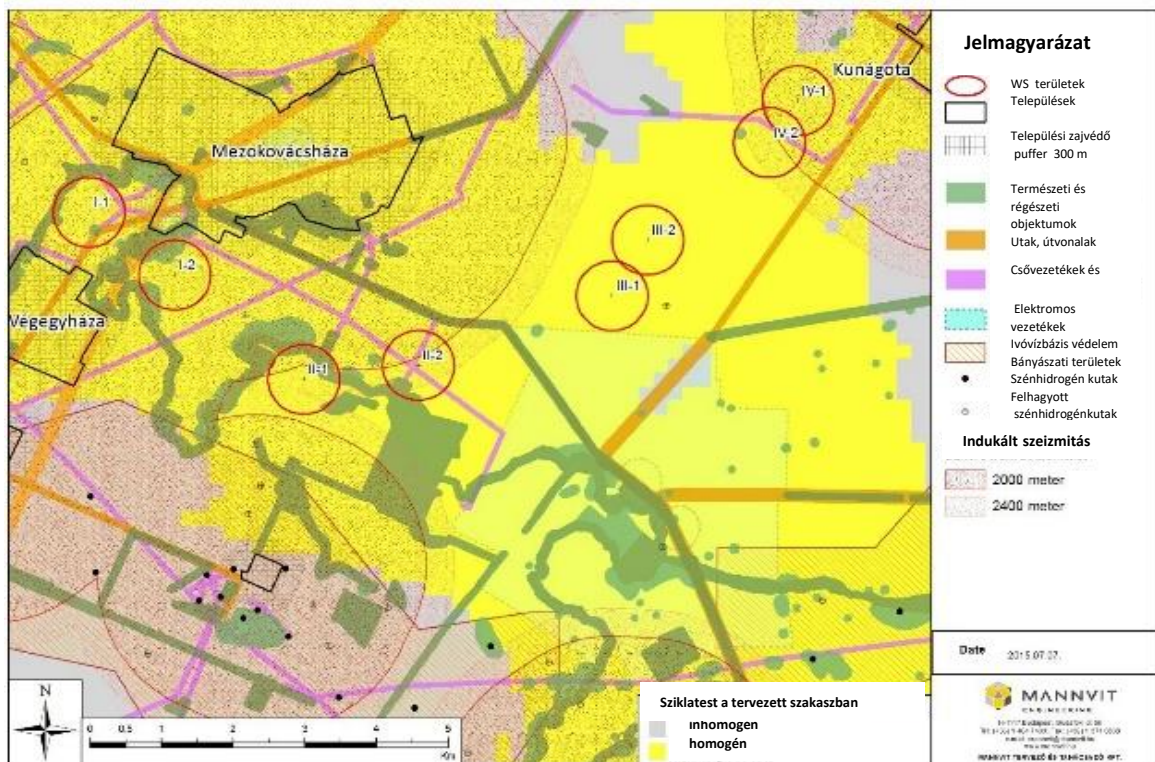
Az EGS-t az 1970-es évek óta kutatják, de az EGS fejlesztésére tett erőfeszítések továbbra is kis léptékűek maradtak, elsősorban az elégtelen tározótérfogat, a fúrási nehézségek és az indukált szeizmicitás miatt. Az első EGS kísérleti telepítés óta az Egyesült Államokban, a

Fenton Hillben (és 1974 és 1995 között futottak), kísérleti projektek működtek az Egyesült Királyságbeli Rosemanowes-ban; Bázeli Svájcban (amely 3 MW-tal eddig a legnagyobb volt a világon); Pohang Dél-Koreában; Hijiori és Ogachi Japánban; és a Habanero projekt Ausztráliában. Jelenleg csak néhány EGS projekt működik: az 1,7 MW-os Soultz-sous-Forêts Franciaországban; egy 1 MW-os létesítmény a németországi Groß Schönebeckben és a 27,5 MW-os Rittershoffen Geotermikus erőmű a francia Rajna vidéken.

Figyelemre méltó projekt a Fervo Energy projektje. A 2017-ben alapított vállalat három megközelítést vizsgál a geotermikus termelés újjáélesztésére vízszintes fúrással, száloptikai érzékeléssel. „A történelem első két vízszintes geotermikus kutat fúrtuk meg a nevadai winnemuccai kereskedelmi kísérletünk során” – közölte a vállalat februárban.

Európában és az Egyesült Államokban is létrehozott rendszerek tapasztalatai alapján 200°C-nál magasabb hőmérsékletű kristályos kőzetekben alakítható ki EGS. A költségek csökkentése szempontjából előnyös, ha ezek a feltételek minél kisebb mélységben állnak fenn. A Pannon-medence magyarországi része az egyik legbiztatóbb terület Európában a mesterségesen kifejlesztett földhőrendszer-technológia alkalmazási lehetőségeit tekintve – állítja a francia BRGM-nél (2004)-ben készített tanulmány. [18]

A magas geotermikus gradiens következtében Magyarországon több ígéretes hely is van. A „Gallery of 1D, 2D, and 3D maps from enhanced geothermal systems around the world” című oldalon, 64 potenciális területet mutat be, ezek közül Dél-Magyarországon is található egy.



2. ábra: Magyarország EGS Demo projekt forrás: Gallery of 1D, 2D, and 3D maps from enhanced geothermal systems around the world

Az ország ÉK-i és DK-i részén a magasabb hőmérsékletű aljzat kiemelkedésekben ez a felület 3500 m-nél kisebb mélységben található. Míg az ÉK-i részen az aljzat vulkáni kőzetekből áll, a DK-i részen az aljzatot kristályos kőzetek alkotják. A leginkább ígéretes régió az ország D-i, DK-i szeglete, ezen belül is a mély medencék peremei és a medencék között található, kiemelt alaphegységi területek: Dráva, Makó, Békés, Nagykunság és Derecske (Dövényi és mtársai, 2005). Battonya térségében már elindult egy EGS projekt Magyarországon, amelynek a teljes tervdokumentációja készen van, de a projekt maga egyelőre nem valósult meg.

Ezekben a régiókban a kristályos alaphegység anyaga kedvező esetben gránitos, mélysége 4000 m közeli, a közethőmérséklet legalább 200°C, és a terület a földrengések szempontjából is „csendes”.

6. Geotermikus vagyunk

Geotermikus vagyunk becslésére statikus és dinamikus megközelítést mutat be a szakirodalom.

6.1. A geotermikus energiavagyon statikus rendszerű becslése

A geotermikus energiavagyon vagy geotermikus alapkészlet a földfelszín egy adott területe alatt található teljes hőenergia. Az alapkészlet földfelszíntől számított kisebb mélységben található része a kinyerhető alapkészlet (Muffler, 1973), a magyar nevezéktan szerint földtani vagyon. A hőárammódszer (Banwell, 1963; Chen, 1970; Suyama és társai, 1975) a felszínen kilépő hőteljesítmény (P) kiszámításán alapul. Ez egyrészt a talajon keresztül, hővezetés révén (P1), másrészt konvekció útján, termálforrásokon, fumarolákon és kutakon lép ki a felszínre (P2), azaz e felszíni hőteljesítményt a talajon keresztül történő hővezetés, és a konvekció útján kutakon történő hővezetés összege adja. [19]

$$P = P1 + P2 \text{ [W]}$$

Először kiszámítjuk a konduktív részt (P1):

$$P1 = A \cdot q_a \quad (1)$$

ahol:

P1 - a konduktív hőteljesítmény [W],

A - felszín [m²],

q_a - átlagos hőáramsűrűség [Wm⁻²].

Majd meghatározzuk a konvektív részt (P2):

$$P2 = (rQ)c_v(T_v - T_0) \quad (2)$$

ahol:

P2 - konvektív hőteljesítmény [W],

rQ – tömegáram [kgs⁻¹],

c_v a víz fajhője [Jkg⁻¹K⁻¹],

T_v – vízhőmérséklet a mélyben [°C],

T_0 – a felszíni hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$].

A térfogati módszerrel történő készletbecsléshez (Cataldi és Squarcy, 1978; Bobok és társai, 1984 stb.) legyen a megadott térrész felülete A [m^2], vastagsága Δz [m^2]. Az e térrészben tárolt hőmennyiség (H_0) [J] (Muffler and Cataldi, 1978 alapján):

$$H_0 = [(1 - p) \rho_m c_m + p \rho_v c_v] (T_t - T_0) A \Delta z \quad (3)$$

ahol: p az effektív porozitás [-],

ρ a sűrűség [kgm^{-3}],

c a fajhő [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$],

T_t és T_0 a hőmérséklet a porózus kőzetben, illetve a felszínen [$^{\circ}\text{C}$], m és v indexek a kőzetmátrixot, illetve a pórusfolyadékot jelölik. A H_0 hőmennyiség, [J], a földtani vagyon, a termelés technológiájától, gazdaságosságától független geofizikai mennyiség. Haenel és Staroste (1988) két további fogalmat értelmeztek, melyből első lépésben a közeli jövőben gazdaságosan és jogszerűen kitermelhető energiavagyont, azaz a hasznos földtani vagyont (H_1) [J] vezették le:

$$H_1 = R_0 H_0 \quad (4)$$

ahol R_0 a kitermelés és a hasznosítás hatékonyságától, a visszasajtoló víz hőmérsékletétől függő tényező. Kétkutas rendszer esetén, amikor is a termelő kut(ak) mellett visszasajtoló kut(ak)at is használunk:

$$R_0 = 0,33 \frac{T_t - T_r}{T_t - T_0} \quad (5)$$

ahol:

T_t a termelt víz,

T_r a visszasajtoló víz,

T_0 a felszíni hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$] (Lavigne, 1978).

Visszatáplálás nélkül (Gringarten, 1978):

$$R_0 = 0,1 \quad (6)$$

A jelenleg is gazdaságosan kitermelhető, ismert energiavagyont, azaz az ipari vagyont (H_2) [J] egy újabb kitermelési tényező segítségével (R_1) becsülhetjük meg, melyben már az olajár és a kutak fúrása is szerepet játszik (Klenfeldt és mtársai, 1983):

$$H_2 = R_1 H_1 \quad (7)$$

ahol: R_1 (120 °C) rezervoárként jellemezhetünk. Ebben az esetben hozzávetőlegesen 3000 méteres aljzatmélységről beszélünk, ez olyan határértéknek tekinthető, amely felett még nagyobb számban kialakíthatók geotermikus energia kitermelésére alkalmas kút-párok, ahonnan 3000 méternél sekélyebbről 120°C-os vagy annál melegebb vizet nyerhetünk.

Az 1980-as években Liebe P. és munkatársai sok tanulmányt készítettek az ország geotermikus potenciáljáról és termálvíz-készleteiről. Munkacsoportjuk – a termelés gyakorlati szempontjainak megfelelően – azokat a porózus vagy karsztos képződményeket vette számításba, amelyekből a termálvíz visszasajtolással vagy szabad elfolyással termelhető (Liebe, 1982). Ezeknek a vizeknek a hőenergiáját a (2) képlet alkalmazásával számították. Az így kapott tulajdonképpeni ipari vagyont (H_2 -t) 343.000 PJ-ra, azaz 343 EJ-ra becsülték. Az állami nyilvántartás legújabb eredményei Rezessy és munkatársai (2003; 2005), (Szanyi és Hámor, 2005) térfogati módszerre épülő földtani vagyon számításain alapulnak. A számításhoz fuzzy analízist (Szanyi 2005) alkalmaztak. A készlet megállapítása geotermikus tartományokra, nagyobb geológiai egységekre, így a felső-pannóniai hévíztároló összletre történt. A számításhoz használt összefüggés (3) értelmében a szükséges paraméterek bizonytalanságának számbavételére használták a fuzzy analízist. Az elvégzett számítások alapján Magyarország földtani vagyona a 0–5000 m-es mélységtartományban 102.180 EJ. A vagyonnak mintegy 60%-át a medencealjzat 2500–5000 m mélységközben található része tartalmazza, ahol a hőmérséklet a 250–300 °C értéket is elérhet. A geotermikus energia hasznosítására legjobban hozzáférhető negyedidőszaki képződmények legalább 4160 és legfeljebb 5380 EJ hőmennyiséget tárolnak, a súlyponti defuzzifikált érték 4840 EJ. Figyelembe véve, hogy Magyarország éves energiafogyasztása kb. 1 EJ, elvben ezek a rétegek 4800 évig fedezhetnék energiaszükségletünket (Szanyi, 2005). A különböző készletbecslések alapján nyilvánvaló, hogy a hőáramból számított utánpótlódó hővagyon (264 PJ), az egységnyi felületre számított vagyon, a földtani vagyon (102.180 EJ) és az ipari vagyon (343 EJ) közt több nagyságrendnyi, néha több milliószoros eltérés van. Ennek azonban nincs jelentősége, mivel a jelenleg évente felhasznált geotermikus energia (~3 PJ, lásd később), még a legkisebb becslésnek is csak az 1%-t teszi

ki. A módszer a számításokat arra alapozza, hogy földkéregben tárolt és utánpótlódó hőenergia tartósan fedezné az ország energiaszükségletét, ha gazdaságosan ki tudnánk nyerni. [20]

6.2 A geotermikus energiavagyon dinamikus szemlélet szerinti becslése

Mivel a geotermikus energia iránti érdeklődés egyre fokozottabbá vált, szükséges lett egy kifinomultabb precízebb becslési módszer, szemlélet kialakítása. Az folyamatos informatikai háttér fejlődésével, számítógépes modell alkotások, az egydimenziós modelleket fokozatosan felváltják Ezek az integrált megközelítések, amelyek a hőmérsékleti elemzések mellett magukban foglalják a földtani, topográfiai és hidrogeológiai adottságok széles skálájú vizsgálatát is.

A dinamikus készletbecslés alapja, hogy a hőt folyadék kitermelésével hozzuk a felszínre. Ezáltal a rezervoárban hőmérséklet- és nyomáscsökkenést hozunk létre, ami megindítja az utánpótlódást. A dinamikus utánpótlódó geotermikus energiavagyon csak konkrét tárolókra/kutakra határozható meg. Meghatározásához számos nem (vagy nem kellő pontossággal) ismert paraméter meghatározására lenne szükség. A geotermikus energiavagyonban bekövetkező változások meghatározásához el kell készíteni a geotermikus tároló földtani és numerikus modelljét. Ehhez tisztázni kell a hőtermelés és a hőutánpótlódás jellemző folyamatait. A földtani, hidrogeológiai és geofizikai szempontok alapján meg kell határozni a tároló határait és a peremfeltételeket, valamint a tárolót kitöltő kőzetek jellemző fizikai paramétereit. Ezeket az alapadatokat különböző adatbázisokban megtaláljuk, a továbbiak összegyűjtése, a számítások elvégzése a közeljövő sűrű feladata. Ma már egyre inkább számításba kell venni már a készletbecslésnél az energia iránti igény nagyságát is. Ha mindezt figyelembe vesszük, akkor a geotermikus potenciál függ a fogyasztóktól is, akik meghatározzák a szükséges igényeket, teljesítményt. A készletekre vonatkozó komplex értékelés végeredményét térinformatikai adatbázisba építve, az eredmény információval szolgál a készletek ipari és lakossági felhasználási lehetőségekről. [21]

7. A geotermikus energia kiaknázásának helyzete Magyarországon

A termálvíz minden átalakítás nélkül alkalmas fluidum, a hőenergia szállítására, átadására közvetlen és közvetett módon is egyaránt. A termálkút üzemeltetési költségei a kinyerhető hőenergiához viszonyítva alacsonyak, ezért a termálvízre alapozott fűtésre elmondható, hogy versenyképes.

Épületek legkorábbi geotermikus fűtése a termálvizes fürdők közelében létesült. Már a két világháború között fűtöttek lakóházakat termálvízzel a budapesti állatkert környezetében, valamint az állatkert pálmaházát, a trópusi állatok házeit, medencéit is.

A 1960-as évek végén kezdődött Délkelet-Magyarország városaiban a távfűtési hálózatok kiépítése. Geotermikus távfűtés és lakásfűtés létesült akkoriban Hódmezővásárhely, Szeged, Szentes, Makó, Kistelek városaiban. Már akkoriban is történt szénhidrogénkutató fúrás átalakítása, ezeket elsősorban balneológiai célra hasznosították. (Hajdúszoboszló, Bükkszék). Az időszak kiemelendő helyisége Hódmezővásárhely, ahol már a geotermikus energia hasznosításának több évtizedes hagyománya van, és jelenleg is folyamatos fejlődést mutat, kiemelkedően az üvegház-növénytermesztés felhasználás tekintetében, még saját forrásból történő beruházás tekintetében is.

A rendszerváltozást követően, mint minden iparágban, így a geotermikus szegmens tekintetében is stagnáló időszak következett. Az Európai Unióhoz történő csatlakozás (2004) után meginduló beruházási projektek (KIOP, KEOP, KMOP) melyek jelentős támogatást nyújtottak új lendületet adtak az ágazatnak. Egymás után következtek a kisebb települések beruházásai (Bóly, Kistelek, Törökszentmiklós, Orosháza, Gárdony, Mórahalom, stb.) geotermikus hálózatai, melyek magukkal vonzották a további fejlesztéseket.

2007 és 2013 között a KEOP13 (Környezet és Energia Operatív Program) keretei közé tartozott a megújuló energiával kapcsolatos pályázatok legtöbbször. „A KEOP elsődleges célja a hazai energiahordozók forrásszerkezetének kedvező irányú befolyásolása, azaz a fosszilis energiaforrások felhasználásától a megújuló energiaforrások felé történő elmozdulás elősegítése” (NFM, 2010). A geotermikus energia, a fűtési célú felhasználás területén jelenik meg a KEOP konstrukcióban. Részletezésre kerültek a támogatható projekt típusok, melyek a hőhasznosítás rengeteg szegmensére kiterjedtek. Támogathatták új kutak fúrását, vagy

meglévők bővítését, hőkitermelési egységek építését vagy hőelosztásrendszerek kialakítását (NFM, 2010). [24]

2013-tól átalakult a támogatási rendszer újabb vissza nem térítendő támogatások formájában, még több pénz áramlott az országba, a kutatás-fejlesztés szektorba is lehetővé tette hogy beilleszkedjen egy-egy geotermális hasznosítást célzó projekt, (Pl. GINOP 2017-es támogatási projektben, Pécs térségében is volt ilyen kísérlet) de a hasznosítás nem mutatta az ezzel párhuzamosan a növekedést.

2020-ban a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat elkészítette az „Országos Geotermikus Rendszer”-t (OGRe), mely egy mindenki számára elérhető és egységes szerkezetű, könnyen felületen keresztül szolgáltat áttekintő, hiteles és naprakész, vízföldtani, földtani, geofizikai, adatokat, az ország geotermikus energiavagyonával, és meglévő kutakkal kapcsolatban. (MEKH 2016)

A jelentős fejlesztéseknek köszönhetően ma Magyarország több mint 250 termálfürdővel rendelkezik, ez a szám 2010-ben 104 volt. A fűtési célú közvetlen hőhasznosítás tekintetében Magyarország hosszú évek óta Európa élmezőnyében van (Franciaország és Izland mögött a 3. helyen) köszönhetően a geotermikus táv-és városfűtési rendszereknek.

A termálvizek energetikai hasznosítása a célt tekintve két nagy területre terjed ki:

1. Villamosenergia-termelés, amikor a geotermális fluidum (termálvíz, gáz, ill. keverékük) hőjét villamos energiává alakítják át.
2. Közvetlen hőhasznosítás, mely során a termálvíz hője közvetlenül, átalakítás nélkül kerül hasznosításra (ennek tipikus példája a légtérfűtés), ebben az esetben a 100-120°C alatti hőmérsékletű termálvizek hasznosításáról beszélünk.

8. Egy komplex geotermikus rendszer felépítése

A geotermikus energia nagy mennyiségben rendelkezésre álló hazai energiaforrás, ezért csökkenti az import energiától való függést mindemellett a tervezés, a kutatás, kiépítés, karbantartás, ipari és mezőgazdasági megoldások hazai munkahelyeket teremtenek és tartanak meg.

Egy komplex beruházás megvalósítása nemzetgazdasági szinten hozzájárul a teljes ellátási- és fogyasztási láncot átfogó energiahatékonyság megvalósításához, az alacsony CO₂-intenzitású villamos energia termelés arányának növeléséhez, valamint a megújuló és alternatív hőtermelés elterjesztéséhez.

Magyarországon egyrészt számos területen, található ilyen forrás, ennek ellenére komplex hasznosítása csekély.

Egy komplex geotermikus projekt átfogó célja, hogy a hozzájáruljon az EU és Magyarország dekarbonizációs céljaihoz, a kormány turisztikai fejlesztési céljaihoz, továbbá fejlessze az elmaradott térségek gazdaságát. és jelentős számú új munkahelyet teremtsen. Az ilyen projektek létesítése kulcsfontosságú hazánk jövője szempontjából.

Mint a KSH (2022) adatai alapján is látható:

Primer energiahordozó termelésünk	451,0 PJ
Végso energia felhasználás	748,0 PJ
Megújuló energiaforrások felhasználása:	15,3%
Primer energia felhasználás	1085,5 PJ

Egy komplex geotermikus rendszer kialakításának lépései:

1. Geotermikus kitermelő rendszer kialakítása (meglévő használaton kívüli szénhidrogénkút átalakítása vagy új kút fúrása)
2. Kutak tesztelése, rezervoár tesztelése
3. Geotermikus összekötő vezeték kijelölése

4. Erőműgyártókkal történő egyeztetések lefolytatása
5. Hálózati allokációs eljárás lefolytatása (MGT)
6. Termelési eredmények alapján erőmű beszerzése
7. Összekötő geotermikus vezetés kivitelezése
8. Egyéb célokra való felhasználás

A geotermikus energia felhasználása nem egyenlő a termásvíz kitermeléssel. A legnagyobb energetikai felhasználó a mezőgazdaság. Kertészeti felhasználás tekintetében hazánk világelső. A geotermikus energia részaránya az ország energiamérlegében még mindig 6, 675 %-os.

Lehetőségeink a termásvíz energetikai hasznosításának vonatkozásában nincsenek kihasználva.

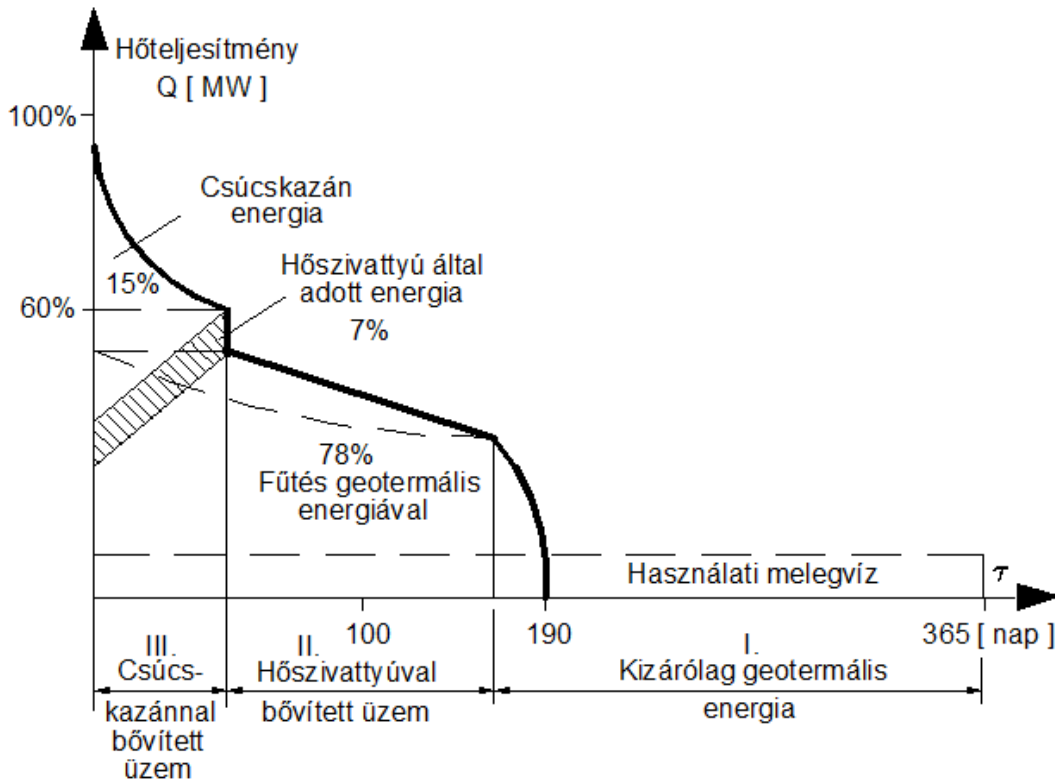
A hazai geotermikus energia-hasznosítás optimális követelményei alapján figyelembe kell vennünk azonban az alábbi tényezőket:

- A hasznosítás alapvető feltétele a vízügyi előírásoknak történő megfelelő, a tároló- a környezetvédelmet figyelembe vevő rendszer kialakítása.

Cél a többlépcsős komplex rendszerek létrehozása: azaz az energia több hőlépcsőben történő felhasználása.

Fontos figyelembe venni a visszasajtolás szempontjait is, továbbá a legtöbb felhasználás esetén tartalék fűtési rendszerről is kell gondoskodni, amely a fogyasztás változásainak kiegyenlítésére szolgál. Ez lehet csúcskazán vagy puffer tartály létesítése. A puffer tartály egy hőtároló, tipikusan egy városi fűtési rendszernél a hőfogyasztók hőleadói tárolólóból kapják a fűtési körhöz tartozó melegvizet, melyet szükség szerint egy szivattyú keringtet a rendszerben. Mivel a geotermikus teljesítmény évszaktól független, a tároló helyes méretezése esetén képes biztosítani a szükséges fűtésigényt.

Az alábbi ábra egy komplex rendszer kialakítására vonatkozó összetett hőfelhasználás aspektusait mutatja be.



3. ábra: Összetett energiafelhasználás éves tartamdiagramja, forrás: (Kontra 2010) [23]

Ezért egy ilyen lehetséges projekt átfogó értékelését, megvalósíthatóságát, gazdaságosságát, nem könnyű megítélni. Kiindulásként célszerű a rendszert, szakterületekre, alrendszerekre bontani. Négy fontos oldalról érdemes megvizsgálni a beruházás vetületeit az alábbiak szerint:

Geotermikus energiatermelési potenciál, hőellátási oldal:

- Általános geológia
- Geofizikai mérések kiértékelése
- Hidrogeológia: felszín alatti modellezés, rezervoárméchanika
- Vízkémiai elemzés
- Használaton kívüli szén-hidrogén kutak hasznosításának vizsgálata
- Mélygeotermikus kutak mélyítése, kiképzése
- Felszíni technológia, hőcserélés, hőszivattyúk
- Hőtávvezeték létesítése

Fogyasztói oldal:

- Hőigények számbavétele
- Hőenergia ellátás

Pénzügyi aspektus:

- Beruházási költségek
- A költségek megtérülési ideje
- Finanszírozási lehetőségek

Környezetvédelem

- Fő szempontok
- Szén-dioxid kibocsátás csökkentése

Munkám során több ilyen projekt részeként kialakított termelő rendszer kivitelezésének dokumentációs szegmensében dolgoztam, melyek többnyire fűtési célú, vagy kertészeti felhasználás tekintetében lettek a rendszer részeként installálva. Dolgozatomban egy fiktív példán szeretném bemutatni a fent felállított szempontok fontosságát, illetve környezeti/ gazdasági szempontból vett számszerűsített előnyeit.

A komplex geotermikus projekt céljaként megfogalmazható alapelvek érvényesülésével olyan reális célt szükséges megjelölni, amely nagy valószínűséggel elérhető. A projekt átfogó céljaként hozzá kell járuljon az EU és Magyarország dekarbonizációs céljaihoz, a kormány turisztikai fejlesztési elképzeléseikhez, továbbá fejlessze egy elmaradott térség gazdaságát.

Alapfeltevés lehet, hogy egy kiemelten hátrányos helyzetű régióban, olyan munkahelyteremtő beruházást valósítson meg, amely a térség egyedi területi és geológiai adottságaira alapozva sikeresen javítja mind a turisztikai, kiemelten egészségturisztikai kapacitás kihasználtságát, mind a mezőgazdasági teljesítményét, illetve népesség megtartó képességét. A megvalósításra kerülő beruházási elemekkel szembeni követelmény, hogy egymással szoros kapcsolatban, a szinergiái hatások kihasználásával biztosítják a gazdasági megtérülését és a hosszútávú versenyképesség fenntartását.

Ennek megfelelően egy lehetséges tervezett fogyasztói oldal és megfogalmazott célok:

-100 szobás rehabilitációs, egészségügyi központ, vagy balneológiai célú szálloda létesítése

Egy ilyen beruházási elem jól illeszkedik a Nemzeti Turizmus Fejlesztési Stratégia 2030-hoz. A kormányügynökség céljaként megfogalmazott irányelvekhez, melynek fontos eleme a medical turizmus.

-5 ha-os fűtött üvegházi zöldségtermelés,

-geotermikus hőenergia kitermelés bináris ORC erőművel.

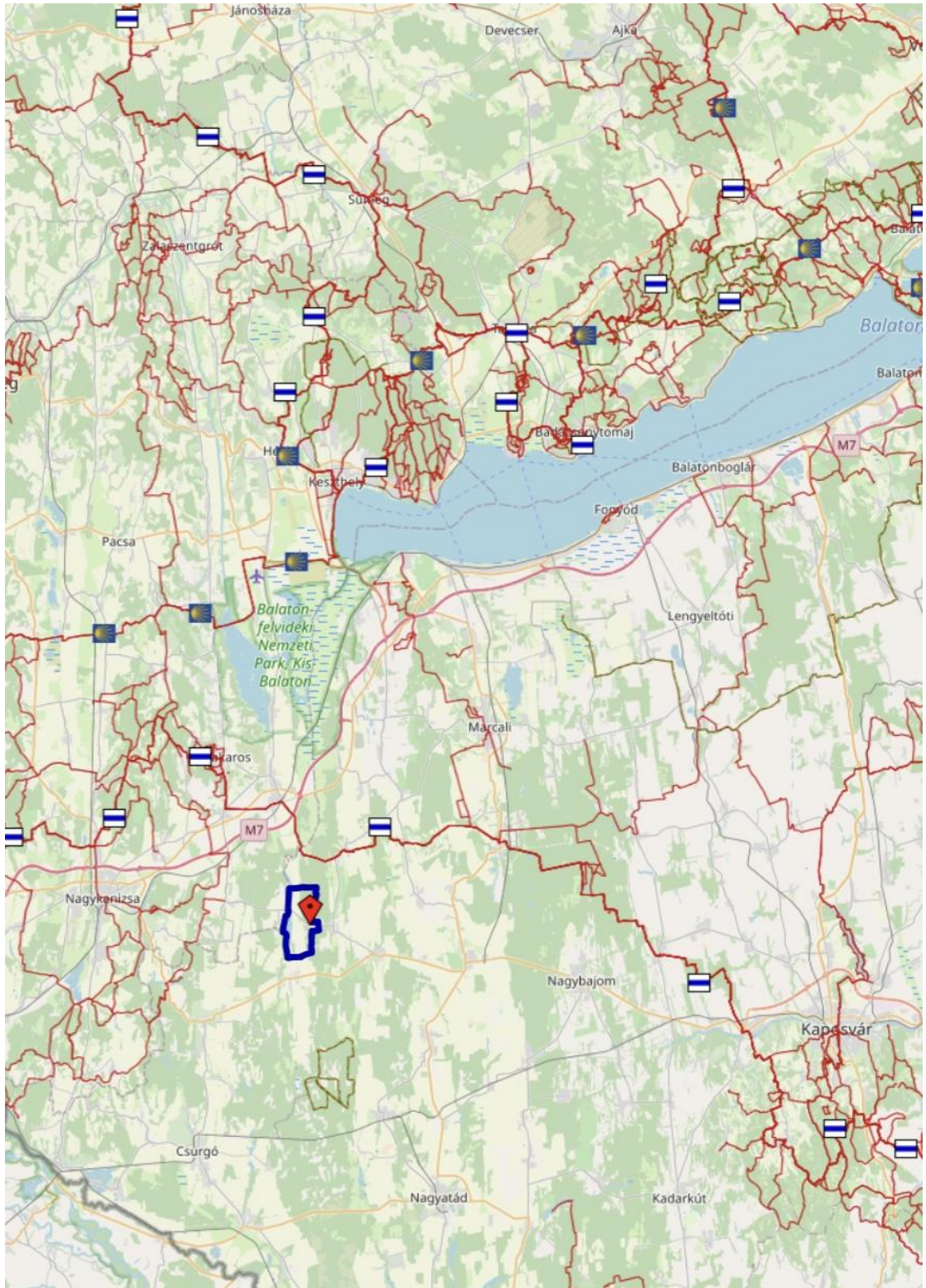
melyeket a közös energia ellátási rendszer kapcsol össze és biztosít vásárolt, fosszilis hálózati energia költségtől mentesen.

8.1.Régiókiválasztás szempontjai

Mivel a Dél-Alföldi régió, potenciálisan sorra kiaknázott területnek tekinthető, így választásom egy másik fúrásokkal feltárt régióra esik, így a vizsgálathoz, előzetes értékeléshez szükséges információk elegendő mennyiségben rendelkezésre állnak.

Felmértség tekintetében a szükséges jelentések, szénhidrogén-kutatási zárójelentések, fúrások, geofizikai szelvények, 3D, 2D szelvények, szeizmika, gravitációs, mágneses, magnetotellurikus mérések mind rendelkezésre állnak az MBFSZ Adattárban, melyek mind hozzájárulnak az értékelések elvégzésére, és a modellalkotáshoz.

Somogy megyében három (Nagykanizsa, Nagykanizsa-Nyugat és Igal), geotermikus koncessziós terület is található. Nagykanizsa geotermikus koncessziós területéhez 9 somogyi település tartozik: Iharos, Iharosberény, Inke, Nemesdéd, Pogányszentpéter, Porrog, Somogybükkösd, Varásló, Zákány. A választott helyszín a Dél-nyugat Dunántúl, Varásló – Pat – Inke térség, mely Magyarország kőolaj- és földgáz kutatás szempontjából a legjobban feltárt, kutató fúrásokkal megvizsgált területe. Közeleli tradicionális hévíz helyeink: Zalakaros, Hévíz.



4.ábra: Projekt helyszín

forrás: OpenStreetMap.hu

A megvalósítás helye: Varászló község – Somogy megye. A projekt helyszíne 8723 Varászló, külterület HRSZ: 0129/10, 0127/2, 012,013, 014, 143/1,143/2, 144. Varászló, bár igen kis település mindössze 160 ember él itt, mégis vonzó helyszín, mivel az elhelyezkedése kiváló:

14 km-re van az M7 autópályától, a Balaton (például Keszthely) 50 km, a Sármelléki Balaton Airport 37,5 km, Zalakaros 23 km, Nagykanizsa 26 km, ami igen kedvező adottság akár kisebb turista utak vagy hosszabb utazások szempontjából, de akár a munkaerő munkába járási szempontból is. Az Inke, Varászló, Pat, Miháld, Sand, Nemesdéd, Vése térség részletes elemzése alapján megállapításra került, hogy:

- rendkívül hátrányos helyzetű a térség;
- magas, 50% körüli a munkanélküliség;
- a termőföldek alacsony/közepes minőségűek (döntően 5-ös, 6-os, néha 7-es minőségi osztályba sorolt területek);
- elmaradott térség (mind alap infrastrukturális ellátottság, mind elérhető szolgáltatások tekintetében);
- az emberek döntő többsége segélyből él;
- a munkaerő döntően szakképzetlen.

A fejlesztés elemeinek meghatározásakor figyelembe kell venni a térség természeti adottságait és munkaerő ellátottságát, így elsődleges célként a munkaerő vonzó és munkaerő megtartó képesség javítása került a középpontba. A tervezett mozgásszervi rehabilitációs központ vagy balneológiai célú létesítmény és mezőgazdasági üvegházi termelés olyan multiplikatív hatást képes generálni, amely segítségével az egyéb kapcsolódó, kiszolgáló tevékenységek is fejlődésnek indulhatnak a biztos piaci kereslet által, így a fejlesztés rövidtávon, komplex módon segít az egész térség gazdasági és társadalmi problémáinak javításában.

Mindezek mellett az elemzések rámutattak, hogy a térség egy országosan is jelentősnek nevezhető geotermikus tárolón (rezervoár) fekszik, amely számtalan lehetőséget rejt a hatalmas megújuló energiaforrás kihasználására. Tehát a térségfejlesztési szempontból is kijelenthető, hogy a terület ideális beruházások telepítésre, mert

- logisztikai, utazási és kapcsolati szempontokból kiváló a fekvése
- korlátlanul áll rendelkezésre a fejlesztésbe bevonható termőföld

- térségben szabad, képzetlen, de átképezhető munkaerő áll rendelkezésre
- a geotermikus tároló korlátlan hőenergiát biztosít.
- valamennyi helyi önkormányzat támogatja a fejlesztés megvalósítását
- az új munkahelyteremtő, illetve a megújuló energiák széles körű hasznosítását célzó beruházások összhangban állnak a kormány által is támogatott célokkal.

Üzleti gazdasági szempontból összefoglalva a megfogalmazott projekt célkitűzésekhez az alábbi SWOT elemzést rendelkezhetjük:

Erősségek	Gyengeségek
<p>A projekt alapját szolgáló geológus és geotermikus szakértők nemzetközileg jelentős tudása, szakértelme;</p> <p>A megvalósításhoz szüksége eszközök és berendezések döntő többsége Magyarországon beszerezhető;</p> <p>A management szakértelme és elkötelezettsége</p> <p>A szakképzetlen munkaerő helyben rendelkezésre áll;</p>	<p>Magas beruházási költségek;</p> <p>A vállalkozások tőkeszegénysége;</p> <p>Nincs kiépített közmű, hőfogyasztó, ezeket a vállalkozásnak kell megteremtteni;</p> <p>ORC erőmű technológia import beszerzése; A szakképzett munkaerő viszonylagosan nehéz biztosítása;</p>
Lehetőségek	Veszélyek
<p>A geotermikus lehetőségek biztosítják a projekt továbbfejlesztését;</p> <p>szorosabb együttműködés szabályzó testületekkel;</p> <p>A komplex beruházásokra való kormányzati támogatási hajlandóság;</p> <p>Magyar beszállítói hálózat erősödése;</p>	<p>Szakképzett munkaerő fluktuációja;</p> <p>Időjárási kockázatok;</p>

5. ábra: A rendszer SWOT analízise,
saját készítésű ábra

Figyelembe véve a fenti körülményeket a koncepció fázisai:

A. Termelő rendszer kialakítása: A termelési fázisok műszaki, energetikai alapjainak megteremtése a geotermikus energia kitermelési rendszer megvalósítása, mely áll egy termelő és visszasajtoló kútpárból, továbbá az őket összekötő csővezetékéből és a kútépészetből. A rendelkezésre álló hasznosítható kutakra vonatkozó vizsgálat, és arra vonatkozó költségelemzés, hogy a fúrési költségek gazdaságosabbak lennének-e.

B. Az első termelési fázishoz szükséges 1,45 MW ORC erőmű telepítése, amellyel a feltörő geotermikus fluidum első energia potenciál zónájának (135°C-80°C fokig) kihasználása történik villamos energia előállításra. Az előállított villamos energia értékesítve lesz részben a projekt keretében létrehozott mintafogyasztók számára, részben az üzemeltető saját vonaláram igényeinek fedezésére, illetve a hálózaton keresztül, piaci áron kerül értékesítésre. A kitermelt 715.200 GJ évi energiából 374.600. GJ energia felhasználásával.

C. A második termelési fázisban a közvetlen fűtési célú energia hasznosításhoz minta fogyasztók létesítése, amely képes igazolni, hogy magas energiahatékonyság érhető el a feltörő geotermikus fluidum második – erőműi felhasználás utáni – energia potenciál zónájának (85°C-30°C-ig) kihasználásával. A mintaprojekt keretében megépítésre kerül egy 41.000 m²-es üvegház komplexum, amely energia igényének 100%-át képes a geotermikus kút kielégíteni, továbbá az ellátásbiztonság segítségével a termelési időszakok megfelelően szabályozhatók, a termelési hatékonyság maximalizálható. A fennmaradó energiából hasznosított mennyiség: 44.300 GJ/év.

8.2. Somogy megye geotermikus viszonyai

A régióban számos szénhidrogén kutatási kút van. Somogy megye a Balatontól délre fekszik kizárólag fúrásból ismert perm és triász képződményei jelentősen a különböznek a szomszédos dunántúli-középhegységi, illetve mecseki egység hasonló korú képződményeitől. Kőzetek: mészkő, dolomit, márga. A megyében mélyült fúrásokból bizonytalan korbesorolású, jura és kréta korúnak feltételezhető üledékes kőzetek is előkerültek. A megyében az átlagos geotermikus gradiens 43,9 – 56,4°C/km, a földi hőáram 92 + 20% mW/m² között mozog. Ugyanakkor a lokális, porózus, kettős porozitású rendszerek miatt jelentős geotermikus anomáliát találunk Táskai térségében, ahol 707 m mélységű kútból 72°C hőmérsékletű hévizet termelnek a legmagasabb geotermikus gradiens érték 101,8°C/km. A megye déli részén a Dráva süllyedékében a felső-pannon homokos, homokköves tároló helyezkedik el, ebből termelnek Barcsi és Csurgói hévízkutjai. A terület geotermikus hasznosításakor ügyelni kell a jelenlevő szénhidrogéntelepekre, valamint fokozott figyelemmel kell lenni a létesítmények telepítésekor, hiszen az olajzóna 1800-2500 m, illetve 1800-2200m, a földgáz általában 3000 m alatt helyezkedik el. Ezek tekintetében meg kell tenni a megfelelő biztonsági intézkedéseket. Mivel a megye területén 91 termálkút szerepel a hévízregiszterben, érdemes ezek adatait szem előtt tartani. A megye területén 20

hasznosítható meddő szénhidrogénkút is található. Elhelyezkedésüket, mélységadatokat, mélyítés évét az alábbi táblázat tartalmazza:

2. táblázat Hasznosítható széndhidrogénkutak,

(forrás: MEKH 2016)

	Rövid név	Földrajzi helyszín				Talpmélység	Mélyítés éve
		Település	EOVx	EOVy	Hrsz.		
1	Ber-1	Berzence	99545,5	501889,2	143,3	2835	1965
2	GB-5	Babócsa	78431,5	518525,8	110,9	2383	1956
3	GBF-4	Babócsa	80631,6	517980,8	123	1100	1959
4	I-27	Kaszó	111037,6	507822,9	160,3	2001	1964
5	Ka-2	Somogytúr	153290,3	554830,3	270,1	1026	1953
6	Kom-1	Barcs	74491	521406,7	107,1	2964	1966
7	Mer-2	Somogyjád	129604	549187,2	174,5	2950	1967
8	Mcs-2	Bodrog	126768,4	542282,8	155,8	2244	1964
9	Mcs-19	Várda	123848,1	547178,9	160,8	2106	1966
10	Mcs-22	Somogyjád	125958,6	546700	168,5	2437	1966
11	Nagy-2	Nagyatád	101600,5	521180,4	128,2	2803	1965
12	Nagy-4	Nagyatád	96508,6	518328	133,8	2802	1966
13	Ög-2	Öreglak	140312,5	538413,3	156,8	1466	1966
14	Pat-1	Varászló	120864,9	507614,2	131,9	2111	1961
15	Ri-2	Háromfa	87317,4	518483,8	118,2	2499	1962
16	Ri-3	Rinyaszentkirály	92102,4	521293,5	123,8	2816	1965
17	Sáv-2	Szőkedencs	138071,2	510779,3	111,8	2343	1964
18	Sáv-K-1	Sávoly	140426,1	513135,2	119,3	2250	1988
19	Som-4	Somogysámson	138670,9	517864,6	175,9	2400	1985
20	Víz-15	Vízvár	83036,6	512012	131	2100	1962

Ezekről a kutakról vízföldtani naplók komplett dokumentációk is rendelkezésre állnak. A 90°C-os közet hőmérséklet Somogy megye területén 1600-1800 m mélységben elérhető, és láthatóan több kút is mélyebb ennél, mely arra enged következtetni, hogy ezek a meddő szénhidrogénkutak geotermikus energiahasznosítás szempontjából ígéretesnek látszanak, érdemes több szempontból is megvizsgálni őket.

Az elhagyott olaj- és gázkutak újra hasznosításának lehetőségeit különböző tanulmányok már kimutatták. Ennek végrehajtása azonban a terepen való megközelítés miatt nagy kihívást jelenthet a gyakorlatban. Az időzítés, a leszerelés az első fontos lépés a hatékony

átalakításhoz, valamint a bizonytalanságok és a költségek csökkentése érdekében. Megbízható szűrés és adatok előzetes feldolgozása javasolt a kút átalakítása előtt. A kutaknak megfelelő geotermikus gradienssel kell rendelkezniük, megfelelő mélység, áteresztő réteg és stabil hőmérsékleti teljesítményt kell biztosítani, továbbá nagyon fontos a kút integritásának vizsgálata is. [24]

A kút integritása a kút műszaki állapotát jelenti, a kútban lévő összes elem integritásának összefoglalását. Nyomásviszonyok, opcionális szivárgások vizsgálata. Ha már száraz/felhagyott kutakról beszélünk, fontos a kezdeti állapot, és azt is figyelembe kell venni, hogy a kezdeti megvalósítástól eltelt idő alatt nem történt-e korrózió/erózió a kiválasztott kút esetében.

A figyelembe veendő tényezők többsége többlet tőkeköltséget okoz a projektben (a fúrási költségek megtakarítása a régi szénhidrogén kutakhoz kapcsolódó többlet tőkeköltségekkel szemben), ezek közül néhány egyszerűen ellehetetleníti a régi kút újra hasznosításának lehetőségét (pl.: integritási problémák nem megoldhatóak), és vannak olyanok, amelyek gazdaságilag kivitelezhetetlenné teszik az esetet (pl.: nagy átalakításra lenne szükség a kút integritásának / befejezésének megváltoztatásával kapcsolatos problémák orvoslásához, ami többbe kerül, mint egy új kút fúrása).

Tehát mindenképpen érdemes megvizsgálni a hasznosítható kutak állapotát, de nem biztos, hogy célszerű megoldásra vezet. A felvázolt kritériumok alapján a továbbiakban 2 kutat fogok ebből a szempontból elemezni és bemutatni.

A meddő CH mélyfúrás reaktiválása termál kúttá, vagy monitoring kútként használata új kút fúráshoz azért lenne jó megoldás, mert ismert geológiai környezetben történik a kútkialakítás folyamata, nincs kockázata, mint az új kutak fúrásánál általában. Ismert a fúrás geológiai szerkezet és geotermikus fluidum fizikai és kémiai összetétele. Ezen adatok alapján a beruházás költsége 100% pontossággal tervezhető, és 100% biztonsággal kalkulálható a várt üzleti eredmény. Monitoring adatok nélküli új fúrások esetén ezek a tényezők csak 50-60% pontossággal becsülhetők.

8.3. A környező kutak elemzése

Pat-2 jelű meddő CH kút

A fúrás helye: Pat községi templomtól DDK-re 2750 m-re.

Kútterület hrsz-a: 0116, Varásló külterület

EOV koordináták: Y = 507 826,54 X = 120 654,83

Toronyalap magassága: Z = 132,52 mBf

Forgatóasztal magassága: 136,05 mBf.

Mélységeltérés: 3,53 m

Tervezett mélység 2400,0 m

Végleges mélység 2353,5 m

Műszaki kiképzés 133/4"-os béléscső saru: 100,37 m-ben, cementezve felszínig
9 5/8"-os béléscső saru: 602,00 m-ben, cementpalást tető 98 m-ben
6 5/8"-os béléscső saru 1.922,78 m-ben, cementpalást tető
1900 m-ben

Összefoglaló rétegsor

3,2 - 194,0 m sárga, zöldesszürke homok fás barnakőszén csíkokkal.

184,0 - 354,0 m szürke, meszes agyag, homok, homokkő fás barnakőszén csíkokkal.

354,0 - 666,0 m szürke, világosszürke, meszes agyag, homok, homokkő fás barnakőszén csíkokkal.

666,0 - 906,0 m meszes agyag, szürke mészmárga, puha kvarchomokkő és homok.

906,0 - 1098,5 m meszes agyag, szürke mészmárga, kvarchomokkő és homokkő fás barnakőszén csíkokkal.

1098,5 - 1206,0 m világosszürke, meszes, homokos agyag, kvarchomokkő csíkokkal és padokkal.

1206,0 - 1475,0 m szürke agyagmárga.

1475,0 - 1797,0 m világosszürke, finomszemű kvarchomokkő és szürke agyagmárga rétegek váltakozása.

1797,0 - 1875,0 m szürke agyagmárga, barnás-szürke márga és mészmárga vékony kvarchomokkő csíkokkal.

1875,0 - 1916,0 m barna, szilánkos törésű márga, zöldesszürke vulkáni tufacsíkokkal.

1916,0 - 2029,0 m zöldesszürke, változó szemnagyságú kvarchomokkő, kvarckonglomerátum és tarka agyag riolittufa csíkokkal.

2029,0 - 2030,0 m világosbarna, szilánkos törésű mészmárga.

2030,0 - 2353,5 m dolomit konglomerátum, mészkő, dolomitos mészkőbreccsa és dolomitbreccsa.

A kút fúrásakor 2094 – 2204 m között 2 – 3 esetben jelentéktelen iszapvesztés lépett fel.

Földtani korbeosztás:	3,5 - 11,0 m	Negyedidőszak
	11,0 - 1162,0 m	Felsőpannon
	1162,0 - 1875,0 m	Alsópannon
	1875,0 - 1916,0 m	Miocén, szarmata
	1916,0 - 2030,0 m	Miocén, bádeni
	2030,0 - 2353,5 m	Mezozoikum, alsó- és középső triász

Rétegvizsgálatok

1. sz. rétegvizsgálat

Nyitott szakasz: 1922,78 – 2353,5 m között.

Eredménye: nagymennyiségű, felszálló, kén-hidrogén szagú forró sós vízbeáramlás kevert gázzal (CO₂ + éghető gáz), az alábbi hozam- és nyomásparaméterekkel:

3. táblázat: Mérési adatok

Saját készítés

Fúvóka Ø mm	Hozam m ³ /d	Hozam m ³ /d	Termelőcső MPa	Béléscső MPa
20	288	nem mérték	1,8	1,1
15	276	nem mérték	2,3	1,2
12	252	nem mérték	2,1	0,9
10	169	nem mérték	2,7	1,4
2 ⁷ / ₈ "	480	nem mérték		

Az 1897,0 m-ben mért zárt nyomás 19,5 MPa. Gázösszetétel. 78,71 térf.% CO₂, 21,79 térf.% éghető gáz. A 6⁵/₈"- 2⁷/₈"-os gyűrűs téren és a termelőcsövön egyszerre termeltetve a kút hozama 1968 m³/d volt 13 perces termeltetésből. Réteghőmérséklet 1892 m-ben 132°C.

1/a sz. rétegvizsgálat.

Nyitott szakasz: 1922,78 – 2353,5 m között.

Eredménye: 20 mm-es fúvókán 432 m³/d felszálló, forró sósvizet és éghető gázos CO₂ gázt termelt a kút. A gáz mennyiségét nem mérték.

1/b sz. rétegvizsgálat.

Nyitott szakasz: 1922,78 – 2353,5 m között.

2⁷/₈"-os szelvényen 288 m³/d felszálló, forró sósvizet és éghető gázos CO₂ gázt termelt a kút. A gáz mennyiségét nem mérték. A rétegvizsgálat befejezése után cementdugó elhelyezésére került sor 1875 m-es végcsőállás mellett. A cementdugó alja nem ismert. A rendelkezésre álló termásvíz az összetétele alapján nátrium-kálium kloridos, kalcium-magnézium hidrogénkarbonátos, szulfidos, szulfátos termásvíz.

2. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1866 – 1870 m között 96 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány gyenge éghető gázszivárgással.

3.sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1845 – 1850 m között 120 jet lövéssel, + nyitva a 2. sz. rv. rétegei.

Eredménye: néhány liter fekete olaj éghető erős gáznyomokkal.

4. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1840 – 1850 m között 236 jet lövéssel, + nyitva a 2. sz. rv. rétegei.

Eredménye: minimális mennyiségű barnás-fekete olaj éghető gáznyomokkal sósvíz nélkül.

A rétegvizsgálatok befejezése után cementdugó elhelyezésére került sor 1766 m-es végcsőállás mellett. A cementdugó alja nem ismert.

5. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1747 – 1750 m között 68 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány gyenge éghető gázszivárgással.

6. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1704 – 1708 m között 90 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány.

6/a sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1704 – 1708 m között 90 jet lövéssel. Újra perforálás.

Eredménye: beáramláshiány.

7. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1603 – 1605 m között 46 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány.

8. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1603– 1606 m között 68 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány gyenge éghető gázszivárgással.

Az 5 – 8 számú rétegvizsgálatok befejezése után cementdugó elhelyezésére került sor 1567 m-es végcsőállás mellett. A cementdugó alja nem ismert.

9. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1106 – 1111 m között 38 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány.

10. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1108 – 1112 m között 96 jet lövéssel.

Eredménye: beáramláshiány.

A 9 – 10 számú rétegvizsgálatok befejezése után cementdugók elhelyezésére került sor 1070 és 713 m-es végcsőállások mellett. A cementdugók alja nem ismert.

A rétegvizsgálatok során végzett vízvizsgálatok eredményeit a következő táblázat szemlélteti:

4. táblázat: Archív értékelési adatok
saját készítés

Kémiai alkotók	1 sz. rv.	1/a sz. rv	1/b sz. rv.
	1922,78-2353,5	1922,78-2353,5	1922,78-2353,5
	mg/l	mg/l	mg/l
Na+ + K+	9188,3	9589,6	9893,2
Ca++	256,0	492,0	264,0
Mg++	34,0	60,7	43,7
NH4+	19,7	18,5	20,0
Fe+++	0,7	6,3	3,1
Cl-	13668,2	14487,2	14714,2
HCO3-	1263,9	1700,1	1334,1
SO4--	482,5	551,0	546,5
Összesen	24913,3	26905,4	26818,8
CO ₂	126,0	118,3	100,8
Mindösszesen	25039,3	27023,7	26919,6

Pat-4 jelű meddő CH-kút

A fúrás helye: Az Inke-i templomtól ÉK-re 1600 m. Kútterület hrsz-a: 0168

Koordináták,EOV Y = 509 246,51 X = 119 606,45

Toronyalap magassága: Z = 169,65 mBf

Forgatóasztal magassága: 172,75 mBf.

Mélységeltérés: 3,10 m

Tervezett mélység: 2500,0 m

Végleges mélység: 2305,3 m

Műszaki kiképzés: 13 3/4"-os béléscső saru 103,20 m-ben, cementezve felszínig

9 5/8"-os béléscső saru 1.067,84 m-ben, cementezve felszínig

6 5/8"-os béléscső saru 2.123,99 m-ben, cementezve 1.380 m-ig

Összefoglaló rétegsor:

3,1 - 184,0 márga, kékesszürke, meszes, homokos agyag váltakozik sárga, szürke, finomszemű homok rétegekkel és lignitcsíkokkal.

184,0 - 564,0 m szürke, homokos, meszes agyag és szürke, finomszemű homok lignitcsíkokkal.

564,0 - 917,0 m szürke, homokos agyagmárga, világosszürke, homokos, kemény márgarétegek váltakozása

917,0 - 990,0 m szürke, csillámos, kemény homokkő, szürke agyagmárga rétegek kemény mészmárga padokkal és lignitcsíkokkal.

990,0 - 1713,0 m szürke, finomhomokos agyagmárga és világosszürke csillámos kvarchomokkő

1713,0 - 1744,0 m szürke, finomhomokos agyagmárga.

1744,0 - 1759,0 m barnás-szürke, kemény, szilánkos törésű mészmárga.

1759,0 - 1827,0 m szürke, zöldesszürke, durva homokkő tarka agyag rétegekkel, az alsó részen tufacsíkokkal.

1827,0 - 1864,0 m zöldesszürke kvarckonglomerátum.
1864,0 - 2125,0 m zöld, lilás, szennyesfehér, bontott vulkáni tufa.
2125,0 - 2171,0 m világosszürke, dolomitos mészkőbreccsa.
2171,0 - 2220,0 m szürke dolomit és világosszürke dolomitos mészkő.
2220,0 - 2238,0 m szürke, sárgásfehér, repedezett mészkő.
2238,0 - 2305,3 m szürkéssárga, szürke, dolomitos mészkő.
2206,5 m-től folyamatos iszapvesztés lépett fel, majd 2302 – 2305,5 m között az öblítőkör megszűnt.

Földtani korbeosztás: 3,1 – 1195,0 m Negyedidőszak + Felsőpannon

1195,0 – 1759,0 m Alsópannon

1759,0 – 2125,0 m Miocén, bádeni

2125,0 - 2305,3 m Mezozoikum, alsó-középső triász

Rétegvizsgálatok:

1. sz. rétegvizsgálat

Nyitott szakasz: 2124,0 – 2174,0 m között.

Eredménye: 36 – 40 m³/d dugattyúzható sósvízbeáramlás 850 m dinamikus nívóállás mellett.
A statikus nívó 630 m-ben.

2. sz. rétegvizsgálat.

Nyitott szakasz: 2124,0 – 2305,3 m között.

27/8"-os termelőcső beépítve 2080,5 m-ig. Lyukúrtartalom termelőcső saruig 35,4 m³, talpig 38,9 m³. 1,5 m³ kidugattyúzása után a kút felszállva termelni kezdett.

Eredménye: 27/8"-os szelvényen nagymennyiségű, forró, kénhidrogénes felszálló sósvízbeáramlás.

A rétegvizsgálat befejezése után cementdugó elhelyezésére került sor 1732 – 1775 m között.

2. sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1536 - 1546 m között 72 lövéssel.

27/8"-os termelőcső beépítve 1529,5 m-ig. Lyukúrtartalom termelőcső saruig 26 m³,

Eredménye: dugattyúzással kiemelhető sós rétegvíz beáramlás 1200 – 1350 m közötti dinamikus nivå között. 49,5 m³ kidugattyúzása után a nívelő 6 órás lyukfigyelés alatt 1100 m-ből 924 m-re emelkedett. A számított statikus nívelő 850 m körüli. A nivåemelkedésből számított beáramlás 12 m³/d.

A rétegvizsgálat befejezése után cementdugó elhelyezésére került sor 1732 – 1775 m között. A 4. sz. rétegvizsgálat megkezdése előtt utólagos bélésű cementezést végeztek. 1178 és 1179 m között műszaki perforálásra került sor 24 jet lövéssel. Öblítőkör 80-90 att mellett nem volt létesíthető. Nyomásos cementdugó elhelyezése 1178 m-ben 100 att nyomáson. A 95/8"-os bélésű mögé 200 l cementtejet sikerült besajtolni.

Ezután az 1145 m-ig kifűrt cementdugó ellenőrzésére került sor, a cementdugó zárt. A cementdugó zárásvizsgálata után újabb műszaki perforációt létesítettek 1142 és 1143 m között 24 jet lövéssel. Az öblítőkört 25 att mellett sikerült létrehozni. A műszaki perforáción keresztül sor került a 95/8"- 65/8"-os bélésűköz utólagos cementezésére, amelynek során a 47 zsák cementből készült cementtejből 100 att nyomáson 1350 l cementtejet sajtoltak a bélésű közbe és a bélésű mögé.

4.sz. rétegvizsgálat.

Perforált szakasz 1139 – 1143,5 m között 96 lövéssel.

27/8"-os termelőcső beépítve 1137,5 m-ig. Lyukúrtartalom végűig 19,3 m³

Eredménye: 18 m³ kidugattyúzása után a kút felszállva kezdett termelni gyengén sós, meleg vizet CH - nyomok nélkül.

A vízhozam a bélésű nyomás emelkedésével arányosan nőtt, a kezdeti 8-9 m³/órás hozam a rétegvizsgálat befejezésére 10-12 m³/óra nőtt. A bélésű nyomás 39 att-ig emelkedett, míg a termelőcső nyomás 0-1 att között mozgott. A felszálló víz hőfoka 57⁰C volt – 20⁰C-os levegő hőmérséklet mellett.

A rétegvizsgálat befejezése után a kutat elfojtották, a 27/8"-os termelőcsövet kiszórták, és záro cementdugót helyeztek el a lyukszájánál 10 zsák cementből. A rétegvizsgálatok során végzett vízvizsgálatok eredményeit a következő táblázat szemlélteti:

5. táblázat: Vízvizsgálatok eredményei

saját készítés

Kémiai alkotók	1 sz. rv.	2 sz. rv	3 sz. rv.	4 sz. rv.
	2124-2174 m	2124-2305,3 m	1536-1539 m	1139-1143 m
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+ + K+	8012,70	9080,40	8104,05	1994,33
Ca++	215,30	100,70	55,65	15,90
Mg++	32,70	28,50	32,77	7,13
NH4+	20,90	24,12	19,53	12,87
Fe+++	14,10	148,12	7,73	5,79
Cl-	11742,00	13278,65	11239,87	1276,45
HCO3-	1052,30	1220,36	1525,45	1739,01
SO4--	436,80	448,12	392,57	14,40
Br-	0,00	nyom	nyom	nyom
I-	0,00	nyom	nyom	nyom
BO2	267,70	328,84	263,84	13,48
SiO2	35,40	78,40	47,20	44,80
CO3	0,00	0,00	90,00	720,00
Összesen	21795,4	24736,91	21778,66	5844,16

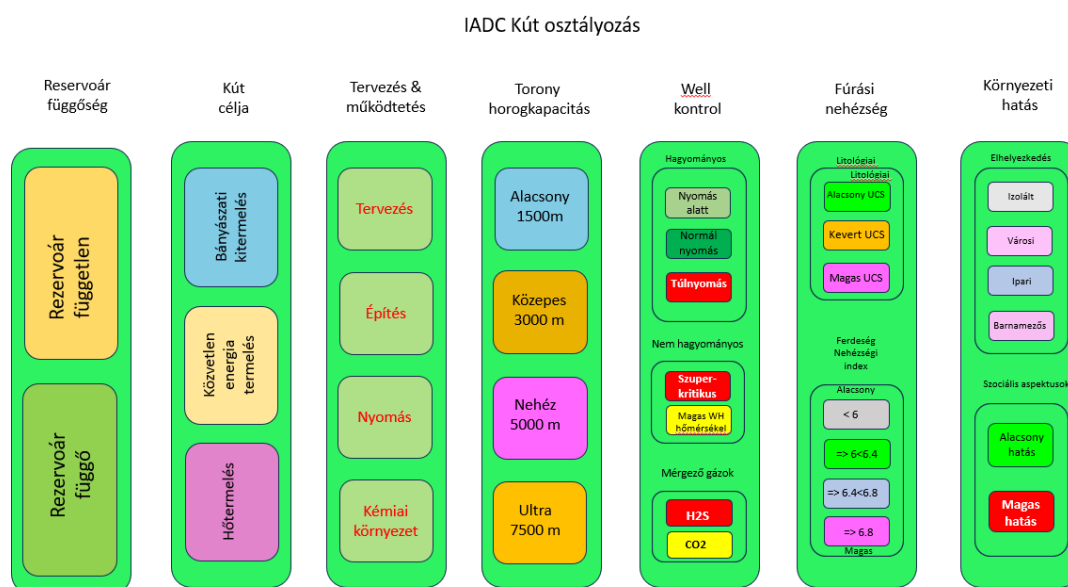
Az értékelések alapján elmondható: A kút felső 300 m-ének homokrétegei hidegvíz-termelésre alkalmasak. Termálvíz-termelésre a mezo-paleozoós dolomit-mészkö kiválóan alkalmas. Ebből a vizsgálatok szerint 480 m³/nap (=333 l/perc) 85⁰C hőmérsékletű vizet tudtak termelni. A felső-pannóniai összlet 785-1182 m közötti szakaszának homokrétegei az 1108-1112 m közötti rétegvizsgálat negatív eredménye alapján csak kismennyiségű – 100-300 l/perc – és 40-60⁰C hőmérsékletű vízáadásra képesek.

8.4. A Geotermikus energiarendszer felhasználhatóságának vizsgálata

Az eredeti CH fúrások geológiai zárójelentése és vizsgálati eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy a PAT 4 jelű, Inke külterület 0168 hrsz-n levő meddő CH mélyfúrás által megismert geológiai környezet és rezervoár alkalmas a projekt alap eszközének számító geotermikus kitermelési rendszer kiszolgálására. A hivatkozott próbafúrás, mint geológiai monitoring adat források használhatók.

8.5. Új geotermikus kutak kialakítása során figyelembe veendő szempontok

A Geotermikus kutak osztályozása az IADC (International Association of Drilling Companies) szerint az alábbi ábra alapján történik:



6. sz ábra: Geotermikus kutak osztályozása,

forrás: saját készítésű ábra az www.iadc.org alapján

Az ábra alapján 7 fontos szempont szerint osztályozzák a geotermális kutakat:

1. A rezervoár függőség szerint:
 - Rezervoár függő
 - Rezervoár független
2. Kút célja szerint

- „Ásványvagyon” kitermelés – jelen esetben termálvíz
 - Közvetlen energia termelés
 - Fűtési felhasználás
3. Tervezés és működés szempontjai
- Tervezés
 - Építés
 - Nyomás
 - Kémiai környezet
4. Torony horogkapacitás szerint
- Könnyű
 - Közepes
 - Nehéz
 - Ultra
5. Well control szerint
- Hagyományos
 - kisnyomású
 - normálnyomású
 - túlnyomásos
 - Nem hagyományos
 - Szuperkritikus
 - Magas kútfej hőmérsékletű
 - Mérgező gázokat tartalmazó
 - H₂S
 - CO₂
6. Fúrési nehézség alapján
- Litológiai nehézség:
 - alacsony UCS
 - kevert UCS
 - Magas UCS
 - Irány nehézségi index alapján:
 - Alacsony - <6 - alacsony
 - =>6<6.4
 - =>6.4<6.8
 - =>6.8 - nagyon magas

- Környezetvédelmi hatás alapján
 - o Elhelyezkedés
 - Izolált
 - Városi
 - Ipari
 - Barnamezős
 - o Szociális szempontok tekintetében:
 - Alacsony környezeti hatás
 - Magas környezeti hatás

8.6. Tervezett kutak

A tervezett kutak paraméterei szerint az elvárt vízhozam:

- napi átlag: 4 320 m³/nap

- évi összes: 1 576 800 m³/év

6. táblázat: A tervezett kutak paraméterei, termelőkútra,

forrás: rendelkezésre álló tanulmányok, saját készítés

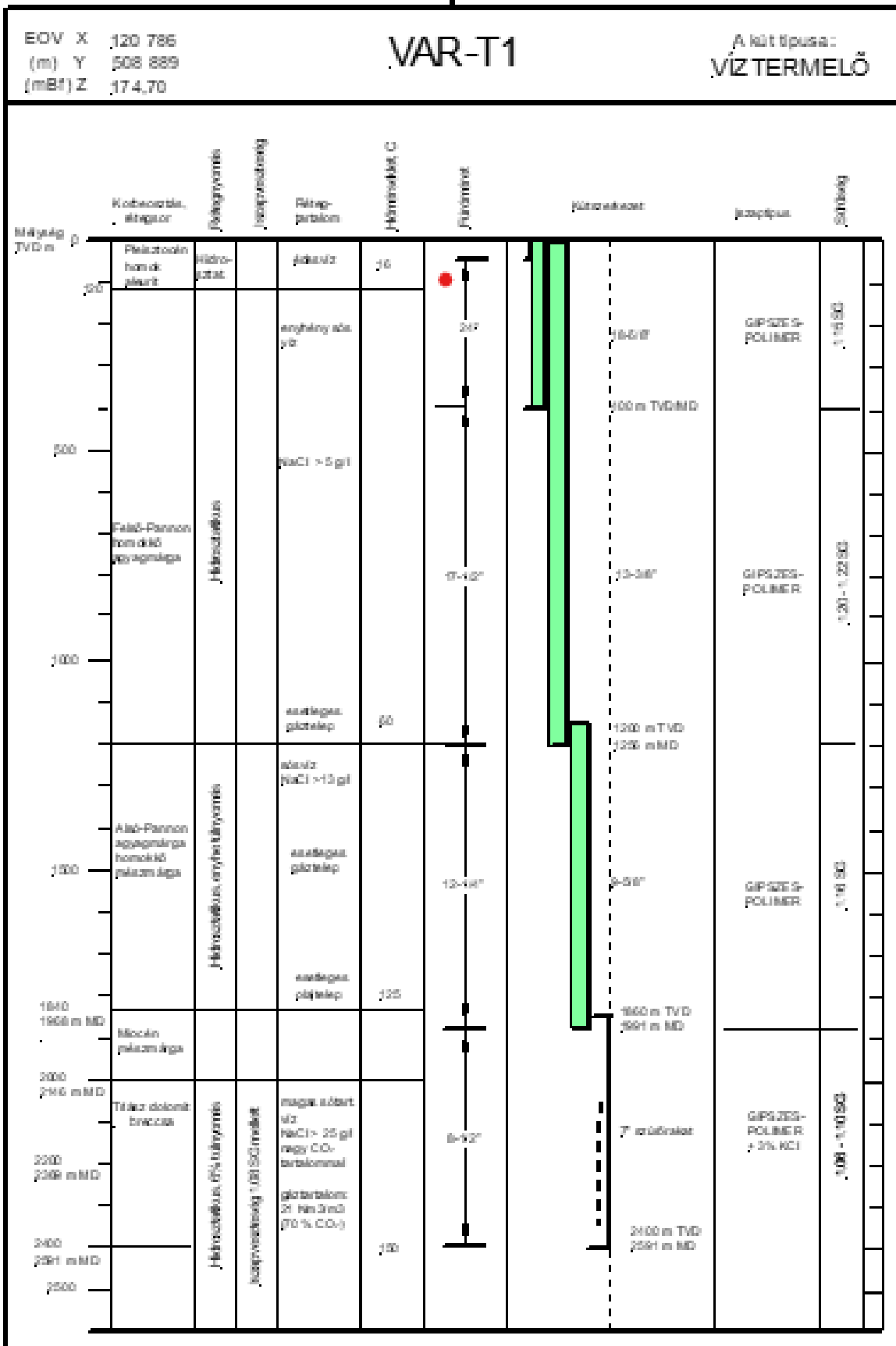
A fúróluk adatai				Béléscső rakatok									Cementpalást magasság	
Talpmélység			Szakasz hossz	Megnevezés	Rakat teteje		Saruállás		Méret	Névl.súly	Anyag minőség	Menet típus		
Fúróméret	MD	TVD	MD		MD	TVD	MD	TVD						
inch	m	m	m			m	m	m	m	inch	lb/ft	API		m
x	30	30	30	Kezdőcső	0	0	30	30	20	X	S37	X	0	0
24	400	400	370	Felszíni béléscső rakat	0	0	400	400	18-5/8	96,5	K55	Big O	0	0
17-1/2	1256	1200	856	Biztonsági cső rakat	0	0	1256	1200	13-3/8	68+61	J55+N80	BTC	0	0
12-1/4	1991	1860	735	Technikai béléscső	1206	1150	1991	1860	9-5/8	47	N80	BTC	1206	1150

7. táblázat: Tervezett kutak paraméterei, visszasajtoló kútra:

forrás: rendelkezésre álló tanulmányok, saját készítés

A fúrólyuk adatai				Béléscső rakatok									Cementpalást magasság	
Talpmélység			Szakasz hossz	Megnevezés	Rakat teteje		Saruállás		Méret	Névl.súly	Anyag minőség	Menet típus		
Fúróméret	MD	TVD			MD	MD	TVD	MD					TVD	inch
inch	m	m	m		m	m	m	m					m	m
x	30	30	30	Kezdőcső	0	0	30	30	20	X	S37	X	0	0
24	400	400	370	Felszíni béléscsőrákat	0	0	400	400	18-5/8	96,5	K55	Big O	0	0
17-1/2	1252	1200	852	Biztonsági csőrákat	0	0	1252	1200	13-3/8	68+61	J55+N80	BTC	0	0
12-1/4	1980	1860	728	Technika béléscsői	1202	1154	1980	1860	9-5/8	47	N80	BTC	1202	1154
8-1/2	2575	2400	595	Szűrőzött rakat	1930	1815	2575	2400	7	(szűrő)	X	BTC	X	X

A kútszerkezet rajzok az alábbi ábrákon láthatók:

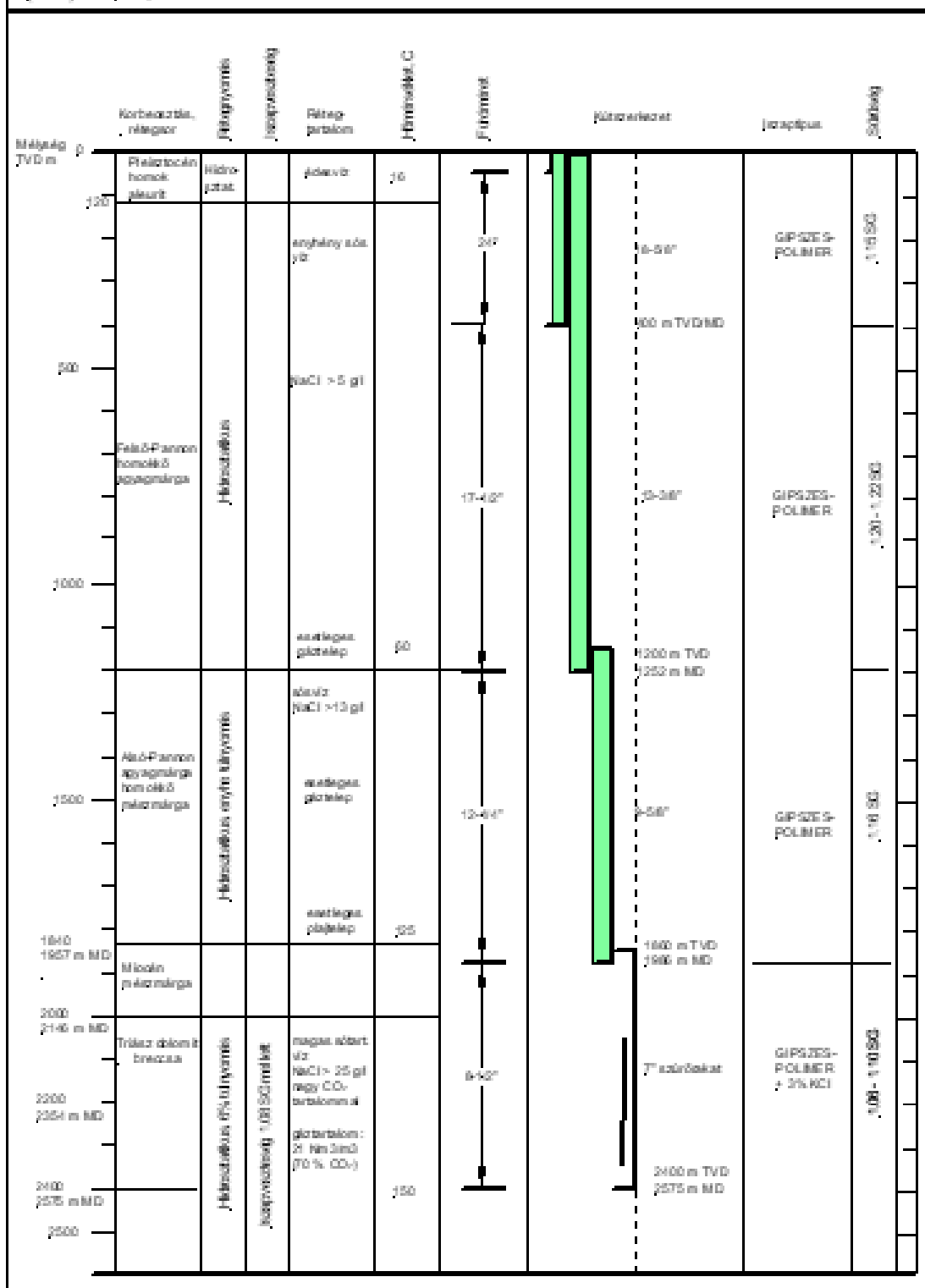


6. ábra: Termelőkút rajza

EOV X :120 821
 (m) Y :508 854
 (mBf)Z :174,70

VAR-V1

A kút típusa:
VÍZVISSZASAJTOLÓ



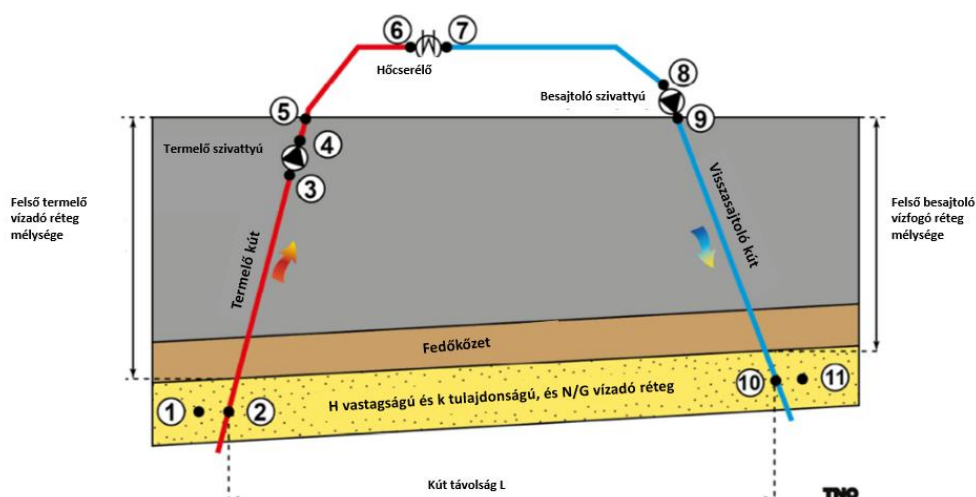
7. ábra: Visszasajtoló kút rajza

8.7. Szimuláció

A tervezett kutak paramétereit a TNO DoubletCalculator v. 1.4.3. (ingyenesen letölthető) szimulációs szoftver segítségével becsültem meg, amely lehetővé teszi egy tervezett geotermikus kútpár indikatív geotermikus teljesítményének kiszámítását a legfontosabb tározóparaméterek, kútszerkezetek és szivattyú részleteinek megadásával.

A program fontos jellemzője, hogy a rezervoárparaméterek megismerhetőségének, bizonytalanságát is figyelembe vehetjük az egy kútpárral kitermelhető geotermikus energia becslésekor. A modell azt feltételezi, hogy a kútszerkezet, a geotermikus gradiens értéke, a kőzet és rétegvíz termikus jellemzői ismertek, azaz a rendszer bizonytalanságai a rezervoár bizonytalanságának a következményei.

A TNO DoubletCalculator sematikus modelljét az alábbi ábra mutatja be.



9. ábra: DoubletCalculator sematikus modellje

Forrás: a program felhasználói tájékoztatója alapján készített ábra

A program számítási modelljéhez a geotechnikai adatok során az alábbi tulajdonságokat kell megadni, minimális, medián és maximális érték formájában:

- a rezervoár bruttó vastagsága;
- a bruttó rétegvastagságon belüli a vízvezető rétegek aránya;
- a vízvezető rétegek vízáteresztő képessége (permeabilitása)
- a rezervoár tetőszintje (felszín alatti mélysége)

A rezervoár tetőszintjéhez csak egy medián értéket kell megadni, a DoubletCalculation automatikusan kiszámítja a minimális és maximális értéket úgy, hogy 10 százalékot hozzáad vagy elvesz, melynek oka az, hogy a mélységi bizonytalanságot figyelembe veszi, hogy a geotermikus gradiens esetében nem megengedett a bizonytalanság. A fentiekben említett paraméterek egymástól független kell hogy legyenek. A kitermelt geotermikus energia eloszlása, sztochasztikus szimulációval történik (Monte-Carlo-módszerrel.)

A tervezett kutak esetében az alábbi paramétereket adtam meg:

8.táblázat A termálvíz számításhoz felhasznált valószínűségi változók

forrás: program alapján saját készítés

Valószínűségi változók			
Tulajdonság	min.	közép	max.
Vízáteresztő képesség (mD)	200	300	500
Porozitás	0,18	0,20	0,23
Vízadó rétegek aránya	40%	45%	50%
Rétegvastagság (m)	200	350	500
Rezervoár tetőszintje (m.f.a.)	1800	2000	2200

Determinisztikus változók	
Tulajdonság	Érték
Geotermikus gradiens (°C/m)	53
Kőzet fajlagos hőkapacitása 20 °C-on (J/kg/K)	855
Kőzetmátrix sűrűsége (kg/m ³)	2720
Kőzetmátrix hővezető képessége (W/m/K)	2,02
Kilépő hőmérséklet a hőcserélőnél (°C)	35
Kutak távolsága a rezervoár mélységben (m)	1120
Búvárszivattyú hatásfoka (-)	0,6
Búvárszivattyú beépítési mélysége (m)	1000
Éves üzemóra	6000

A bemenő paraméterek alapján 1000 szimulációt végeztem a képzeletbeli kútpár geotermikus teljesítményének becsléséhez. A szimulációban kapott eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

9. táblázat: Számítási eredmények a program szerint

forrás: DoubletCalculation program, saját készítésű táblázat

	P90	P50	P10
Tömegáram (kg/s)	25,243	29,129	32,256
Geotermikus teljesítmény (MW)	18,78	21,57	24,23
COP (kW/kW)	51,0	53,6	56,2
Felszíni vízhőmérséklet (°C)	124,2	128,9	133,82
Rétegnyomás (bar)	234,3	244,22	255,19

Magyarázat:

P10: a változatok 10%-a meghaladja ezt az értéket

P50: a változatok 50%-a meghaladja ezt az értéket

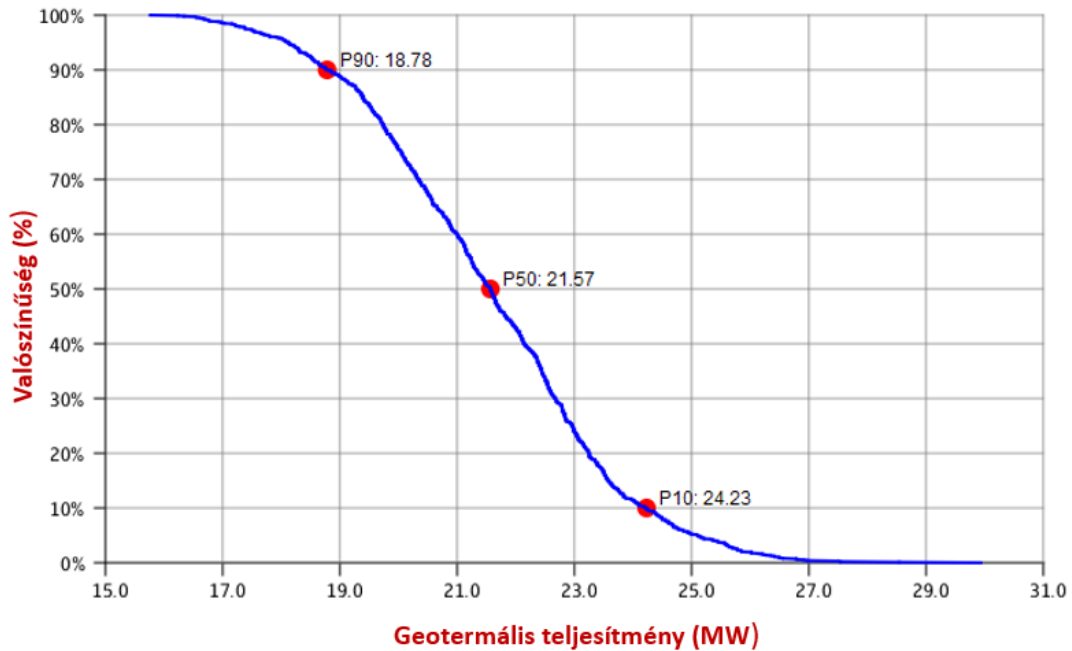
P90: a változatok 90%-a meghaladja ezt az értéket

A tömegáram a termelőkútból a felszínen egységnyi idő alatt kifolyó víztömeg kg/s mértékegységben. A geotermikus energiát a hőteljesítménnyel (MW) adtam meg. A COP (Coefficient Of Performance) a rendszer hatásfokát jellemzi. A kútpár várható élettartamát a viszonylag egyszerű Lauwerier-féle modellel számolja a szoftver, ami nagyságrendi becslést ad.

A porózus közeg hőmérsékleti tranzienseinek átfogó modellezése legjobban a numerikus modellekkel valósítható meg. A numerikus modellek megvalósítása során azonban néhány szempontot meg kell érteni, és számos kritikus kérdést meg kell oldani a gyakorló mérnök számára. Mindenekelőtt a szállítást befolyásoló fizikai folyamatok jó áttekintése és azok numerikus modellben való pontos számbavétele létfontosságú. Az analitikai modellek nagyon hasznosak ahhoz, hogy alapvető betekintést nyújtsanak a

porózus közegekben történő hőszállítás mechanizmusába. Ezért számos analitikus modellt mutattak be a lineáris (Lauwerier, 1955) és a radiális (Malofeev, 1963) rezervoárok tisztán konvektív áramlása és a végtelen hosszúságú, át nem eresztő rétegek hővesztései miatti hőmérséklet-eloszlásokról.

Az egyes valószínűségi változókhoz tartozó geotermikus értékeket a 9. ábra szemlélteti.



10. ábra: Geotermális teljesítmény egyes valószínűségek függvényében

forrás: Doublet Calculator szoftver, eredmény tábla

A szimuláció eredményeként 22,04 MW geotermikus teljesítményt kaptam és 130°C kifolyó hőmérsékletű vizet.

8.8. Manuális számítás

Mivel a megelőző geológiai és hidrogeológiai tanulmányok 180 m³/h mennyiségű, 135°C kifolyó hőmérsékletű geotermikus fluidum meglétét igazolta, a fenti szimulációs eredményből is látható ez a hőfok eredmény, illetve a geotermikus energia megléte.

Ez nagy entalpiájú forrásnak minősül, energia potenciálja a 135-30°C tartományban az alábbiak szerint alakul:

Termálkút vízhozama 180,0 m³/óra

Termálvíz hőmérséklete kútfejnél 135,0°C

Termikus teljesítmény alsó hőmérsékleti határa 30,0°C

Hatásfok termikus résznél 90,0%

Hatásfok geotermikus villamos résznél 13,0%

A geotermikus energia célrezervoárból történő kinyerhetőségére és várható mennyiségére vonatkozó becslések, számítások az MBFSZ ajánlása szerint (forrás: MBFSZ GEOTERMIA-2021/1) magas valószínűségi becslés alapján az alábbi képlettel határozható meg:

$$P_0 = Q_0 \times (T_p - T_r) \times 1,166,$$

ahol,

P₀: elvárt geotermikus teljesítmény (kW)

Q₀: elvárt hozam (m³/h)

T_p, termelő kút kifolyó hőmérséklet (°C)

T_r, visszasajtolási hőmérséklet (°C)

(1,166= c víz fajhője 4200 [kJ/m³ K] / 3600 sec

Hőenergia:

Geotermikus hőenergia (135/80°C) 11.54 MW = 41,54 GJ/h hő; 13% hatásfokú erőműben 1,5 MW éves termelt áram mennyiség 13 140 MW/év.

Geotermikus hőenergia (80/30°C) 10.5 MW = 37,8 GJ/h hő 331 128 GJ/év fűtési hőmennyiség.

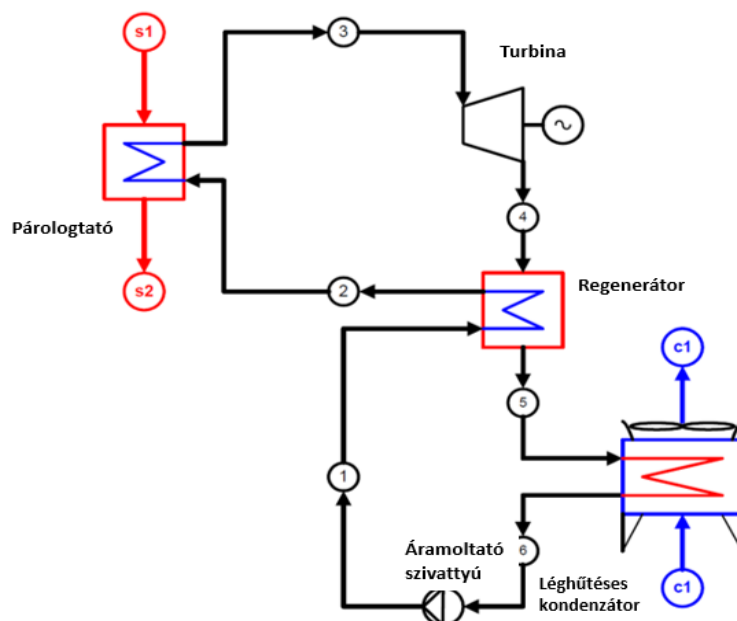
A teljes rendelkezésre álló hőenergia: 22,04 MW=79,344 GJ/h – 695 053 GJ/év zöld energia

8.9. AZ ORC erőmű felépítése

Egy bináris ORC erőmű hatékony szerepet tud ellátni a folyamat hőlépcsőjében, a magas beruházási költségét ellensúlyozza a hatékonysága, így rövid idő alatt megtérül. Az ORC erőmű (Organic Ranking Cycle) a 85°C feletti hőmérsékletű hőmennyiséget használja, mint fűtőanyagot, és éves szinten mintegy 13 140 MW/év villamos energiát termel.

Működési elve: A geotermikus fluidum egy hőcserélőn keresztül átadja hőjét egy másodlagos folyadéknak, mely általában egy alacsony forráspontú szerves vegyület. A másodlagos folyadék gőz halmazállapotában hajtja a turbinát.

Alkalmazási területe: alacsony és közepes hőmérsékletű geotermikus forrásokhoz, ahol a flash módszerek nem hatékonyak. Zárt rendszerű, és környezet szempontjából a legkörülményesebb. Az ORC rendszereknek a hatásfoka a geotermikus forrás és a hűtővíz hőmérsékletétől függ. A működő egységek hatásfoka 8–20% között van. A több fokozat révén a kapcsolt energiatermelés is megvalósul, hiszen villamos energiát és hőenergiát is nyerünk. A fennmaradó kondenzált vizet pedig hőcserélőkben alacsony hőmérsékletre hűtjük. A létesítmény megtérülésével szembeni követelmény, a hulladék hő további hasznosítása, mivel a beruházási költségei igen magasak.



11. ábra: ORC erőmű elvi vázlatja [25] alapján saját szerkesztés

9. Számítási példa megvalósuló létesítményre

A fennmaradó hőlépcső hasznosítására a számítások alapján a fennmaradó 10.5 MW fűtési energia használható további célokra. Ha a fennmaradó energiát megfelezzük a 2 létesítményre vonatkoztatva, akkor az üvegházi növénytermesztésre 5,25 MW hőenergia marad – 18,9 GJ, 165 564 GJ/ év

Az üvegházi növénytermesztés napjainkban reneszánszát éli. A korszerű nagy légterű házak a legfejlettebb építési technológiák és a legkifinomultabb műszaki megoldások segítségével nagyléptékű fejlődést valószínűsít az ágazatban. A gyakorlatban december-január és május közé eső hónapok a téli fűtési idény nagy részét lefedik, ezért a téli termesztés nem képzelhető el a növényházak fűtése nélkül.

Munkámban az üvegház fűtés tekintetében számszerűsítem a hőigény és megvalósítás kapcsolatát.

Az üvegház hőigényének meghatározása a gyakorlatban általánosan használt összefüggés alapján

$$Q = K' (t_b - t_k) F_{\bar{u}}$$

ahol:

Q = az óránként szükséges hőmennyiség (kJ/h)

K' = hőátbocsátási tényező (kJ/m² h °C)

t_b – t_k = Δ t = a külső és a belső hőmérséklet különbsége (°C)

F _{\bar{u}} = a növényház határoló felületének nagysága (m²)

Az éves energia igény a számításaim szerint **162 222 GJ**

Tételezzük fel hogy, ez a létesítmény 5 Ha (50.000 m²), belmagassága 5 méter. Az építmény és a kapcsolt létesítmények igényeit a táblázatban foglaltam össze.

10. táblázat: Hőigény, elektromos energia, öntöző víz, CO₂ igény saját szerkesztésű excel

	Hőigény	Villamos energia igény	Víz igény	CO ₂ igény
Hónap	GJ	MW	m ³	t
január	18890	2000	6000	268
február	17758	2000	10000	268
március	16127	1400	12000	268
április	13440	166	16000	268
május	9683	166	18000	268
június	5213	166	20000	268
július	5213	105	1660	0
augusztus	9683	105	3320	223
szeptember	13440	166	18000	268
október	16127	1400	12000	268
november	17758	1400	10000	268
december	18890	2000	8000	268
Összesen	162222	11074	134980	2903

Összefoglaló táblázatba helyezve az adatokat az alábbi tényeket láthatjuk, amely alapján megfogalmazható, hogy az energiaellátás saját forrásból is megvalósítható.

	Termelt mennyiség	Igényelt mennyiség	Egyenleg évente
Hő energia üvegház fűtésre	165564 GJ/év	162222 GJ/év	10683
Villamos energia	13140 MW	11074 MW	1523
CO ₂	0	2903 t	-2903
Öntöző víz	0	134980 m ³	-134980

A fenti számítási eredményekre támaszkodva összegzésképpen kijelenthető, hogy az 5 Ha, 5 m magasságú tervezett hidropóniás, asszimilációs világítással támogatott étkezési paradicsom termesztéséhez szükséges hő és villamos energia saját forrásból rendelkezésre áll és ezen szükségletek vásárlás nélkül a kút kitermeléséből biztosíthatók.

A geotermikus energia előnye a többi megújuló energiával (szél, nap) szemben az, hogy az időjárási körülmények (úgy mint napszak, időjárás, külső hőmérséklet, szél erő) hatásának figyelembe vétele nélkül, folyamatosan kitermelhető. A kút változatlan kapacitása a gyakorlati példák alapján 50 évig várhatóan fennáll, tehát olcsó, folyamatosan kitermelhető, folyamatosan rendelkezésre álló megújuló energiaforrással rendelkezünk. A rendszerbe tervezhető továbbá egy tartalék tartályos gáz, melynek szerepe lehet a hőellátásban, a téli csúcspozitív biztosítása, esetleg tartalék (back up) fűtési kapacitás havária esetére. A technológia használata azonban korlátokba ütközhet: a forrásoldalról, hogy a PB termelés jövője kétséges lehet, szállítási, logisztikai költségek merülnek fel. Továbbá nem saját forrás, így mindig kitettséget okoz.

Számítási input adatok:

- fűtőérték propán-butánra: 46 MJ/kg, azaz négy 10 m³-es vagy egy 40 m³-es tartály egy heti gázt biztosít havária esetére.
- egy ilyen kiépítése (tartálykapacitás, vezetékek, biztonsági szerelvények, kazán, vagy Westhouse égők átszerelése) hozzávetőleg 40 M Ft.

A metán jelenléte a termelvényekben

Tekintettel arra, hogy a tervezett mélységben a területen szénhidrogén előfordulások vannak, a termelő kút tesztelése után a kútvizsgálati jelentésből és a szeparált gáz-víz vizsgálati jelentésből megállapítható a termelvény éghető metántartalma. Amennyiben ennek aránya magas, gazdaságos és célszerű lehet egy 250-500 kW teljesítményű gázkazán vagy 150 kW-os mikro CHP áramtermelő egység kiépítése is. Ezeknek a költsége jelenlegi áron kb. 90-110 millió Ft. Ez a plusz költség viszont a hőtermelés, vagy áramtermelés miatt néhány éven belül megtérülő lehet.

Üzemeltetés

A mélygeotermikus technológia üzemeltetési költsége alacsony. A hévizes rendszer üzemeltetése határozottan olcsóbb, mint az ugyanolyan kapacitású gázos rendszereké. A mélygeotermikus rendszer üzemfenntartási költsége jellemzően a beruházási költség 2%-a.

Tekintettel arra, hogy a technológia minden eleme automatizált, az üzemeltetéshez minimális személyi erőforrás szükséges.

Környezetvédelmi hatások értékelése

Ezeknél a beruházásoknál a kitermelt hévíz zárt rendszerben 100% mennyiségben visszasajtolásra kerül a saját vízbázisába. A hévíz nem kerül ki a szabadba, nem szennyezi a felszíni vizeket.

A visszasajtoló kutak talpán az anyag betáplálás miatt többlet nyomás alakul ki. A termelő kút talpán nyomáscsökkenés. Ezért a visszasajtoló kút talpának irányából a termelőkutak talpának irányába vízmozgás alakul ki. Amíg a hévíz a visszasajtoló kúttól elér a termelőkútig, a kőzetkörnyezet hatására újra felmelegszik. A hőtermelés a hévízzel, mint hőátadó közeggel így hosszútávon fenntartható.

Szén-dioxid kibocsátás csökkenés számítása

A szakirodalomban számos szén-dioxid kibocsátás számítás megtalálható. Ezek mind tudományos számításokon alapulnak, de az angolszász mértékegységeken való számolás esetlegesen bonyodalmakat okozhat. A hazai szabályozás szerint, a hazai támogatási rendszerekben való számítás szerint az alábbi táblázatban foglaltak alapján határoztam meg ezt az adatot:

12. táblázat CO₂ kibocsátás számítási módszer,

forrás: hazai geotermikus pályázatok, mbfsz.gov.hu/geotermiapalyazat

1 MWh mélygeotermikus alapú hőtermelés	15,833 kg CO ₂ kibocsátás megtakarítást eredményez	A földgáz alapú hőtermeléshez képest
Ennek megfelelően 1 GJ geotermikus alapú hőtermelés	56,1 kg CO ₂ kibocsátás megtakarítást eredményez	A földgáz alapú hőtermeléshez képest
A mélygeotermikus technológia évi 79,344 GJ hőenergiát termel	4 451 198,4 kg CO ₂ kibocsátás megtakarítást eredményez	A földgáz alapú hőtermeléshez képest

A mélygeotermikus technológia évi 4450 tonna szén-dioxid kibocsátás csökkenést eredményez.

Egy komplex geotermikus energia kihasználási koncepció, egy komplex rendszer kiépítése hozzásegíti a projektet, hogy egy megfűt termálkútból annyi energiát nyerjen, hogy az áram termelés, a növényházi termelés és a gyógy-turisztikai szolgáltatások 80%-át megújuló forrásból fedezze és a tevékenységével mintegy 4.500 tonna CO₂ mennyiség kibocsátását kiváltása. Ezen túlmenően a komplex gondolkodás ahhoz is hozzájárul, hogy a Magyarországon szokásos 15-30% geotermikus energiaforrás kihasználtságot 75-85%-ra emelje.

10. Összegzés

Magyarország geotermikus energia vonatkozásában a Kárpát medence térségében átlagon felülinek tekintendő, a geotermikus gradiens jelentősen meghaladja a világtálat, így országunk egyik természeti kincse. A fenntartható erőforrás gazdálkodás érdekében, különös figyelmet kell fordítani természeti adottságunk megőrzésére, mivel ezen kapacitás kihasználásunkban jelentős potenciál rejtőzik.

A geotermikus energia vizsgálata esetében a szénhidrogénkutak felhasználása, a kútlétesítés és visszasajtolás, a hő elosztási rendszer kiépítésének ráfordításai miatt a korlátozó tényező az esetleges projektek finanszírozása, így egy beruházás önerőből történő megvalósítása igen nehézkes lehet.

Mivel az Európai Unió, és Magyarország is stratégiai célkitűzésként különös figyelmet fordít a megújuló energiaforrások részarányára, az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklésére, továbbá számos más globális tényezőt figyelembe véve szükség van ezekre a hosszú távú befektetésekre, és létjogosultságuk is indokolt.

A hazai geotermikus energiafelhasználás több évtizedes múltra tekint vissza, a közvetlen hasznosítás területén. Mintegy 18 éves szakmai tapasztalatom során, az elmúlt 10 évben betekintést nyertem mind az energia kinyerése és hasznosítása tématerületeibe, mind a különböző technológiák és víz elhelyezés vonatkozásaiba is. Napjainkban egy ilyen komplex projekt sikere sok szakterület és tudomány interdiszciplináris kapcsolatán alapul.

Geológusok, geofizikusok, fűrómérnökök, speciális szakmérnökök összehangolt munkájával lehet létrehozni egy hatékony, eredményes komplex rendszert.

Dolgozatomban, a geológiai viszonyok feltérképezése mellett, Magyarország energiastratégiájával megfelelésben egy komplex rendszer bemutatására törekedtem, a már meglévő szénhidrogénkutak felhasználhatóságának számbavételével és új kutak létesítésének kérdése mellett egy komplex rendszer részegysége példáján mutattam be mit jelent ez környezeti és gazdasági haszon tekintetében, rávilágítva a környezetrombolás elmaradásából származó számszerűsített előnyökre. A kapott eredmények megerősítették, hogy ezek a rendszerek gazdaságos, megtérülő beruházások, továbbá megfelelő támpillérei lehetnek egy energiafüggetlen pozíció hosszú távú fenntartásának.

11. Summary

Regarding Hungary's geothermal energy, the geothermal gradient in the Carpathian basin region is considered above average, significantly exceeding the world average, making it one of our country's natural treasures. For the sake of sustainable resource management, special attention must be paid to the preservation of our natural endowment, as there is considerable potential hidden in our utilization of this capacity.

In the case of the investigation of geothermal energy, due to the use of hydrocarbon wells, the construction and injection of wells, and the construction of the heat distribution system, the limiting factor is the financing of any projects, so implementing an investment on your own can be very difficult. Since both the European Union and Hungary pay particular attention to the share of renewable energy sources as a strategic objective, the emission and mitigation of greenhouse gases, and taking into account many other global factors, these long-term investments are necessary and their *raison d'être* is justified.

The use of geothermal energy in Hungary goes back several decades, in the field of direct utilization. In my professional experience of about 18 years, about the last 10 years, I have seen insights in energy extraction and utilization, different technologies, and water disposal. Nowadays, the success of such a complex project is based on the interdisciplinary relationship of many fields and sciences. With the coordinated work of geology professors, geologists, geophysicists, drilling engineers, and specialized engineers, an efficient and effective complex system can be created.

In my thesis, in addition to mapping the geological conditions, I tried to present a complex system in accordance with Hungary's energy strategy, by taking into account the factors of the use of existing hydrocarbon wells, in addition to the question of the development of new wells, I presented the example of a component of a complex system, what this means in terms of environmental and economic benefits, highlighting the benefits resulting from the absence of environmental destruction to quantified benefits. The results obtained confirmed that these systems are economical, profitable investments and can be suitable pillars for maintaining an energy-independent position in the long term.

12. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Vadászi Marianna tanszékvezető egyetemi docens tanárnőnek, a munkám végzéséhez szükséges feltételek biztosítását, biztatását és a sok szakmai segítséget, hasznos tanácsokat, iránymutatásokat, és azt a rengeteg irodalmi háttérrel amit a rendelkezésemre bocsátott, amivel tájékozottságomat a témában megalapozta, elősegítette.

Köszönöm Magyar Gábornak a szakma kiemelkedő képviselőjének, a Rotaqua Geológiai-, Bányászati-, Kutató-, Mélyfúró Kft, műszaki stratégiai igazgatójának, hogy tudását, tapasztalatait átadta, adatokat, erőforrásokat számomra biztosította, formálta a szemléletemet, és gyakorlati tanácsait, és hogy munkám mellett foglalkozhassak a feladat alapos kidolgozásával.

Továbbá köszönöm a családom, barátaim és munkatársaim támogatását, mindenkorai segítségét, hogy türelmükkel hozzájárultak a diplomamunka létrejöttéhez.

Irodalomjegyzék:

- [1] 1993. évi XLVIII. tv.49. § (11) Bányatörvény
- [2] 1993. évi XLVIII. tv. 49. § (12) Bányatörvény
- [3] 2009/28/EK, 2. cikk (c)
- [4] Magyarország Geotermikus Felmérése, 2016 MEKH szerző: Dr. Tóth Anikó Nóra
- [5] Magyarország Geotermikus Felmérése, 2016 MEKH szerző: Dr. Tóth Anikó Nóra
- [6] Jakucs László (1993): Természetföldrajz I. – A Föld belső erői. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged
- [7] Geotermikus villamos-energia-termelés, 2009. REKK tanulmány
- [8] Nemzeti Földhő Stratégia 2024
- [9],[10],[11] Nemzeti Energiastratégia 2030 kitekintéssel 2040-ig, ITM, 2020 január
- [12] Liebe P.: Magyarország Termásvíz-készletei, Római Könyvkiadó, Budapest
- [13] Fisher et al. 2009: Defining and classifying ecosystem services for decision making, www.sciencedirect.com

- [14] Magyarország Geotermikus Felmérése, 2016 MEKH szerző: Dr. Tóth Anikó Nóra
- [15] Geodinamika a Kárpát- Pannon Régióban, Horváth (2007) tézisfüzetek
- [16] FEJLŐDÉSI LEHETŐSÉGEK A GEOTERMİKUS ENERGIA HASZNOSÍTÁSÁBAN, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A HAZAI ADOTTSÁGOKRA, Magyar Tudomány (2009); Mádlné Dr. Szőnyi Judit
- [17] FEJLŐDÉSI LEHETŐSÉGEK A GEOTERMİKUS ENERGIA HASZNOSÍTÁSÁBAN, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A HAZAI ADOTTSÁGOKRA, Magyar Tudomány (2009); Mádlné Dr. Szőnyi Judit
- [18] EGS, AGS, and Supercritical Geothermal Systems: What’s the Difference? Sonal Patel 2023; www.powermag.com
- [19] A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon; Megbízó: Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Titkárság MTA Mádlné Dr. Szőnyi Judit, Budapest 2008

- [20] A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon; Megbízó: Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Titkárság MTA, Mádlné Dr. Szőnyi Judit Budapest, 2008
- [21] A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon; Megbízó: Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Titkárság MTA, Mádlné Dr. Szőnyi Judit Budapest, 2008
- [22] Környezet és Energia Operatív Program, NFM, 2010
- [23] Kontra J.(2010), A geotermális energia hő- és hévíz felhasználásának jövője ENEO konferencia, Budapest
<https://dokumen.tips/documents/a-geotermalis-energia-ho-es-heviz-felhasznalasanak-joevoje.html>
- [24] Utilization of existing hydrocarbon wells for geothermal system development: A review, Applied energy, www.sciencedirect.com
- [25] Performance of geothermal power plants (single, dual, and binary) to compensate for LHC-CERN power consumption: comparative study www.sciencedirect.com