

SZAKDOLGOZAT

Varga-Tóth Fruzsina

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Energiagazdálkodási szakmérnök szakirányú

továbbképzés

Lakóház csoport hőenergia ellátása geotermikus rendszerből

Belső konzulens: Dr. Schrempf Norbert Attila
Tanszékvezető, egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Műszaki Intézet
Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: Prof. Dr. Tóth László
Egyetemi tanár, professzor emeritus

Készítette: **Varga-Tóth Fruzsina**

**Gödöllő
2024**

**MŰSZAKI INTÉZET ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS ENERGETIKAI TANSZÉK
ENERGIAGAZDÁLKODÁSI SZAKMÉRNÖK**

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Varga-Tóth Fruzsina (UINGVP)

részére

A szakdolgozat címe:

Lakóház csoport hőenergia ellátása geotermikus rendszerből

Feladatkiírás:

Egy termálvíz termelő- és két visszasajtoló kút leemélyítése geotermikus energia kinyerése, illetve a lefűtött termálvíz rétegbe történő visszasajtolása céljából.

A kitermelt hőenergia egy lakópark fűtését, valamint további, a rendszerre kapcsolt hőfogyasztók hőenergiával történő ellátását látja el. A termálkút fűrése, majd kiképzése során nyert információk felhasználásával a lakópark hőellátó rendszer főbb egységeinek megtervezése, méretezése, különös tekintettel a csőbúvárszivattyúra és a hőcserélőkre, kapcsolási rajz felrajzolásával, végül a beruházás gazdaságosságának megvizsgálásával.

Közreműködő tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: Prof. Dr. Tóth László, MATE, Műszaki Intézet

Belső konzulens: Dr. Schrempf Norbert Attila, MATE, Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2024.04.22.

Gödöllő, 2024.03.08

Jóváhagyom

(tanszékvezető)

(szakfelelős)

Átvettem

(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024. hó nap

(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	3
2. Szakirodalmi áttekintés	7
2.1. Célkitűzések az Európai Unióban és Magyarországon	7
2.2. A geotermikus energia alapfogalmai	9
2.3. A geotermikus energia előnyei és hátrányai	10
2.4. Geotermikus energia felhasználásának lehetőségei	12
2.5. Geotermikus energia helyzete Magyarországon	14
2.6. Szeged hidrogeológiai viszonyai	15
2.7. Termálvíz felszínre hozatala	17
2.7.1. Réteg nyomása által történő felszínre hozatal	17
2.7.2. Kompresszoros hévízkitermelés	17
2.7.3. Szivattyús hévízkitermelés	17
2.8. A bűvárszivattyú méretezésének megfontolásai	20
2.9. Hőcserélők	22
2.10. A hőtermelő rendszer általános felépítése	24
2.11. Gáztalanítás kérdése	25
2.12. Lefűtött víz visszasajtolása	26
3. Alkalmazott módszerek	29
4. Eredmények és értékelésük	33
4.1. Felszín alatti rendszer jellemzése	33
4.1.1. Termelő és visszasajtoló kutak fúrása	33
4.1.2. Adatok kigyűjtése, értékelése	34

4.2. A hőellátó rendszer főbb műszaki egységei	37
4.2.1. Hőcserélők méretezése.....	37
4.2.2. Gáztalanítás, metán elégetése	40
4.2.3. A búvárszivattyú méretezése	42
4.2.4. Visszasajtolás	51
4.3. Gazdaságossági számítások.....	54
4.3.1. Alapadatok	54
4.3.2. Bekerülési költségek, üzemeltetési költségek.....	56
4.3.3. Megtérülési idő	57
5. Következtetések és javaslatok.....	58
6. Összefoglalás	60
7. Irodalomjegyzék, egyéb források.....	63
8. Ábrák és táblázatok jegyzéke.....	68
9. Melléklet	72
10. Köszönetnyilvánítás.....	78
11. Függelék.....	79

1. Bevezetés és célkitűzések

Európát 2021 óta egyre inkább növekvő energiakrízis sújtja, ami mind a lakosság, mind a különböző iparágak szintjén jelentkezik, melynek hatására a gáz világpiaci ára erősen ingadozóvá vált, ezzel bizonytalanságot teremtve a nemzetközi energiapiacra. Tovább fokozta a problémát az Ukrajnában fennálló háborús helyzet miatt kialakult energiaválság, melynek hatására a hazai energiaforrások jelentősége felértékelődött. A földhő energetikai célú hasznosításával kiemelten érdemes foglalkozni Magyarországon, ugyanis a geotermikus energia hasznosításában hazánk az első 5 ország között szerepel Európában (Hollandia, Németország, Franciaország és Izland után). Hazánkban 2010 és 2022 között közel négy és félszeresére nőtt a geotermikus hőenergia kitermelése. A geotermikus energia egyre szélesebb körű alkalmazásával a földgáz felhasználása 2030-ra jelentősen lecsökkenthető, melynek hatására az ország energiaimportból fakadó kitettsége is csökken.

Ezen túlmenően, a geotermikus energia környezetbarátabb alternatívát kínál a hagyományos tüzelőanyagok elégetése helyett, és egész évben, éjjel-nappal folyamatosan hasznosítható, ellentétben a nap- és szélenergiával, melyek időjárási viszonyokhoz kötött megújuló energiaforrások (Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Geotermia).

Szeged kivételes geotermikus potenciállal rendelkezik, amelyet részben a terület geotermikus adottságainak, részben pedig a megyeszékhely koncentrált hőpiacának köszönhet. A város és környéke kiváló hagyományokkal rendelkezik a Felső-pannon termálvízkészlet balneológiai és kertészeti célú hasznosításában, a távfűtésben való energetikai felhasználás azonban csak néhány évvel ezelőtt került a figyelem középpontjába. 2011-ben Szeged városában két geotermikus kaszkádszisztéma létesült, melyek főként az egyetemi, valamint részben az önkormányzati és állami épületek hőellátását szolgálják a belvárosban és Újszegeden. A két, modern technológiával megvalósított fűtési rendszer kedvező tapasztalatai nyomán Szegeden és környékén lendületet vett a termálenergia hasznosítása. Ennek eredményeként a 2017-től 2023-ig a városban épülő Cédrusliget lakópark hőszolgáltatását is geotermikus energia felhasználásával tervezték. Az épületegyüttes 3-6 emeletes épületrészekből áll, és közel 600 lakást, irodákat, valamint mélygarázsokat tartalmaz. A lakópark látványtervét az 1. ábra mutatja be.

1. ábra: Cédrusliget lakópark látványterv

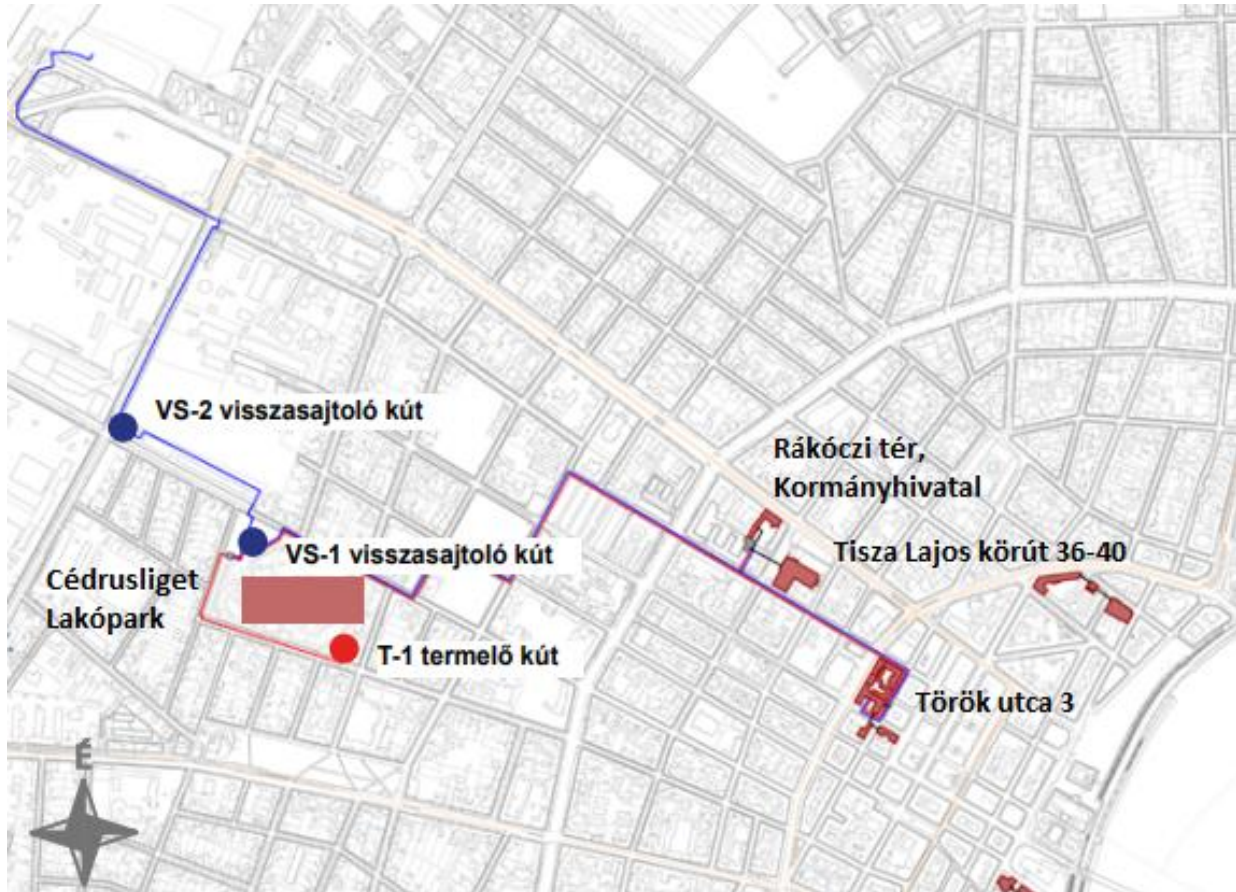
(Forrás: Cédrusliget hivatalos honlapja)



A lakópark geotermikus hőellátásának kivitelezése 2021. júliusától 2022. szeptember végéig zajlott. Ennek során két, korábban kísérleti kútparként működő termálvíz termelő, illetve visszasajtoló kút átképzése történt meg, illetve egy új visszasajtoló termálkút készült el. A kettő darab visszasajtoló kúton keresztül a kitermelt termálvíz ugyanazon földtani közegbe sajtolható vissza, ahonnan kitermelésre került. A három kút Szeged belvárosának közelében került kialakításra, melyek pozíciója, valamint a Cédrusliget lakópark, és a többi, a rendszerre rácsatlakoztatott hőfogyasztó (Rákóczi tér, Kormányhivatal, Tisza Lajos körút 36-40, Török utca 3) elhelyezkedése a 2. ábrán látható.

2. ábra: Termelő és visszasajtoló kutak, a termálrendszerre rácsatlakoztatott fogyasztók hőközpontjai

(Forrás: Saját szerkesztés a Szeged, belvárosi hőkörzet geotermikus hőellátása, Eredménykimutatás című dokumentum alapján)



A tervezett fogyasztói kör fűtési hőmennyiség szükséglete összesen 8,0 MW. Ezen belül a Cédrusliget lakópark 6 MW hőigényű, a másik három, a rendszerre rácsatlakoztatott hőfogyasztó pedig összesen 2,0 MW hőteljesítmény igényű (Kiviteli Tervdokumentáció, 2020).

A kísérleti jelleggel lemélyítésre kerülő visszasajtoló kút fúrása során lehetőségem nyílt egy kiferdítő cementdugó cementezési tervének elkészítésére és kivitelezésében való részvételére. Ekkor ez a projekt volt az egyik legjelentősebb mélyfúrési geotermikus beruházás a térségben. Ennek hatására döntöttem úgy, hogy valamilyen módon részese szeretnék lenni eme projektnek, így most, hogy szakdolgozat téma választásra került a sor, egyértelműen a Cédrusliget lakópark mellett döntöttem.

Mivel egy, a közelmúltban megvalósult projektről van szó, így dolgozatomban azt a célt tűztem ki, hogy a rendelkezésemre bocsátott kú adatokat, illetve a meglévő vezetékhosszak adatait felhasználva méretezem az épület hőellátó rendszerének főbb elemeit, különös tekintettel a búvárszivattyúra, a legfontosabb hőcserélőkre, valamint a szivattyú méretezéséhez szükséges csővezetékekre és szerelvényekre, majd gazdaságossági számításokat végzek a projekt megtérülésére vonatkozóan.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Célkitűzések az Európai Unióban és Magyarországon

Az Európai Unió energiapolitikájában központi szerepet játszik a megújuló energiaforrások arányának növelése a primer energiafelhasználásban.

Az elmúlt évtizedben a megújuló energiaforrásokból előállított energia előtérbe helyezésére az uniós jogszabályi keretrendszer jelentős mértékű fejlődésen ment keresztül.

A jelenleg hatályos, megújuló energiákról szóló 2023/2413 irányelv három fő módosításon esett át az utóbbi években (Európai Parlament, 2023/2413 irányelv):

- „Irány az 55%!” intézkedéscsomag: 2021 júliusában az Európai Tanács azt a célt tűzte ki, hogy az EU az 1990 éves szinthez viszonyítva 2030-ra legalább 55%-kal csökkentse az üvegházhatású gázok kibocsátását, valamint 2050-re elérje a klímasemlegességet.
- RePower EU: 2022 májusában az Ukrajna elleni orosz inváziót követően egy olyan terv került kidolgozásra, amely célja az orosz fosszilis tüzelőanyagoktól, főként a földgáztól való függetlenedés és a tiszta energiára való átállás a diverzifikáció fokozásával, a megújuló energiák előtérbe helyezésével, valamint az energiával való takarékoskodás révén. Az EU célul tűzte ki továbbá, hogy 2030-ig 45%-ra növeli a megújuló energiaforrások arányát a bruttó végső energiafogyasztásban.
- Megújuló energia elterjedésének felgyorsítása: A módosítás 2022 novemberében zajlott le, és célja a megújuló energia-projektek gyorsabb engedélyezése és lehetőség biztosítása az EU-s környezetvédelmi jogszabályoktól való eltéréshez.

Az Eurostat 2023-as adatai alapján az EU-s országok által felhasznált megújuló energia mennyisége 2021-hez képest emelkedett. Míg 2021-ben a megújuló energiaforrások aránya 21,9% volt, ez az érték 2023-ban már elérte a 23%-ot.

A fentiekből következik, hogy az uniós országoknak erőfeszítéseket kell tenniük, hogy közösen elérjék a 2030-ra kitűzött célt, amihez több, mint 20 százalékkal (45%-ra) kell növelni a megújuló energiaforrások arányát az EU bruttó végső energiafogyasztásában, valamint a 2050-re kitűzött célt, miszerint a világ első klímasemleges kontinensévé válik.

Hazánk energiaellátását az importnak való nagyfokú kitettség jellemzi. Ezt jól mutatja az a tény, hogy Magyarország primerenergia ellátásának 74%-a származik importból. Az ország magas energiaiimport kitettsége ellátásbiztonsági és árkockázatot jelenthet. Az energiabiztonság, valamint az energia import függőség csökkentése érdekében hazánkban növelni kellene az energiafogyasztásban az alternatív energiaforrások részarányát, így nagyobb hangsúlyt fektetve a megújuló energiaforrások felhasználására, többek között a geotermiára is (Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve, 2023).

Magyarországon a geotermikus gradiens értéke jelentősen meghaladja a világátlagot. Nagymértékű potenciál rejtőzik a geotermikus energia hő ellátásban betöltött szerepének fokozásában. A geotermikus energia fűtési célra történő alkalmazása bizonyos területeken (például a kertészetekben) már elterjedt, ám számos más területen (például épületfűtés) még fejlesztésre szorul.

A fenntarthatóság érdekében fontos, hogy figyelmet szenteljünk a termálvíz kitermelés mellett a víz ugyanazon földtani rétegbe történő visszasajtolására, vagy a több lépcsős hasznosításra. A geotermikus energia kapcsán a kút lemélyítésének és visszasajtolásának a kiadásain túl a hőellátási és elosztási rendszer kiépítésének költségeit is figyelembe kell venni a beruházás során (Nagygal J., 2017).

A KSH adatai alapján 2020-ban Magyarországon a megújuló energiaforrások teljes energiafelhasználásából való részesedése 13,9% volt, így nem sikerült teljesíteni a Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében vállalt 14,7% célértéket. A fűtés-hűtés területén hazánkban a megújuló energia részaránya 18,08%-ról 17,93%-ra csökkent. A megújuló energiaforrásokból és a hulladékból termelt energia összmenyisége 2020-ra 139 PJ-ra emelkedett. Az ország megújuló energia hasznosítási lehetőségei elsősorban a hő- és villamosenergia termelésben kihasználtak, bár a fűtési szektorban a megújuló energia hasznosítása az elmúlt időszakban csak stagnál.

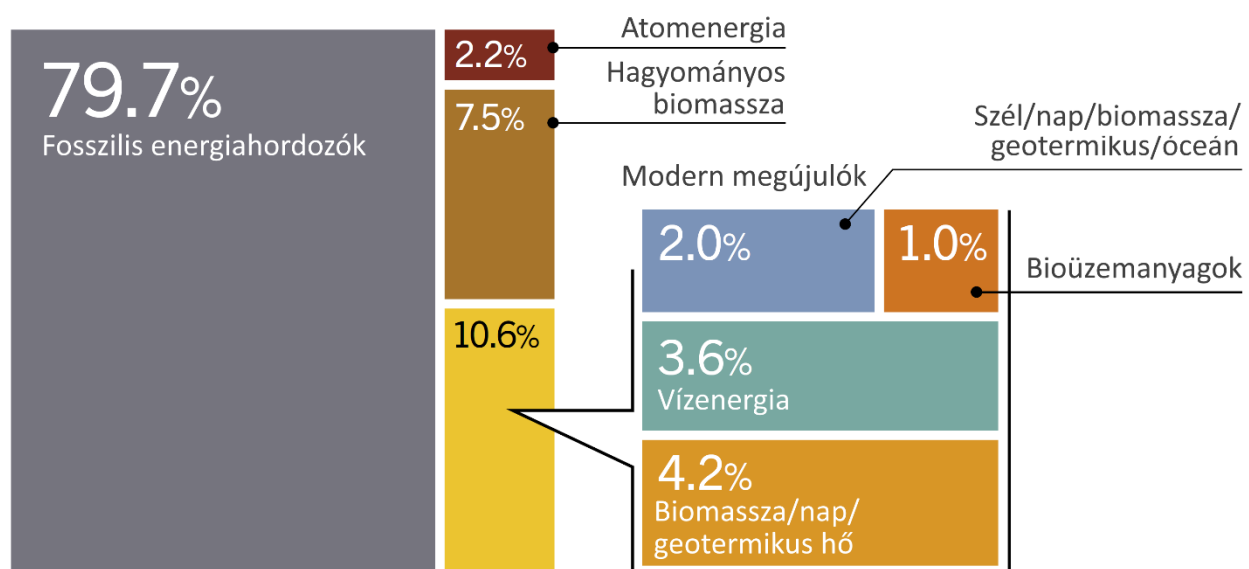
Magyarország a klímavédelemről szóló 2020. évi XLIV. törvényben rögzítette, hogy támogatja az ország klímasemlegessé válását 2050-re. Ennek érdekében hazánkban az 1990-es évhez képest 2030-ig legalább 50%-kal kell csökkentenie az üvegházhatású gázok bruttó kibocsátását, ami azt jelenti, hogy az összes üvegházgáz kibocsátás 2030-ban nem haladhatja meg a bruttó 47,5 millió tonna CO₂_{eq}-et. Célul tűzte ki továbbá, hogy 2030-ig a megújuló energiaforrások arányát a bruttó végső energia-felhasználás arányában legalább 29%-ra emeli. További célkitűzés, hogy a megújuló

energia részarányát hűtés-fűtés területén 2021 és 2025 között 1 százalékponttal, 2026 és 2030 között évente legalább 1,3 százalékponttal, a távfűtésben a megújuló energia, valamint a hulladékhő és a hulladék hűtőenergia részarányát pedig évente 2,2 százalékponttal növeljük. Mivel Magyarország jelentős geotermikus potenciállal rendelkezik, így cél a geotermikus hőenergia fokozottabb és szélesebb körű kiaknázása mind a hőenergia, mind a villamosenergia termelés terén. Célunk, hogy 2030-ig megkétszerezzük a jelenleg hasznosított geotermikus energia felhasználását (Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve, 2023).

2.2. A geotermikus energia alapfogalmai

Megújuló energiaforrásnak nevezzük azokat az energiahordozókat, amelyek a természeti folyamatok során különböző formában rendelkezésre állnak és emberi léptékben képesek újratermelődni. Megújuló energiaforrások a napenergia, a szélenergia, a geotermikus energia, a vízenergia, a tenger hullámozásából kinyerhető energia, az ár-ápály energia, a hőszivattyúkkal nyert környezeti hő, a bioüzemanyagok és a hulladék megújuló része. Ezen energiahordozók egyre szélesebb körű elterjedése jelentheti az alternatív megoldást a nem megújuló, fosszilis tüzelőanyagok kiváltására, amely napjainkban is a globális energiafelhasználás csaknem 80%-át teszi ki. A fosszilis energiahordozók, valamint az atomenergia és a megújuló energiaforrások %-os megoszlásának 2019-es értékeit a 3. ábra szemlélteti.

3. ábra: A világ teljes végső energiafelhasználásának %-os eloszlása energiaforrások szerint
(Forrás: REN21, 2019)



A Föld eltérő területein különböző megújuló energiaforrások hasznosításához kedvezőek az adottságok. Így a nagy besugárzású területeken a napenergia hasznosítás lehet jelentős, míg a kőzetlemezek határánál a geotermikus energia felhasználása dominálhat (Bartholy et al., 2013).

Bobok és Tóth (2010) szerint a geotermikus energia a földkéreg, a köpeny és a mag által tárolt hőenergia, amely a Föld belsejében található radioaktív elemek bomlása során keletkezett és a bolygóképződés során csapdázódott hőből táplálkozik. A Földgolyó közel 99 %-a melegebb, mint 1000 °C. Az ennél alacsonyabb hőmérsékletű régiók a földkéreg külső részén találhatóak és azoknak is mindössze kevesebb, mint 1 %-a nem éri el a 100 °C-ot (Mádlné Szőnyi et al., 2008).

Más definíció szerint geotermikus energia a földkéreg belső energiája, amelyet energetikai céllal hasznosíthatunk. A geotermikus energia a 30 °C vagy annál nagyobb hőmérsékletű „*folyékony vagy gáz halmazállapotú anyagok közvetítésével, ezek közvetlen földkéregből való kitermelésével vagy recirkuláltatásával nyert energia*” (54/2008. (III. 20.) Kormányrendelet).

A hőenergia áramlását a földi hőáramsűrűség, vagy hőfluxus fejezi ki, amely megadja az egységnyi földfelületen egységnyi idő alatt átáramló hő mennyiségét (Mádlné Szőnyi et al., 2008). A globális átlagot Pollack és társai (1993) határozták meg 87 mW/m²-ben.

Ha ezt a felszín felé áramló energiát nem használjuk fel, akkor 40 millió MW teljesítménnyel távozik az atmoszférába (Chapman és Rybach, 1985). A geotermikus gradiens megmutatja, hogy egységnyi mélység csökkenéssel mekkora hőmérséklet-növekedés jár. Értéke globálisan 1-6 °C/100 m között változik, a Föld magja felé haladva ez az érték folyamatosan csökken (Stober és Bucher, 2021).

2.3. A geotermikus energia előnyei és hátrányai

A Föld belső magjának hőmérséklete körülbelül 6000 °C, amely érték szinte megegyezik a Nap felszínének hőmérsékletével. Ez a hatalmas hőmennyiség elképzelhetetlen mennyiségű energiát és elektromosságot jelent, amely energiaforrásból addig állíthatunk elő energiát, amíg a Föld létezik. Ebből megközelítőleg 2 TW energia előállítása is lehetséges lenne (Harsh és Sukanta, 2007).

A természetes geotermikus tároló jellemzője, hogy magas hőmérsékletű, kellő kiterjedésű, megfelelő áteresztőképességű és porozitású hévíz vagy gőztároló képződmény, amely abban különbözik a közönséges víztárolóktól, hogy a geotermikus tárolóból belső energiát termelünk ki nagy hőmérsékletű víz, vagy gőz segítségével (Bobok és Tóth, 2010).

A geotermikus energia legfőbb előnyei:

- tiszta, megújuló energiaforrás
- környezetbarát
- az épületek hőenergia ellátásához helyben elérhető

Használatával

- a földgáztól való függés radikálisan csökkenthető
- az ökológiai lábnyom csökkenthető
- az üzemeltetési költségek csökkenthetők
- az üvegházhatású gázok kibocsátása jelentősen csökkenthető
- hozzájárul az Európai Unió célkitűzései eléréséhez (megújuló energiaforrások arányának növelése, CO₂ kibocsátás csökkentése,...)
- jelentős költségmegtakarítás érhető el, főként a közintézmények számára, akik a lakossággal ellentétben nem rezsicsökkentett áron vásárolják a hőenergiát

A geotermikus energia előnyei mellett számos hátránya is van (Glenn, 2016):

- A megtermelt energiát helyben kell elfogyasztani
- A geotermikus potenciál kiaknázása során a lefúrandó mélység és a hőenergia kinyerhetősége jelentősen változhat a terület geológiai sajátosságaitól függően
- A geotermikus energia projektjeinek kezdeti költségei viszonylag magasak
- A geotermikus energia potenciáljának kiaknázása kutatásigényes folyamat, és előfordulhat, hogy a fúrás sikertelen lesz. Ez növelheti a projekt kockázatát és költségeit
- Az energia kinyerése során felhasznált rétegvizet energetikai célú hasznosítás után vissza kell juttatni a rétegbe, ami további műszaki és pénzügyi kihívásokat jelent

Minden hátránya ellenére Magyarország sok helyen használja a geotermikus energiát a mezőgazdaságban, és mára már több, mint 30 településen, többek között Szegeden, Budapesten, Szarvason, Hódmezővásárhelyen is található geotermikus hőszolgáltató. A hőközpontok nemcsak lakóépületeket, hanem középületeket, ipari- és kereskedelmi egységeket is ellátnak hőenergiával, valamint távfűtésre is használják.

2.4. Geotermikus energia felhasználásának lehetőségei

A geotermikus rendszereket entalpiájukkal jellemezhetjük.

Léteznek:

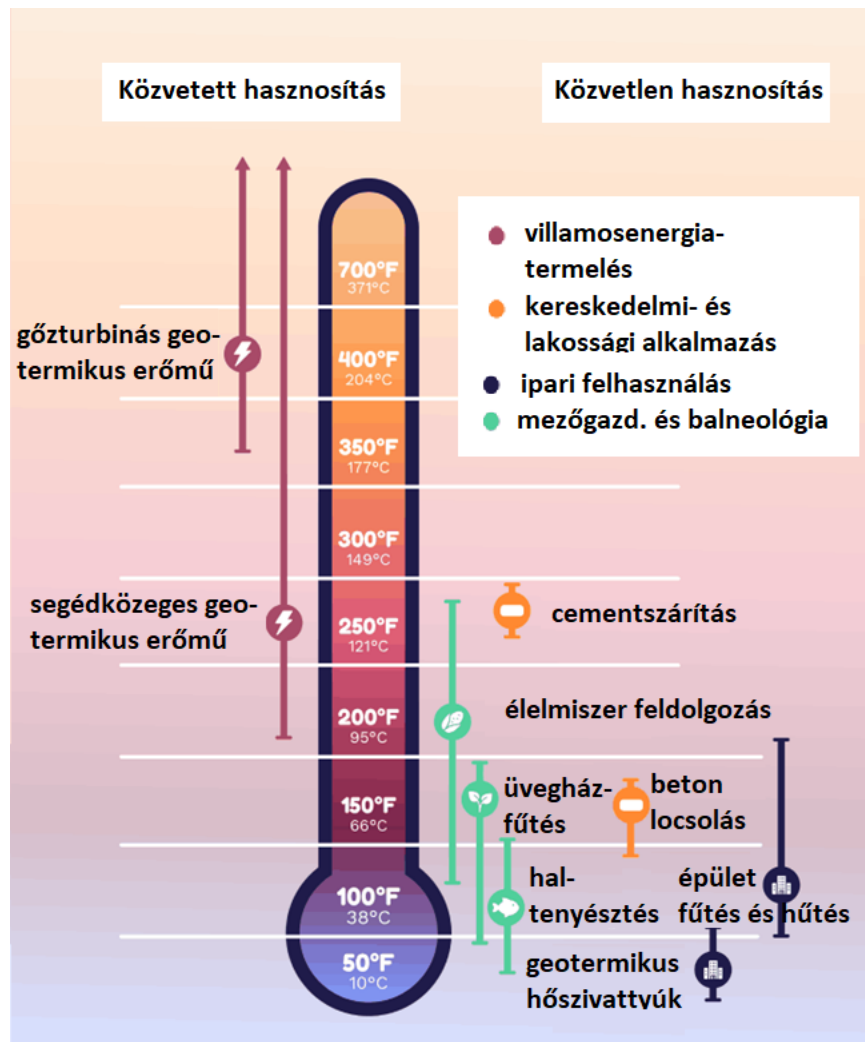
- alacsony, 100 °C alatti hőmérsékletű, kis entalpiájú rendszerek,
- közepes, 100-150 °C hőmérsékletű rendszerek,
- és nagy hőmérsékletű, nagy entalpiájú rendszerek (Muffler L. J. P. és Cataldi, 1978).

A hasznosítás módja nagyban függ a hőmérséklettől. A geotermikus energia abban az esetben a leggazdaságosabb, ha kaszkád vagy integrált rendszerben hasznosítjuk, azaz az áramfejlesztés után visszamaradó, részlegesen lefűtött termálvíz hőjét akár több lépcsőben tovább hasznosítjuk, így az a lehető lealacsonyabb hőmérsékleten kerül elhelyezésre. A kapcsolt energiatermelés nagymértékben javítja a geotermikus energia megtérülését (Mádlné et al., 2008).

A 4. ábrán egy, az Amerikai Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma által kiadott jelentésben fellelhető módosított Lindal diagram látható, mely jól mutatja a geotermikus energia legfőbb hasznosítási módjait a különböző hőmérséklettartományokban.

4. ábra: Módosított Lindal Diagram

(Forrás: US GeoVision report, Saját szerkesztés)



A 4. ábráról jól leolvashatóak a geotermikus energia felhasználásának főbb módjai:

- közvetett hőhasznosítás: villamosenergia-termelés
 - közvetlen hőhasznosítás: épületfűtés, mezőgazdasági és balneológiai felhasználás, ipari felhasználás, stb.
 - Geotermikus földhőszivattyúk
- a) Villamosenergia-termeléskor a kitermelt, nagyhőmérsékletű víz és/vagy gőz hőjét villamos energiává alakítják át. Ehhez a jelenlegi technológia legalább 100 °C-os hőfokú fluidumra

van szükség. Ilyen hőmérsékletű víz hazánkban 2000-3000 m mélységben és korlátozott kiterjedésű víztárolókban áll rendelkezésre (Mádlné Szőnyi et al., 2008).

Magyarországon jelenleg egyetlen ORC technológiájú erőmű üzemel Turán. Geotermikus áramtermelésre, illetve kapcsolt hő- és áram termelésre irányuló kutatások jelenleg is több helyen folynak az országban, például Tótkomlóson és Gádoroson.

- b) Közvetlen hőhasznosításkor a termálvíz hője közvetlenül, átalakítás nélkül kerül hasznosításra. Alacsonyabb hőmérsékleten a geotermikus energia sokféleképpen hasznosítható, például épületfűtésre, üvegházak fűtésére, cementszáritásra, élelmiszer száritásra és balneológiai céllal. A jelenleg hasznosított hidrotermális rendszerek hőmérséklete általában alacsonyabb, mint 100 °C, ami miatt általában a közvetlen hőhasznosítás a legindokoltabb.
- c) A hőszivattyús rendszerekhez nincs feltétlenül szükség a felszín alól történő vízkivételre. A hőt szolgáltató közeg lehet például felszíni vízfolyás, talajvíz vagy akár a talajban vagy föld alatt megtalálható termálvíz, földhő. A hőszivattyús rendszereket télen fűtésre, nyáron pedig hűtésre is lehet alkalmazni. A hőszivattyúval történő hőellátás legnagyobb előnye, hogy szinte mindenütt alkalmazható. A hőszivattyúk másik alkalmazási módja, mikor hulladékhőt hasznosítunk. Ez a hő lehet akár lehűlt 30-40 °C-os termálvíz, de ipari folyamatoknál keletkező meleg víz vagy levegő formájában jelentkező hulladékhő is. A sekély mélységű, általában 100 méter mélységet meg nem haladó földhő szivattyús rendszerek világszerte a geotermikus technológia legsikeresebb piaci termékei. Magyarországon azonban a geotermikus hőszivattyús technológia alkalmazása lemaradást mutat a többi európai országhoz képest.

2.5. Geotermikus energia helyzete Magyarországon

A Pannon-medence keletkezése során a húzóerők hatására Magyarországon a földkéreg és a litoszféra jelentősen vékonyabb, mint általában a kontinensek alatt. Ezért a litoszféra alatti lassú áramlásban lévő, hőt szállító asztenoszféra közelebb került a felszínhez, mint a Föld más pontjain. Magyarországon a geotermikus gradiens értéke átlagosan a világátlag másfélszerese, azaz 5 °C/100 m (Szanyi, 2021). Míg hazánkban az átlagos hőáram 90 mW/m², a maximális értékek (120-140 mW/m²) az ország déli részén találhatók, addig az európai kontinens nagy részén 60 mW/m² az átlagérték.

A felszín átlagos középhőmérséklete 10 °C, és az említett geotermikus gradiens mellett 1 km mélységben átlagosan 60 °C, míg 2 km mélységben a kőzetek és a pórusaikban tárolt víz hőmérséklete átlagosan 110 °C. A jó vízvezető képződmények akár 2,5 km mélységben is lehetnek, ahol a hőmérséklet már 130–150 °C közötti, ám a hévízkutakban felfelé haladó víz felfelé áramolva hőt veszít, így a felszínre érve a hőmérséklete általában 100 °C alatti. Magyarország kiemelkedő geotermikus adottságai főként két tényezőnek köszönhetőek. Az egyik a világátlagot jelentősen meghaladó, felszín felé áramló nagy hőfluxus, a másik pedig a jó vízáradó képződmények jelenléte. Ezek az Alföldön, a Kisalföldön és a Dráva-medencében elsősorban pannóniai korú sekélyvízi homokkővek, az ország más részein pedig repedezett, olykor karsztosodott, többnyire mezozoikumi karbonátos képződmények (Szanyi és Madarász, 2021).

Hazánkban az átlagos hőárama 90 mW/m^2 , ami $93\,000 \text{ km}^2$ -nyi felszínen $8,37 \text{ GW}$ hőteljesítményt jelent. A hőáram által szállított éves geotermikus hőmennyiség 264 PJ , ami a magyarországi hőáramból származó utánpótlódó hővagyon értéke (Mádl et al., 2008).

2.6. Szeged hidrogeológiai viszonyai

Szeged térsége a „dunai szerkezeti árok” déli részén helyezkedik el (lásd 5. ábra).

A térségben zajlott medencesüllyedés időben eltérő mértékben zajlott le, a legintenzívebb medencesüllyedés a pannóniai időszakban történt. Ez az időszak az 1000 méteres vízmélységet meghaladó jelentős mélységek kialakulását eredményezte.

A mélymedencékben márgák rakódtak le (Endrődi Formáció), ezt követően igen vastag finomhomokos turbiditek, illetőleg gravitációs üledékek (Szolnoki Formáció). A turbiditek fölött, illetve a sekélyebb medenceterületeken a márgákon az Algyői Formáció vastag agyagos–aleuritos képződményei települtek. Az összlet alatt, illetve benne túlnyomás tapasztalható, amely a vastag üledéksorok kompaksiója nyomán alakult ki, ennek köszönhetően pedig záróréteggént funkcionál.

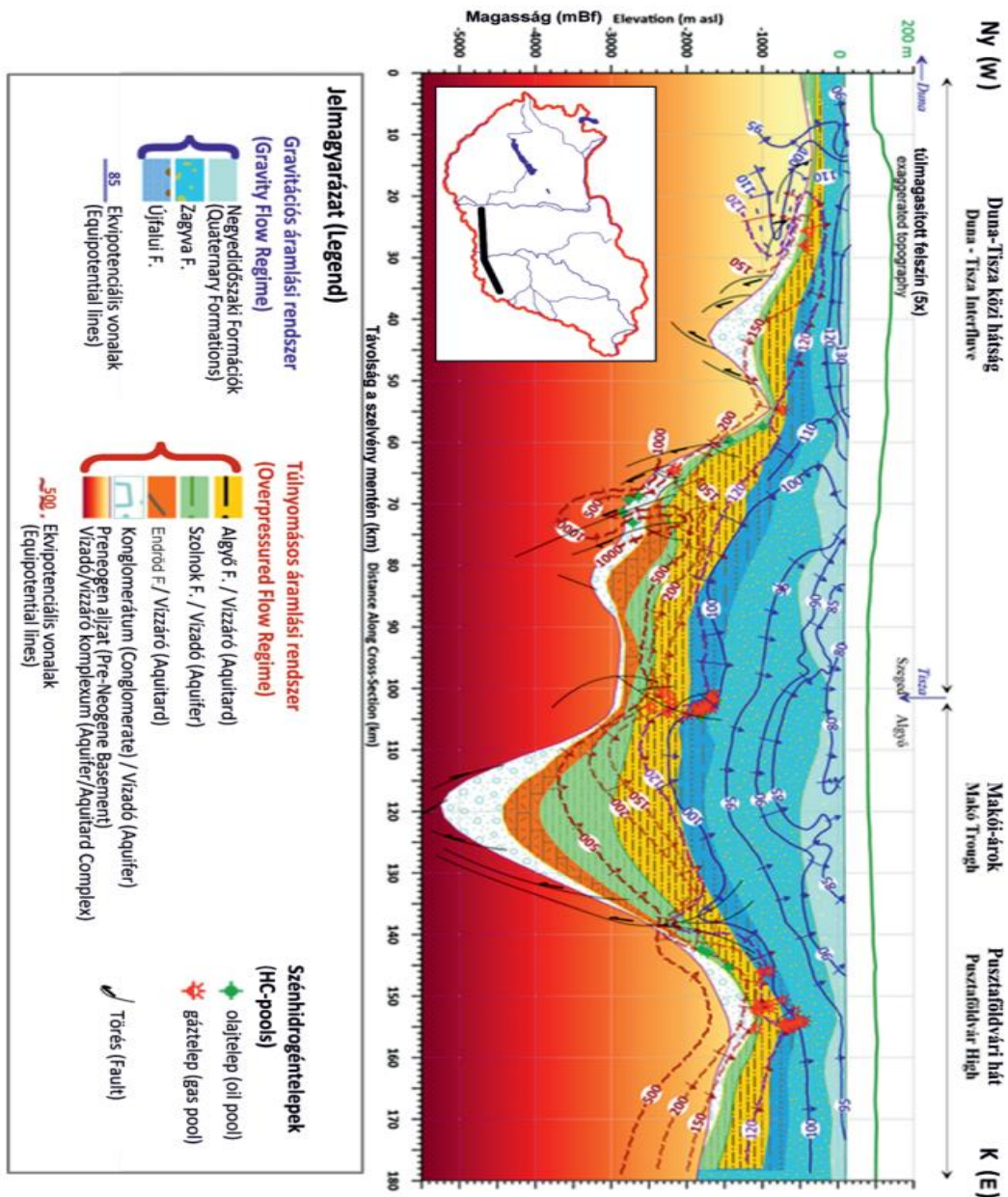
A túlnyomásos területek alatt elhelyezkedő tárolókban a hévíz hidrosztatikus nyomása nagyobb, így a természetes vízáramlások innen irányulnak a hidrosztatikus területek felé. A medence legjelentősebb hévíztárolóit a homokos-aleuritos üledéksorok alkotják, melyek az Újfalui Homokkő képződményeihez tartoznak. A homokkőveket agyagos-aleuritos, lignitcsíkos rétegek tagolják. Ez a képződménycsoport átlagosan 200-300 m vastag és a "felső-pannóniai" sorozat részét képezi, mely képződmények vastagsága Szeged környékén 1400-1600 méter. Az említett fő

pannóniai hévízadó rétegsor felett vastag felső-pliocén és folyóvízi üledékek találhatók, amelyek a felszínig tartanak (Kulcsár, 2013).

A felső pannóniai képződményekben a kutak hozama 1000-3500 m³/nap között változik, metántartalma általában magas, és erősen változó a közelben található szénhidrogén telepek miatt (Kiviteli tervdokumentáció, 2020).

5. ábra: Hidrosztratigráfiai szelvény az Alföld déli részén

(Forrás: Almási I., Szanyi J., 2021)



2.7. Termálvíz felszínre hozatala

A kitermelni kívánt termálvíz felszínre hozatalának többféle módja is lehetséges.

2.7.1. Réteg nyomása által történő felszínre hozatal

Ma már ritkán fordul elő ez a termálvíz kitermelés kezdetén használt vízkitermelési módszer. A lemélyített, és kompresszoros kútkiképzésen átesett kút olyan nagy rétegnyomással rendelkezik, hogy a víz önerőből tör a felszínre.

2.7.2. Kompresszoros hévízkitermelés

Hagyományos vízkitermelési mód a levegő bevezetével történő vízkitermelés. Ezt a módszert mammutszivattyú vagy légnemű vízemelő alkalmazásával valósítják meg, amely nagynyomású levegő vagy más gáz segítségével szivattyúzza fel a vizet. A dugattyús-, vagy csavarkompresszor által előállított nagyjából 10 bar nyomású sűrített levegőt a „buborékpont” alá vezetik be, ahol egy kúpos egység által előállított apró légbuborékok hatására a lecsökkent sűrűségű fluidum-levegő keverék a kisebb fajtsúly révén buborékok formájában felemelkedik és mozgás közben magával ragadja a vizet is. A relatív nagyobb környezeti nyomás a víz-levegő keverék oszlopot megemeli és a fluidum a felszínre jut (Török, 2011).

A rendszernek számos előnye van, többek között, hogy egyszerű felépítésű, a kútban nincs mozgó alkatrész, ezért kevesebb karbantartást igényel, és nem érzékeny a homokra. Hátránya viszont, hogy a kompresszor által befektetett energia csak kis része alakul át hasznos munkavégzéssé, ami miatt hatásfoka átlagosan 15% alakul. A lejuttatott levegőt és a többi, kitermelt gázt a felszínen le kell választani. A kompresszor hangos, telepítése külön tervezést és odafigyelést igényel. A kompresszorozás hatására a kút dinamikus terhelést tapasztalhat, ami kútbeomlást eredményezhet. Mivel nehezen szabályozható, így a rendszer nagy tehetetlenségű. Ma már nem ajánlott mesterséges termelési mód (Nagygál, 2017).

2.7.3. Szivattyús hévízkitermelés

A kompresszoros üzemnél alkalmasabbak a vízkitermelésre a bűvárszivattyúk, amelyek jóval jobb hatásfokkal bírnak, és melyekkel a rétegnyomás csökkenésének kompenzálására az egyre mélyebbre történő beépítés megoldást jelent (Nagygál, 2017).

Előnyei:

- a kompresszorozásnál jobb hatásfok
- kompakt felépítés

- jó szabályozhatóság
- a kitermelt víz mennyisége a fogyasztói igényekhez igazítható
- a kút adottságaihoz (hőmérséklet, vízhozam, emelőmagasság) méretezhető

Hátrányai:

- működése villamos energiát igényel,
- csak megfelelő méretű béléscsőbe helyezhető el,
- a beépítéshez termelőcső szükséges,
- a motor nem javítható, meghibásodás esetén cserélni kell.

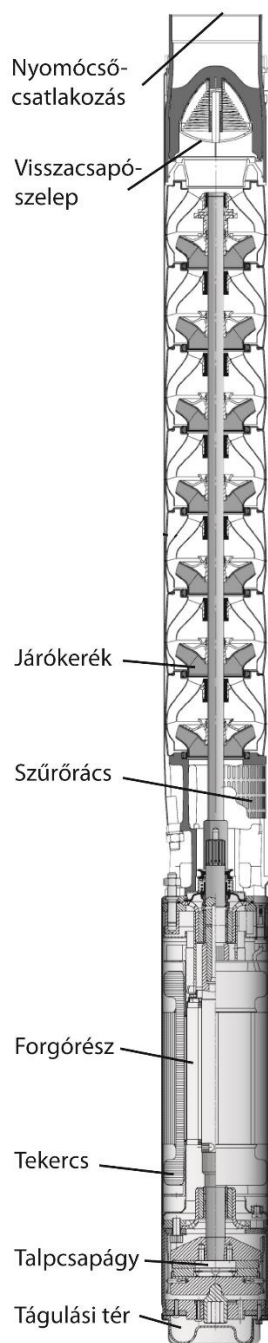
A csőbúvárszivattyú működését egy elektromos, forgó mozgást generáló motor végzi, mely biztosítja a folyadék szállítását. Ez a típusú szivattyú a hagyományos szivattyúkkal ellentétben nem szívja, hanem a felszínre nyomja a folyadékot. A 6. ábrán a csőbúvárszivattyú általános felépítése látható.

A búvárszivattyús kitermelés esetén a korrózióálló acélköpenybe épített szivattyúval egy egységet képező motor a kút béléscsővébe beépítve található és a szivattyúzni kívánt folyadékba merül. A búvárszivattyúknál a folyadék mozgatását több, a szivattyú tengelyén radiálisan elhelyezett lapát végzi.

A kitermelendő folyadék a szívócsonton keresztül jut a járókerékbe és a lapátok közé, a motor által megmozgatott lapátok pedig átadják a nyomatókat a folyadéknak, ezzel megnövelve a nyomást, végül pedig a fluidum a szivattyútest felső részén keresztül a nyomócsonton át távozik. A szivattyútest felső vége visszacsapó szeleppel ellátott, a szelepre csatlakozik a termelőcső.

6. ábra: Csőbúvárszivattyú termelőcsővel - általános felépítés

(Forrás: AQUAREX '96 Kft.)

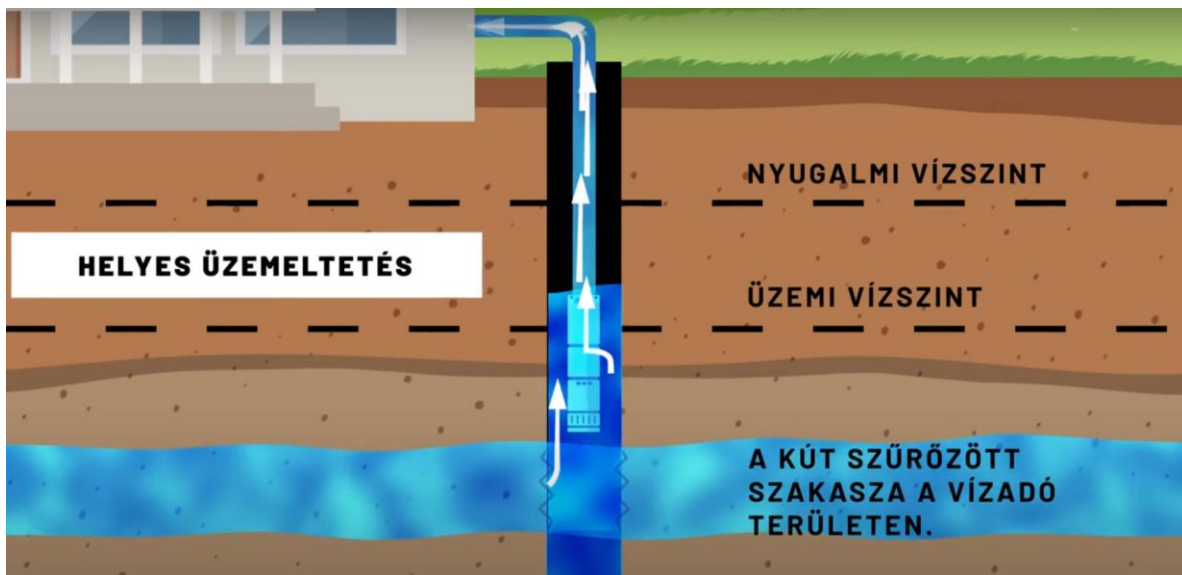


2.8. A búvárszivattyú méretezésének megfontolásai

A csőbúvárszivattyú indítását követően a kútban a víz szintje az eredeti, nyugalmi vízszinthez képest lecsökken, amit a környező rétegből a víz beáramlása pótol. A szivattyúzott víz távozása és a víz beáramlása hamarosan kiegyenlítődik, egyensúlyi állapotba kerül. Az ekkor kialakuló vízszintet nevezzük üzemi vízszintnek. A megfelelő szivattyú kiválasztásához az egyik legfontosabb adat a kút üzemi vízszintjének mélysége a kútfejtől számítva, mert a szivattyúnak ebből a mélységből a vizet először fel kell juttatnia a felszínre, hasznos teljesítményt csak ezen felül képes biztosítani (Port szivattyútechnika). A kútba épített csőbúvárszivattyú elhelyezésének mélysége és vízszintjeinek ábrázolása a 7. ábrán látható.

7. ábra: A búvárszivattyú nyugalmi és üzemi vízszintje

(Forrás: Youtube.com/Szivattyúvilág)



Termálvíz távfűtési célra történő felhasználása során a forró víz először a termálkútból csőbúvárszivattyú segítségével a termelőcsőn keresztül a felszínre áramlik, majd szerelvényeken, távvezeték hálózaton, hőcserélőkön, visszasajtoló távvezetéken, szűrőkön és visszasajtoló szivattyúkon keresztül jut el a végső elhelyezés helyszínére. Az áramlás során súrlódási veszteség, nyomásveszteség lép fel.

A búvárszivattyúk teljesítményének meghatározásánál az egyik legfontosabb tényező az emelőmagasság, vagy szállítomagasság ismerete. Az emelőmagasság az a távolság, amin a

búvárszivattyú képes a folyadékot szállítani. Az emelőmagasságot kifejezhetjük „bar”-ban is, ami azt adja meg, hogy a szivattyú mekkora nyomást képes biztosítani. 1 bar nyomás 10 méter vízoszlopnak felel meg. A búvárszivattyú szállítómagasságának meghatározása során mindenképpen figyelembe kell venni az üzemi vízszint mellett a fellépő nyomásveszteségeket, hogy az képes legyen a kitermelt fluidum célhelyre történő eljuttatására.

Termálvízkútba elhelyezett búvárszivattyú használata során a szállított vízmennyiség értéke nem lehet magasabb, mint a kút vízkapacitása, ugyanis azt túllépve a kitermelt víz homokot is hoz magával a kútba.

A szivattyú szállítómagassága és a szivattyún átáramló térfogatáram között szoros összefüggés van. Ezt az összefüggést diagramban ábrázolva adódik a szivattyú jelleggörbéje. A függőleges tengelyen látható a szivattyú szállítómagassága (H), míg a vízszintes tengelyen található a térfogatáram (Q).

A szivattyú hatásfokát (μ) a hasznos teljesítmény és a bevezetett teljesítmény hányadosa adja. A bevezetett teljesítmény a hajtómotortól a szivattyúnak, míg a hasznos teljesítmény a szivattyúból a folyadéknak átadott teljesítmény.

A hatásfok a szállítómagasság és a térfogatáram változásával különbözőképpen alakul. Amennyiben a szivattyú zárt szelep ellen dolgozik, a nyomása nagy lesz, ám ilyenkor nem áramlik folyadék, így tehát a szivattyú hatásfoka ebben a pillanatban nulla. Egy nyitott csőnél ezzel ellentétben nagy vízmennyiség áramlik át, ám nem épül fel nyomás, ezért itt is nulla a hatásfok. Mivel egy szivattyú nem mindig ugyanazok a paraméterek mellett üzemel, ezért úgy kell a szivattyút méretezni, hogy annak munkapontja az üzemelési idő nagyobb részében a szivattyú jelleggörbe középső harmadában legyen, ugyanis a szivattyúnak ekkor lesz a legjobb a hatásfoka (WILO, 2005).

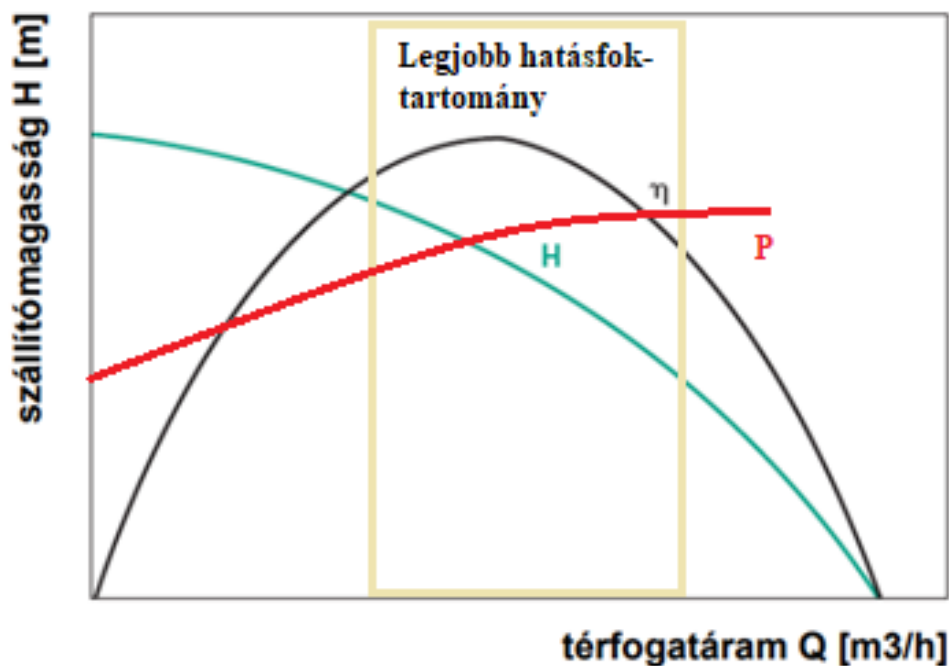
A szivattyú tengelyét a villanymotor forgatja. A szivattyún átáramló térfogatáram és a szivattyúban létrejött nyomásnövekedés a villamos energia hidraulikai eredménye. A motor számára szükséges energiát a szivattyú teljesítményfelvételének nevezzük és P-vel jelöljük. A teljesítmény alakulását a teljesítmény-jelleggörbe mutatja. A vízhozam és az emelőmagasság növekedésével a teljesítmény arányosan nő.

Változó vízhozam és emelőmagasság esetén a szivattyú munkapontjának folyamatos áthelyezése nyújtja az optimális megoldást, amelyet frekvencia szabályozással érhetünk el. A normál hálózati 50 Hz frekvenciához képest a szivattyúknál alkalmazható legalacsonyabb frekvenciaérték 40 Hz,

ám a frekvencia növelésével a fordulatszám számottevően növelhető, és 50 Hz feletti érték is elérhető (Szlivka, 2012). A 8. ábrán a piros vonal jelöli a P motorteljesítményt (kW), a zöld a szivattyú H szállítómagasságát (m), a fekete pedig a szállítási hatásfokot állandó fordulatszámon a szállítómagasság és a vízhozam függvényében.

8. ábra: Szivattyú szállítómagasságának, motor teljesítményfelvételének és szállítási hatásfokának görbéje

(Forrás: Saját szerkesztés WILO, 2005 alapján)



2.9. Hőcserélők

A hőcserélő olyan eszköz, amely két közeg közötti hőenergia (entalpia) átvitelére szolgál. A legtöbb hőcserélőben a folyadékok közötti hőátadás egy elválasztó falon keresztül történik, így a közegek közvetlenül nem érintkeznek egymással (Shah, Sekulic, 2003).

Fontos szerepet töltenek be többek között az épületgépészetben (például távhő, használati melegvíz melegítés, geotermikus fűtés), az uszodatechnikában, az élelmiszeriparban és az ipar számos más területén.

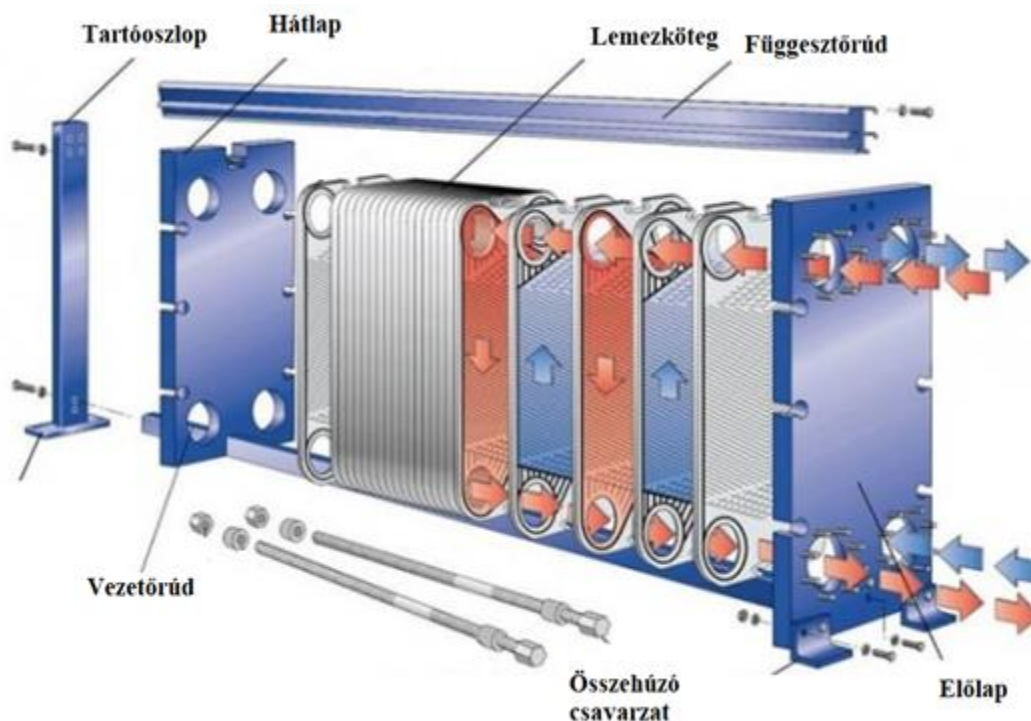
Kivitelezés szerint megkülönböztetünk csöves, csőköteges, lemezes, spirállemezes és bordázott hőcserélőket. Ezek közül a legelterjedtebbek a csőköteges és a lemezes hőcserélők.

A fűtési termálközeg hőjének kinyerése céljából a fogyasztói hőközpontokba legtöbb esetben megbízható, korszerű lemezes hőcserélők kerülnek telepítésre, így a továbbiakban ezekről kívánok szólni.

A tömített lemezes hőcserélő számos vékony, téglalap alakú fémlemezről áll, tömítésekkel ellátva és keretbe összefogva, ahogy az a 9. ábrán látható. A keretnek általában van egy rögzített hátlapja és egy mozgatható előlapja. A keretben a lemezek egy felső tartórúdra vannak felfüggesztve, és egy alsó tartórúd, vagy vezetőrúd vezeti a megfelelő beállítás érdekében. Ebből a célból minden lemez felső és alsó szélénél közepén bevágással van ellátva. A rögzített és mozgatható lapokkal ellátott lemezcsoportot hosszú csavarok szorítják össze, így nyomva össze a tömítéseket (Shah, Sekulic, 2003).

9. ábra: Lemezes hőcserélők szerkezeti kialakítása

(Edutus Főiskola, Saját szerkesztés)



A lemezek négy furattal rendelkeznek, amelyek közül kettő a primer munkaközeg, a másik kettő pedig a szekunder közeg keringését biztosítja. A két közeg keveredésének elkerülésére elasztomer tömítéseket helyeznek a lemezek közé (Shah, Sekulic, 2003).

A hőcserélő lemezek vastagsága 0,5-1 mm között változik, legtöbb esetben rozsdamentes acélból vagy titániumból, ritkább esetben nikkelből készítik.

A lemezes hőcserélők egyik legnagyobb előnye, hogy tisztításhoz és karbantartáshoz könnyedén szétszerelhetők. A hőátadó felület könnyen megváltoztatható vagy átrendezhető egy másik feladathoz, vagy a várható változó terhelésekhez a lemez méret, a hullámos minták és az áthaladási elrendezések rugalmasságának köszönhetően. Ezen típusú hőcserélők leggyengébb pontja a tömítés, amely limitálja a maximális nyomást az eszközön (Shah, Sekulic, 2003).

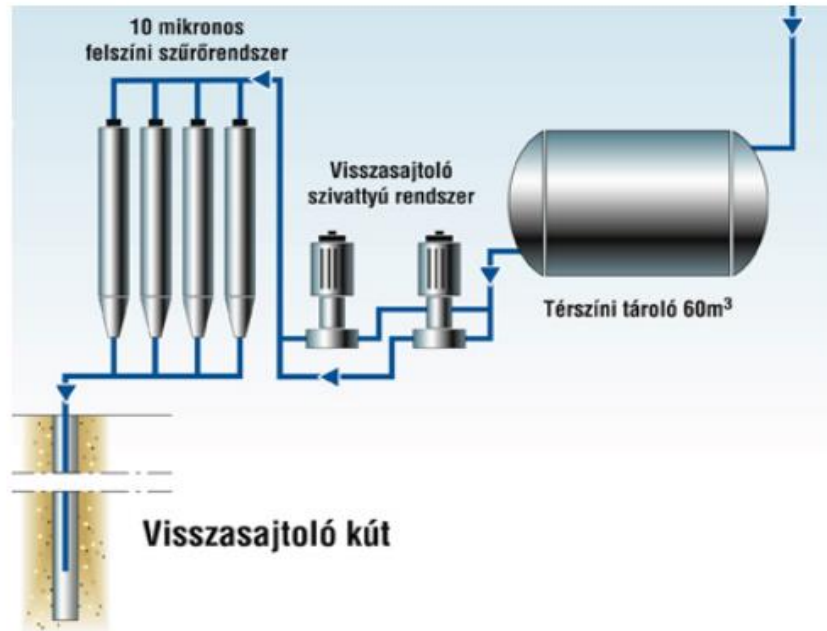
2.10. A hőtermelő rendszer általános felépítése

A hőtermelő rendszerek több részrendszerből tevődnek össze.

A tárolóból a belső energiát hordozó fluidum (víz és/vagy gőz) a termelőkúton keresztül áramlik a felszínre, majd a kútfejszerelvény után, a hőközpontban elhelyezett hőcserélőben a termálvíz a szekunder körben áramoltatott folyadéknak átadja energiatartalmát. A szekunder körben áramló, felmelegített folyadék vagy gőz ezt követően közvetlen hőhasznosításra felhasználható. Ezután a lehűtött vizet valamilyen vízáramba, vagy vízgyűjtőbe elvezetik, ideális esetben visszasajtolják a vízáadó rétegbe. A termálvíz készlet megóvása érdekében a vízáadó rétegbe csak teljesen tiszta víz kerülhet visszasajtolásra, amihez megfelelő szűrőrendszer alkalmazására van szükség (Nagygál, 2017). A visszasajtoló rendszer általános felépítése a 10. ábrán látható.

10. ábra: A termálvíz visszasajtoló főbb egységei

(Forrás: Kurunczi, 2008)



2.11. Gáztalanítás kérdése

A termálvízben oldott gázok és ásványi anyagok leválasztása a felszínen mindenképpen szükséges. A magas ásványianyag-tartalmú vizeknél (mint például a szegedi termálvizeknél is) a rendszer elején történő gáztalanítás magas CH_4 és kísérő CO_2 esetében fizikai és kémiai problémákat okoz. Ennek egyik legfőbb oka, hogy a felső pannon folyami üledékes homokköveibe évezredek alatt nagy nyomáson és hőmérsékleten képződött, ásványi anyagokat és gázokat beoldott víz a kitermelés során veszít hőmérsékletéből, és nyomásából, így a megváltozott felszíni körülmények hatására oldott anyagokban gazdaggá válik. Ha a rendszer elején megtörténik a gázleválasztás, a víz gáz/víz egyensúlya felborul, így a leválasztott gáz helyett oxigén oldódik be a szabad légkörből, illetve a rendszer minden olyan részéből, ahol az oxigénmolekula átjut. Mivel a víz kémiai összetétele ideális esetben a felszín alatti oldott gázokkal (CH_4 , CO_2 , etc.) van egyensúlyban, így az egyensúly megborul, és a vízkő kiválás sokkal intenzívebbé válik. Emellett az oxigén oxidálja az ionos formában jelen lévő anyagokat, többek között a vasat, ezzel még intenzívebb vízkőkiválást előidézve.

Ennek elkerülése érdekében a gázt a hőhasznosítás végéig kényszerűen benne kell tartani a vízben, amit nyomástartással lehet megoldani. A nyomástartás mértéke az adott gázelegy oldhatósági nyomásától függ adott hőfokon, mely mérésekkel és számításokkal kerül alátámasztásra. Nyomástartással, valamint a termálvíz minél rövidebb ideig tartó felszínen tartózkodásával a vízkőkiválás kockázata jelentősen csökkenthető.

2.12. Lefűtött víz visszasajtolása

Az 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról, valamint az EU Víz Keretirányelv fontos célkitűzéseket fogalmaz meg vizeink állapotára vonatkozóan. A Víz Keretirányelvben hazánk vállalja, hogy felszíni és felszín alatti vizeink mennyiségi és minőségi állapotát 2027. december 31-ig jó állapotúra hozza. Ezen vállalás teljesítéséhez elengedhetetlen a kitermelt víz visszasajtolása, hiszen a felszín alatti vizek mennyiségi állapota, és a felszíni vizek minőségi állapota így fenntartható marad.

A víz felszín alá visszajuttatásának legfontosabb előnye, hogy a visszasajtolt termálvizet a tárolóban a forró közettest újra felmelegíti, és a termelő és visszasajtoló kútpár között folyó folyamatos átöblítéssel a tároló közet belsőenergia-tartalma is kitermelhető (Bobok és Tóth, 2010). Ennek folyamatát a 11. ábra szemlélteti.

11. ábra: Egy termelő és egy visszasajtoló kútból álló kétkutas alapmodell

(Forrás: Mádlné, 2006)

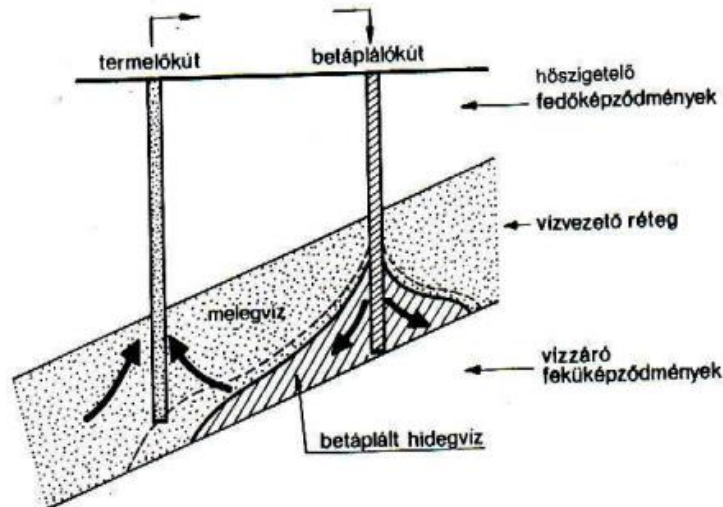


A 147/2010. (IV. 29.) Korm. Rendelet értelmében amikor kizárólag energiahasznosítás céljából történik a termálvíz kitermelése, rendelkezni kell a kitermelt víz elhelyezésének módjáról. Ilyenkor lehetőség szerint a kitermelt vizet vissza kell sajtolni ugyanazon vízadóba. Visszasajtolás esetén a vízhasználó a kitermelt ásványi nyersanyag és geotermikus energia után bányajáradékot fizet. Amennyiben nem történik visszasajtolás, gondoskodni kell a kinyert termálvíz biztonságos elhelyezéséről, melynek során állandó jellegű tavas vizes élőhelyek, többcélú víztározók létesíthetőek. Ebben az esetben a ténylegesen igénybe vett vízmennyiség után vízkészletjárulékot kell fizetni.

A sikeres visszasajtolás során fontos a termelő és visszasajtoló kutak optimálisan kicsi egymásra hatásának biztosítása, a Johnson szűrő körüli alábövítés és a kb. 10 cm vastag szűrőkavicsolás a szűrőnél. A megfelelő távolságban lefűrt termelő és visszasajtoló kutak visszasajtolás során létrejövő energiacseréjét szemlélteti a 12. ábra. Mesterségesen termeltetett kutak esetén a termálvíz felszínre hozatala, majd rétegbe történő visszasajtolása szivattyúk segítségével történik. Besajtolás során a lehűtött termálvíz a besajtoló kúton keresztül jut vissza a földalatti rétegbe, ahol a közettestben történő áramlás során annak belső energiáját átveszi, így a megnövekedett hőmérsékletű víz kitermelést követően ismét alkalmas hőenergia leadására.

12. ábra: A visszasajtolás során létrejövő energiacserére

(Forrás: Bobok, 2014)



A termálvíz rendszerek felépítésük szerint zárt vagy nyitott rendszerűek lehetnek. A zárt rendszereknél a geotermikus fluidum szivattyúval történő kitermelése és a hőcserélőkben való hőkivétele után visszasajtoló kutakon keresztül visszajut a felszín alatti rétegbe, így a termálvíz közvetlenül nem kering a fűtési rendszerben. Általában vízkőkiválásra hajlamos vagy agresszív kémiai viselkedésű termálvíznél alkalmazzák. A nyitott megoldásnál termálvíz kering a rendszerben, majd a felszínen, vagy a formációba visszasajtolva kerül elhelyezésre (Nagygál, 2017).

3. Alkalmazott módszerek

Mint azt a bevezetésben már felvázoltam, dolgozatomban a nemrégiben lemélyítésre került termálkút adatait felhasználva méretezem a termelő kútba beépítendő bűvárszivattyút, a két nagyobb hőcserélőt, valamint kitérek a szivattyú méretezése szempontjából fontos szerelvények, továbbá a csővezeték rendszerek kiválasztására is, majd gazdaságossági számításokat végzek a projekt megtérülésére vonatkozóan.

A bűvárszivattyú kiválasztása előtt mindenképpen szükséges a vízhozam mellett az emelőmagasság meghatározása (H_{em}), amihez számításba kell venni a rendszeren fellépő nyomásveszteségeket. Ez magába foglalja a termelőcsövön ($H_{tcső}$), a távvezetéken (H_{tv}), a könyököknél ($H_{könyök}$), a szerelvényeken (H_{sz}), a hőcserélőkben (H_{hcs}), és a visszasajtoló távvezetéken (H_{vv}) fellépő nyomásesés értékeket, valamint a gázkiválás megakadályozására fenntartandó nyomásértéket (H_g), melyeket összeadva kapjuk meg a felszíni veszteségeket. Ehhez hozzáadva a szivattyú üzemi vízszintjét ($\ddot{U}_{vsz}$) adódik az emelőmagasság. Esetünkben a kitermelt termálvizet a bűvárszivattyú juttatja el a visszasajtoló szivattyúig, így a szivattyúnak ezt a távolságot kell legyőznie.

$$H_{em} = H_{tcső} + H_{tv} + H_{könyök} + H_{sz} + H_{hcs} + H_{vv} + H_g + \ddot{U}_{vsz} \quad (1)$$

A folyadékok csőrendszerben történő áramlása során a vezetékben nyomásesés következik be, amelyhez több tényező is hozzájárul. A súrlódási veszteség számítása csővezetékben többféle módszerrel is történhet, ezek közül az egyik legelterjedtebb a Hazen-Williams empirikus összefüggés. Ebben az esetben a folyadék térfogatárama, a csővezeték belső átmérője, a felület érdessége és a csőhossz figyelembevételével számíthatjuk a súrlódási veszteségeket (Tóth, 2010).

A Hazen-Williams egyenlet a következőképpen írható fel (Osisanya, 2001):

$$H = \frac{10,67 \cdot L \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,8704}} \quad (2)$$

Ahol

H: nyomásveszteség a csőben (m)

L: cső hossza (m)

Q: folyadék térfogatárama (m^3/s)

C: felületi érdességi tényező

d: belső csőátmérő (m)

A felületi érdességi tényező értéke különböző anyagú csövek esetén eltérő, ezen értékek az alábbi táblázatban láthatók.

1. táblázat: A felületi érdességi tényező C értékei

(Forrás: Osisanya, 2001)

Anyag megnevezése	C értéke
PE	150
Horganyzott acél	140

A termálvíz kitermelése után a folyadék a termelőcsövön és a termálvizet szállító távvezetéken történő átáramlás után eljut a hőcserélőig, ahol szintén nyomásesés következik be. Az itt keletkező nyomáscsökkenés értéke a hőcserélő méretezésekor a gyártó által rendelkezésre bocsátott katalógusból kinyerhető. A hőcserélők méretezéséhez dolgozatomban a Bausoft által kifejlesztett „Hőcserélő méretező program” -ot használtam. A hőcserélő méretezésének egyik módja, hogy megadjuk a hőcserélőbe beérkező, valamint a hőcserélőből távozó primer, illetve szekunder oldali közegek hőmérsékletét, valamint az elérni kívánt hőteljesítményt. Ezek, és néhány egyéb kiegészítő információ alapján a szoftver megjeleníti azon hőcserélők listáját, amelyek a betáplált igényeket kielégítik. Ebből kerül ezután kiválasztásra a legmegfelelőbb hőcserélő.

Mivel a lakópark és a többi, a rendszerre rácsatlakoztatott fogyasztó összes hőigénye 8,0 MW, ezért egy igen nagy méretű hőcserélőre lenne szükség. Egy nagy hőcserélő helyett a könnyebb mozgathatóság, telepítés és karbantartás alatti kiszakaszolhatóság miatt előnyösebb két kisebb, azonos teljesítményű, párhuzamosan kapcsolt hőcserélő alkalmazása, így a méretezés során ezt vettem alapul.

A felszíni hőellátó rendszeren különböző szerelvények kerülnek beépítésre, melyeken szintén nyomásesés lép fel. A csővezetékbe beépített, 1” -nál kisebb méretű karmantyúk (hőmérséklet-, nyomástávadók, manométerek, hőmérők, mintavevő csapok, ultrahangos vízmennyiség mérők) nagyon kis mértékben játszanak szerepet az áramlás módosításában, ezért azok nyomásra gyakorolt hatása elhanyagolhatóan kicsi, így ezekkel számításaim során nem foglalkozom. Azonban az elzáró

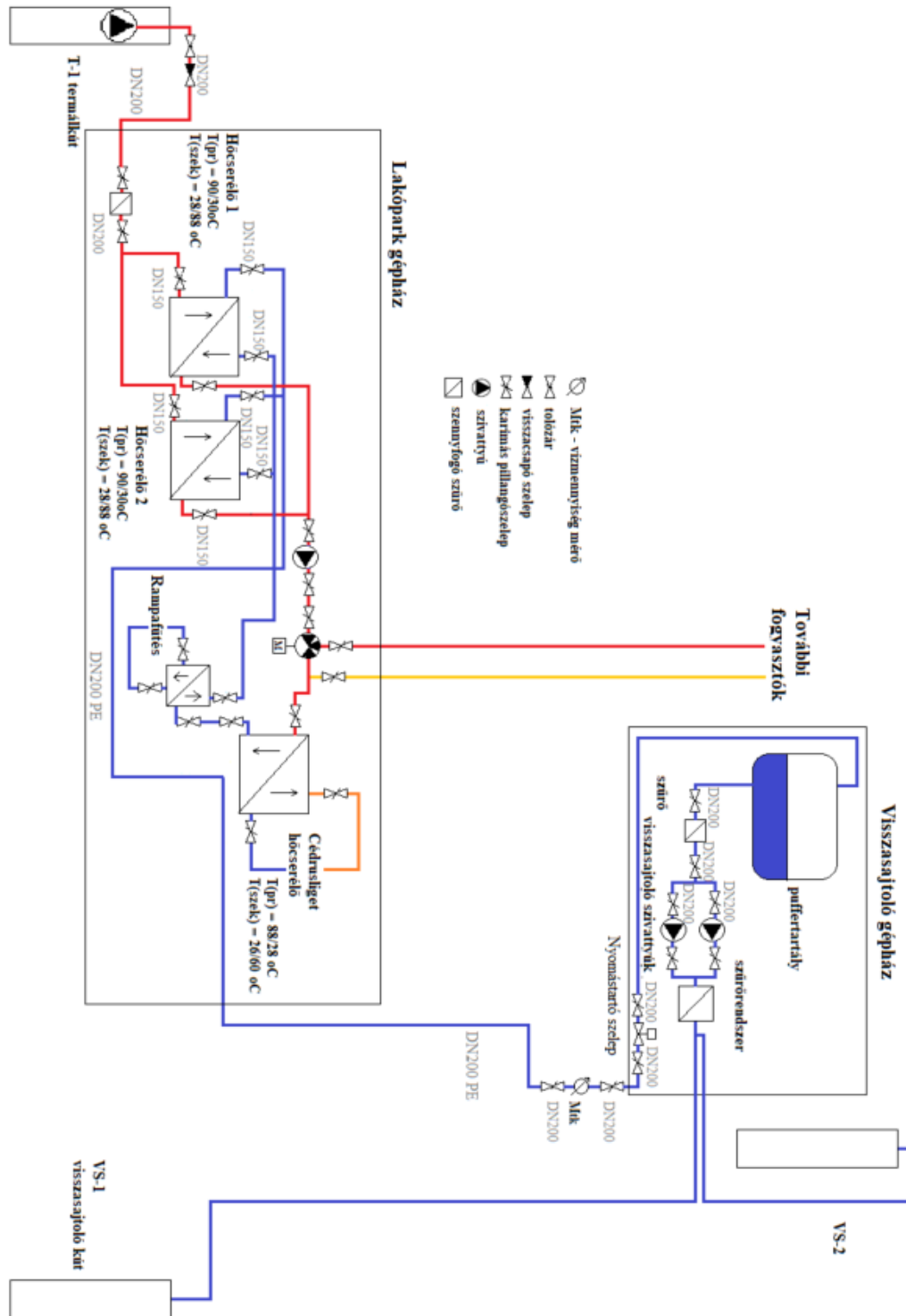
szerelvények (tolózárak), visszacsapó szelepek, nyomástartó szelepek, valamint pillangószelepek nyomáscsökkentő hatása nem hagyható figyelmen kívül.

Az MSZ 22116:2002 szabvány mellékletei alapján, (melyek tartalmazzák a kúfejkiképzési típusokat és szerelési tervüket) a kútfejszerelvény sornak tartalmaznia kell egy elzáró szerelvényt, egy visszacsapó szelepet, hőmérséklet és nyomásmérőt, mintavevő csapot és vízmennyiség mérőt.

Mivel a hőcserélőnek kiszakaszolhatónak kell lennie, ezért a be- és kilépő oldalon is szükség van elzáró szerelvényekre. Ezenkívül a hőcserélő előtt mindenképpen javasolt egy szennyszűrő használata, a hőhasznosítás végén pedig egy, a visszasajtoló gépházban elhelyezett nyomástartó szelep, ugyanis a hőcserélés után az eddig nyomás alatt tartott folyadék nyomását légköri nyomásra leengedve, valamint a termálvíz puffetartály vizébe csapódásának hatására valósul meg a gázkiválás, mely gáz összegyűjtést követően felhasználhatóvá válik.

A 13. ábrán a Cédrusliget lakóparkot és néhány további fogyasztót ellátó hőellátó rendszer kapcsolási rajza látható a kitermelő és visszasajtoló kutakkal, a lakópark gépházával és a visszasajtoló gépházzal. A rajz tartalmaz minden, nyomásvesztesség szempontjából jelentős szerelvényt, ám nem tartalmazza a nyomáskereső szempontjából elhanyagolható szerelvényeket.

13. ábra: Hőellátó rendszer kapcsolási rajza
(Saját szerkesztés)



4. Eredmények és értékelésük

4.1. Felszín alatti rendszer jellemzése

4.1.1. Termelő és visszasajtoló kutak fúrása

A Cédrusliget lakópark geotermikus hőellátásának kivitelezése 2021-ben kezdődött, és több, mint egy éven át tartott. A kivitelezés első fázisában a függőleges kutatófúrás (T-1) kialakítására került sor, melynek során a földtani adatok begyűjtése és kielemezése történt. Az adatgyűjtés elsősorban furadékminták gyűjtésével, geofizikai szelvényezéssel és magminta vételezéssel zajlott. Az így nyert információk alapján került meghatározásra a kutatófúrásból kialakítandó termelő kút végső szerkezete. A kivitelezés második fázisában egy ferdített technológiával mélyített kutatófúrás (VS-1) kialakítására került sor, melynek során szintén kielemezésre kerültek a földtani adatok. Az így nyert információk alapján került meghatározásra a kutatófúrásból kialakítandó visszasajtoló kút végső szerkezete. A kutatófúrások lemélyítése során nyert adatok egyértelműen igazolták, hogy az adott helyen létjogosultsága van egy hévíz termelő-visszasajtoló rendszernek. Ezt követően megtörtént a T-1 termelő kút víztermelésre, valamint a VS-1 visszasajtoló kút visszasajtolásra való átképzésére, illetve a VS-2 visszasajtoló kút lemélyítése. A vízföldtani kutatás során került sor a kúthidraulikai, hidrogeológiai tesztek elvégzésére.

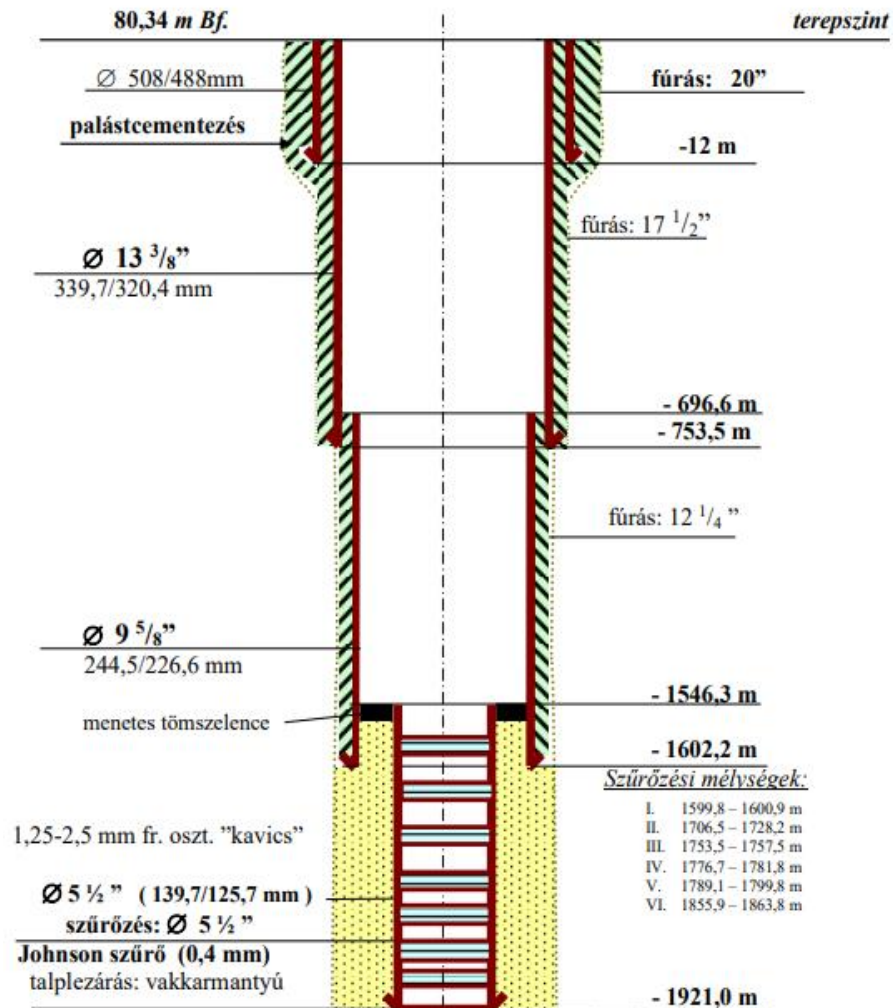
A termelő kút fúrása kvarter és pannon üledékes rétegeket tárt fel. A rétegsorban homok, aleurit és agyag, a mélyebb részeken aleurolit és agyagmárga rétegek váltakoznak egymással. 1610,4-1880,4 méter között felső-pannon rétegek találhatók.

A 14. ábrán a termelő kút végleges csövezési rajza látható. A termelő kútnál a 12 méter mélységbe ledöngölt 20” kezdő béléscső után a 17 ½”-os lyukszakasz fúrása következett, melyet 753 méter mélységig mélyítettek le. A 12 ¼” szakasz fúrása 1600 méter mélységig történt, melyet 9 5/8” béléscsővel csöveztek le, majd az 1992 méter mélységig lefúrt 8 ½” átmérőjű szakaszt 5 1/2” akasztott béléscsővel csövezték 1921 m-ig, a szűrőzött szakaszok 1600 és 1860 méter között kerültek kialakításra.

A visszasajtoló kutak szerkezete a 18. és a 19. ábrán tekinthetők meg.

14. ábra: T-1 jelű termelő kút szerkezete

(Forrás: Vízföldtani napló, 2022)



4.1.2. Adatok kigyűjtése, értékelése

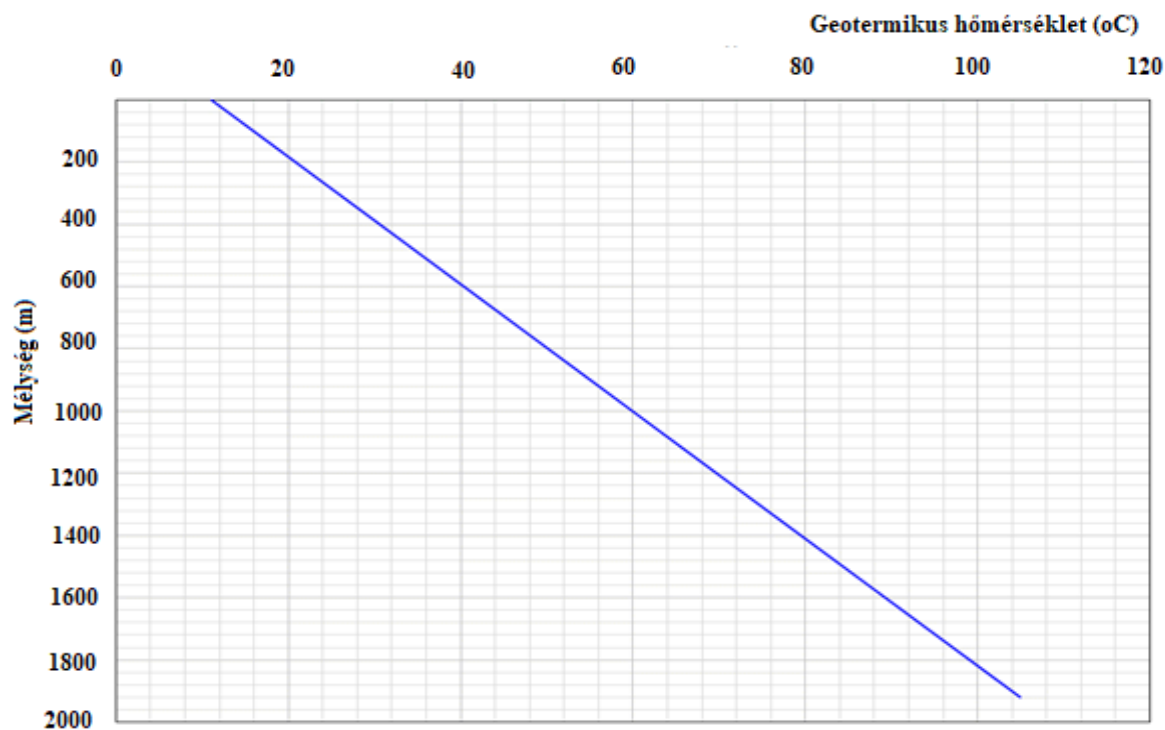
Egy geotermikus hőellátó rendszer tervezése során fontos, hogy pontos adatok álljanak rendelkezésünkre a kút szerkezetére és a temelési adatokra vonatkozóan. Ezek szinte teljes egészében megtalálhatóak az adott kút vízföldtani naplójában. A vízföldtani napló tartalmazza többek között a kitermelt fluidum hőmérsékletére és vízhozamára, üzemi és nyugalmi vízszintjére, továbbá a víz kémiai összetételére és gázösszetételére vonatkozó adatokat, valamint kinyerhető belőle a buborékponti nyomás értéke. Számításaimhoz az SZTFH Földtani Igazgatóság által 2022-ben készített, e161/2023 nyilvántartási számú T-1 jelű termelő kút vízföldtani naplóját használtam

fel. A távhőellátás rendszerének megtervezésekor az egyik legfontosabb feladat, hogy mindig rendelkezésre álljon akkora hőteljesítmény a hőforrásban, illetve a fogyasztónál, amely lehetővé teszi a fogyasztó hőigényének kielégítését. A fent említett adatok ismeretében meghatározható a termelő kútba elhelyezendő szivattyú típusa, ültetési mélysége, elvégezhető a hőcserélők, csővezetékek és egyéb szerelvények méretezése, továbbá meghatározható a gázleválasztás szükségessége.

A kút vizsgálata során meghatározásra került a talphőmérséklet, melynek értéke 1921 méter mélységben 105 °C, míg a felszíni hőmérséklet 11 °C. Ezen adatok grafikus ábrázolását a 15. ábrán szemléltetem.

15. ábra: Szimulált talpi hőmérséklet

(Saját szerkesztés)



A fent említett adatok ismeretében a geotermikus gradiens értéke számítható:

$$\text{Geotermikus gradiens} = \frac{\text{talpi hőmérséklet} - \text{felszíni hőmérséklet}}{\text{mélység}} \quad (3)$$

$$\text{Geotermikus gradiens} = \frac{105 - 11}{1921} \cdot 100 = 4.9 \text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m} \quad (4)$$

A számított érték összecseng a Szeged környékén előzőleg mért geotermikus gradiens értékekkel. A kútteljesítmény-mérés során a kifolyó víz hőmérséklete 92 °C, mely a lakópark gépházáig érve a fellépő veszteségek hatására körülbelül 90 °C-ra hűl le.

A nyomásemelkedési görbe alapján megállapítható a rétegnyomás, melynek értéke 151,6 bar, azaz 0,97 kg/liter 1600 méter mélységben.

A mérések megkezdése előtt megállapításra került a nyugalmi vízszint, mely 34,5 méter mélységben stabilizálódott.

A nyomásgradiens-mérés alapján a gáz kiválása 145 m mélységben csökkentette a víz sűrűségét, tehát a buborékpont 145 méterben került meghatározásra, így a búvárszivattyút a gázkiválás megakadályozására ezen mélység alá kell elhelyezni.

A búvárszivattyú ültetési mélységének meghatározása szempontjából fontos információ, hogy a 9 5/8” -os bélésű 696,6 méterben került akasztásra, felette 13 3/8” bélésű található. Ez a szivattyú leépítési mélységének alsó határa, ez alá méretbeli korlátozások miatt nem helyezhető a csőbúvárszivattyú.

A kútteljesítmény vizsgálata kompresszoros üzemmód mellett történt. Az állandó üzemben maximálisan kitermelhető víz mennyisége 2 m³/perc (120 m³/óra). Ennél nagyobb vízhozam nem megengedhető a kút esetleges károsodása, elhomokosodása miatt.

Az AQUALABOR Kft. akkreditált laboratórium által 2022. november 18-án a T-1 jelű kútra végzett gázvizsgálati jegyzőkönyv alapján a kitermelt fluidum fajlagos összes metántartalom 0,234 m³/m³. A 12/1997 (VIII.29.) KHVM rendelet értelmében az összes metántartalom szerint a vizsgált minta C gázfokozatba tartozik, ezért gáztalanításáról gondoskodni kell. A kitermelt termálvíz legnagyobb részben metánt tartalmaz.

A kitermelt folyadék sűrűsége 965 kg/m³, dinamikai viszkozitása 0,2714 x 10⁻³ Pas.

4.2. A hőellátó rendszer főbb műszaki egységei

Egy hőellátó rendszer általánosságban a következő főbb elemekből tevődik össze:

- Termálkút
- Búvárszivattyú termelőcsővel leültetve
- Távfűteték a kút és a hőközpont között
- Hőközpont hőcserélővel és keringető szivattyúval
- Visszasajtoló vezeték a lakópark és a visszasajtoló gépház között
- Visszasajtoló gépház visszasajtoló szivattyúkkal, szűrőkkel, puffer tartállyal, gáz leválasztással
- Vezeték a gépház és a visszasajtoló kutak között
- Visszasajtoló kutak
- Szerelvények

A termálkút fűrése során nyert információkat felhasználva a továbbiakban a felszíni rendszer főbb részeinek méretezésével foglalkozom.

4.2.1. Hőcserélők méretezése

A kitermelt termálvíz hőenergiáját hőcserélőn keresztül képes leadni. A T-1 termálkútból érkező víz a lakópark gépházában elhelyezésre kerülő hőcserélők primer oldalán 90 °C hőmérséklettel belépve képes felmelegíteni a szekunder körben áramló vizet, melynek hatására a termálvíz lehűl, míg a fűtési rendszer vize felmelegszik.

A lefűtött termálvíz ezután visszasajtolásra kerül a VS-1 és VS-2 kutakon keresztül, míg a felmelegített szekunder kör vize a lakópark fűtési hőcserélője, és a további fogyasztói hőközpontok felé folytatja útját. A lefűtött víz hőtartalma ezután tovább hasznosítható, így elegendő hő áll még rendelkezésre szükség esetén a lakópark rampájának fűtésére.

A hőcserélő méretezésénél a belépő és a kilépő víz hőmérsékletének különbségéből (60 °C) és a maximális tömegáramból (120 m³/óra) kiszámítható a hőcserélőn átadott hő.

Ez a

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T_m \text{ (kW)} \quad (5)$$

képlet alapján határozható meg, ahol:

c - a víz fajhője (kWh/kg K)

m - a fűtővíz tömegárama (kg/óra)

2 m³/perc=120 m³/óra, ami 0,965 kg/liter folyadéksűrűségeknél 115 800 kg/óra

ΔT_m - a termálvíz lehűlése (K)

$$Q = 0,001163 \cdot 115\,800 \cdot 60 = 8080 \text{ kW} \quad (6)$$

A hőcserélő kiválasztásánál a koszolódás miatt fellépő veszteségekkel kalkulálva ennél nagyobb, összesen 8,4 MW teljesítményértéket vettem alapul a két hőcserélőre, ami sorba kapcsolás esetén 2 darab 4,2 MW-os hőcserélőt eredményez.

A 2. táblázatban kerültek összefoglalásra azon adatok, amelyek ismeretében a hőcserélő méretezhető.

2. táblázat: Hőcserélő méretező programba betáplált adatok

(Forrás: Saját szerkesztés)

	1. Oldal	2. Oldal
Belépő hőmérséklet (°C)	90	28
Kilépő hőmérséklet (°C)	30	88
Hőteljesítmény (kW)	4200	
Vizsgálandó esetek:	Párhuzamos ágak száma: 1-1 darab	
	Primer közeg: víz	

A szoftveres számítások elvégzése alapján a következő tömített lemezes hőcserélő került kiválasztásra:

Danfoss által gyártott SONDEX típusú hőcserélő: S86-IS16-286-TMTL2*

Az elnevezés az alábbiakra utal (Datasheet, Danfoss):

S – tömített lemezes hőcserélő

86 – hőcserélő típusa

IS – keret típusa. Esetünkben suspension roller = felfüggesztett görgős

16 – hőcserélő tervezett nyomása: 16 bar

286 – lemezek száma

TMTL2 – ebben az esetben a hőcserélő kombinálja a TM (közepes termikus hosszúságú) és a TL (hosszú termikus hosszúságú) csatornákat. A TL csatornák részesedése az összes csatorna számának 2%-a.

Ezen típusú hőcserélők 180 °C hőmérsékletig, és 16 bar üzemi nyomásig alkalmazhatók, különböző folyadékok esetén. A választott hőcserélő anyaga titánium ötvözetű acéllemez, amely képes ellenállni a termálvíz korróziójának. Térfogatárama: 60,11 m³/óra. Mivel két, párhuzamosan kapcsolt hőcserélő lett tervezve, így azokon összesen 120,22 m³ víz tud keresztuláramlani óránként, ami ki tudja elégíteni a maximális 120 m³/óra ütemet.

286 darab lemez felületének összege adja azt a hőátadó felületet, ahol a térfogatáram viszonyoknak megfelelően a kívánt hőcsere megtörténik, és a szükséges, egyenként 4,2 MW hő átadható.

A hőcserélő 2095 mm keret hosszúságú (L), 608 mm szélességű (W), 2350 mm magasságú (H), 2711 kg súllyal. A csatlakozás típusa 6" (151,4 mm).

A választott 4,2 MW hőcserélő részletes, dimenzióira vonatkozó adatlapja a 1. számú mellékletben megtalálható.

Mivel a lakópark hőigénye 6 MW, ezért az épületek felé továbbáramló víz hőjének levételéhez egy ekkora teljesítményű hőcserélő szükséges.

Ugyancsak 60 °C primer oldali hőfoklépcsővel számolva, valamint figyelembe véve a lakópark modern fűtési rendszerében áramló 60 °C víz hőmérsékletet, az adatok a 3. táblázat szerint alakulnak.

3. táblázat: Hőcserélő méretező programba betáplált adatok

(Forrás: Saját szerkesztés)

	1. oldal	2. oldal
Belépő hőmérséklet (°C)	88	26
Kilépő hőmérséklet (°C)	28	60
Hőteljesítmény (kW)	6000	
Vizsgálandó esetek:	1 darab	
	Primer közeg: víz	

A szoftveres számítás elvégzése után a következő tömített lemezes hőcserélő került kiválasztásra:
SONDEX: S86-IS16-154-TK*

A hőcserélő ugyancsak Danfoss által gyártott SONDEX* típusú, amely 180 °C hőmérsékletig és 16 bar nyomásig üzemképes. Itt 154 darab lemez szükséges a kívánt hőteljesítmény átadásához.

A TK a rövid termikus hosszra (short thermal length) utal.

A 6 MW-os hőcserélő részletes adatai a 2. számú mellékletben, valamint egy tipikus hőcserélő fényképe a 3. számú mellékletben megtalálhatók.

4.2.2. Gáztalanítás, metán elégetése

Mivel a metán gáz a vízben rosszul oldódik (apoláris gáz), ezért légköri nyomáson jelentős része azonnal kioldódna a vízből, mely a 2.11. fejezetben ismertetett okok miatt jelentős vízkövesedéshez vezetne. Ennek megakadályozására a rendszeren minimum 8,5 bar nyomást kell tartani a hőhasznosítás végéig, majd a visszasajtolást megelőzően a víz metán tartalmát a 12/1997. (VIII. 29.) KHVM rendelet (a termelt és szolgáltatott vizek gázmentesítéséről) szerint valamilyen gáztalanítási eljárással C fokozatról (>10 liter/ m^3) legalább B fokozatra (0,8-10 liter/ m^3) kell csökkenteni. Ez a visszasajtoló gépházban lévő puffertartály előtt lévő nyomástartó szeleppel valósítható meg, melyen áthaladva a víz elveszíti nyomását, így az oldott metán és egyéb gázok jelentős része azonnal kioldódik. A gázkioldódás tovább javítható a víz puffertartály víztükrébe csapódásával, melynek mechanikai hatására a vízből további, még oldott állapotú gáz szabadul fel. A kioldódott gáz összegyűjtést követően tovább hasznosítható. Ezzel csökkenthető a levegőbe hasznosítás nélkül bekerülő, üvegházhatást okozó metán mennyisége. A kitermelt termálvíz fajlagos összes metántartalma $0,234 m^3/m^3$. A 12/1997. (VIII. 29.) KHVM rendelet értelmében maximum $0,010 m^3/m^3$ metántartalom megengedett, így minimum $0,224 m^3/m^3$ CH_4 leválasztásra kerül. Az óránként kitermelt $120 m^3$ termálvízből $26,9 m^3$ CH_4 -gáz kerül leválasztásra, melynek fűtőértéke 747,8 MJ, mely 207,7 kWh-nak felel meg (a számításhoz a távhőszolgáltató által megadott $27,8 MJ/m^3$ fajhőt vettem alapul). Ez éves szinten $116\,208 m^3$ metánt és 897,3 MWh-t eredményez. A Szeged városában a Geo-Hőterm Kft. részére 2023-ban a Magyar Közlöny 139. számában meghatározott értékesítési hődíj 6819 Ft/GJ, melyet felhasználva azt kapjuk, hogy 1 MWh hő 24 548 Ft-ért értékesíthető. Így a gáz leválasztásával és elégetésével évente akár ~22 millió Ft extra bevételhez juthat a szolgáltató.

A leválasztott gáz legnagyobb mennyiségben metánt tartalmaz, ezenkívül kis mennyiségben nitrogént és szén-dioxidot. Mivel ezen összetevők aránya alacsony, ezért ezeket a számításaim során elhanyagoltam.

Metán gáz elégetésekor szén-dioxid és víz keletkezik. A folyamat a következőképpen játszódik le:



1 mol CH₄ elégetésekor 1 mol CO₂ keletkezik.

A 7. egyenlet moláris tömegekkel:

$$(12 + 1 \cdot 4) \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 2 \cdot 2 \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = (12 + 2 \cdot 16) \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 2 \cdot (1 \cdot 2 + 16) \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad (8)$$

A 8. egyenletből látható, hogy 16 g metán elégetésekor 44 g szén-dioxid képződik.

Az egy év alatt leválasztott 116 208 m³ metán gáz (sűrűsége 0,657 kg/m³) tömege:

$$m = \rho \cdot V = 0,657 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 116\,208 \text{ m}^3 = 76\,348,7 \text{ kg} = 76\,348\,700 \text{ g} \quad (9)$$

Ha 16 g CH₄ elégetésekor 44 g CO₂ szabadul fel, akkor:

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{44}{16} \cdot 76\,348\,700 \text{ g} = 209\,958\,925 \text{ g} = 209,96 \text{ t} \quad (10)$$

Tehát 209,96 tonna CO₂ szabadul fel a leválasztott metán elégetésekor.

Ezzel szemben, mivel a metán 25x erősebb üvegházhatású gáz, mint a szén-dioxid (Artaxo et al., 2014), az közvetlenül, elégetés nélkül a légkörbe engedve:

$$m_{\text{CO}_2\text{eq}} = 25 \cdot 76\,348\,700 \text{ g} = 1\,908\,717\,500 \text{ g} = 1908,72 \text{ t} \quad (11)$$

CO₂ kibocsátást eredményez.

A két adatot összehasonlítva egyértelműen látható, hogy a metánt légkörbe történő engedés helyett elégetve 9x kevesebb CO₂ jut a levegőbe.

4.2.3. A búvárszivattyú méretezése

Kiemelési mélység és szivattyú ültetési mélység meghatározása

A T-1 jelű kútból kitermelni kívánt termálvíz felszínre hozatalához csőbúvárszivattyú szükséges. A víz kiemelési mélységének és ültetési mélységének meghatározásához a Cédrusliget lakópark területén lefúrt, B-557 kútkataszteri sorszámu T-1 jelű termálvíz-kút vízföldtani naplójában szereplő adatokat használtam fel.

- Kút nyugalmi vízszint: 34,5 méter
- Buborékpont: 145 méter
- Üzemi vízszint: 160 méter
- Szállítandó fluidum térfogatárama maximum: 2 m³/perc
- A kitermelt fluidum hőmérséklete: maximum 92 °C

A búvárszivattyú kiemelési mélységének meghatározása a kútból az üzemi vízszint alapján történik, mely 2 m³/perc hozam mellett 160 méterben stabilizálódott. Az alatta lévő vízoszlop a szivattyú ültetési mélységéig, valamint a termelőcsőben lévő termelvény 160 méter alatt a kapilláris elvén kiegyenlítődik, itt nincs szükség a szivattyú munkavégzésére.

Ezután meg kell határozni, hogy milyen mélységben kerüljön leültetésre a szivattyú, amely a felszínre hozza, majd elszállítja a folyadékot a visszasajtoló gépházban elhelyezésre kerülő visszasajtoló szivattyúig. A szivattyú indítása mindig a kút vízszint csökkenésével jár mindaddig, amíg a rétegnyomás hatására a beáramlás a szűrőkön nem épül fel, és így elkezd visszatölteni a kutat a termelés mennyiségével arányos üzemi vízszintig, azaz 160 méterig. Mivelhogy a kút beindítása lehűlt állapotból történik, ezért a nyugalmi vízszint (34,5 méter) értékéhez hozzáadva a 145 méterben mért buborékpontot azt kapjuk, hogy hideg indításkor a buborékpont 179,5 méter mélységben lesz. A kút beindításának pillanatában a szivattyú a vizet a csőből kezdi el kiszívni, a rétegnyomás csak néhány perc elteltével kezdi visszatölteni a kutat, ezért fontos, hogy 179,5 méternél mélyebbre kerüljön a szivattyú. Mivel a 13 3/8" béléscső kapacitása 0,0808 m³/méter, és a szivattyú 1,7 m³/percnél kisebb ütemmel nem működtethető, valamint a kút visszatöltődéséhez akár 5 percre is szükség lehet, így azt kapjuk, hogy a szivattyú percenként 21,0 méterrel csökkenti a vízszintet, ami 5 perc elteltével 105,1 méter szintcsökkenéshez vezet. Ezek alapján a 179,5 méterhez hozzáadva megkapjuk a szivattyú tervezett ültetési mélységét, ami 284,6 méter.

Biztonsági okokból érdemes a szivattyút valamivel mélyebbre, legalább 300 méter mélységbe leültetni.

Nyomásveszteség számítása a termelőcsőben

A bűvárszivattyú termelő kútba történő beépítése az olajiparban is használt acél termelőcsővel történik. A termelőcsőből többféle méretben is rendelkezésre áll, így megvizsgáltam, hogy mekkora nyomásveszteség lép fel az általánosságban használt 4 ½”, illetve az 5 ½” külső átmérőjű acélcső esetén. Mivel a szivattyú az üzemi vízszinttől emel, ami 160 méterben van, így ezt a termelőcső hosszt kell felhasználni a termelőcsővön fellépő nyomásesés kiszámítására.

A kútvizsgálat során kinyert adatokat felhasználva először a 4 ½” termelőcsőben fellépő nyomásesést számoltam ki a Hazen-Williams formula alapján:

L: termelőcső hossza (m)

Q: vízhozam (m³/s)

C: felületi érdességi tényező (1. táblázat)

d: belső csőátmérő (m)

$$H_{\text{tcső 4 12}} = \frac{10,67 \cdot 160 \cdot 0,033^{1,85}}{140^{1,85} \cdot 0,097^{4,8704}} = 28,3 \text{ m v. o} \quad (12)$$

Ezekután az 5 ½” termelőcsőben fellépő nyomásveszteséget számítottam, mely 0,1257 m belső átmérővel kalkulálva 8,0 méter vízoszlopot eredményez, ami jelentős különbség a nyomásesés értékében. Ezek alapján az általam kiválasztott cső az API szabvány szerinti különlegesen ötvöztött 5 ½" olajipari termelőcső, RANGE3 méret szerint, Buttress menetes kötésekkel, mely a kútfúrásban és a szivattyú leépítésekben járatos csőtípus.

Nyomásveszteség számítása a termelő kút és a hőközpont közötti távvezetékben

A termelő kutat a lakópark hőközpontjától 492 méter hosszú, előreszigetelt acél csővezeték köti össze (ez a hossz a tényleges lefektetett csőhosszból származik). Az alábbiakban megvizsgálom, hogy mekkora méretű cső lenne a leginkább alkalmas a termálvíz szállítására ezen a szakaszon. Először kiszámolom a DN200/315 csővezeték nyomásesésének alakulását.

A választott haszoncső paraméterei a 4. táblázatban láthatók, ahol:

DN: Acélcső névleges átmérője (mm)

D_s: Acélcső külső átmérője (mm)

T: Névleges falvastagság (mm)

D_c: Burkolat (hőszigetelés) külső átmérője (mm)

4. táblázat: DN200/315 előreszigetelt acélcső adatai

(Forrás: Yalcinboru)

DN	D _s	T	D _c
200	219	4,5	315

A táblázatban fellelhető értékek alapján a cső belső átmérője $0,219 \text{ m} - 2 \cdot 0,0045 \text{ m} = 0,21 \text{ m}$.

A megadott vezetékosszt és a kitermelt víz térfogatáramát felhasználva a Hazen-Williams képlet a következőképpen alakul:

$$H_{\text{tv}} = \frac{10,67 \cdot 492 \cdot 0,033^{1,85}}{140^{1,85} \cdot 0,2105^{4,8704}} = 2,0 \text{ m v. o.} \quad (13)$$

DN150/250 előreszigetelt acél csővezetéknel ugyanezt a számítási módszert alkalmazva 6,7 m v. o. nyomásesést tapasztalnánk, így célszerű a kisebb ellenállású, DN200/305 előreszigetelt acélcsövet választani.

Nyomásveszteség könyöknél, T idomnál

A 15. ábrán látható nyomvonal alapján legalább 19 darab könyökre lesz szükségünk, ezek nyomásesése összesen:

$$H_{\text{könyök}} = 19 \cdot \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = 19 \cdot 1,3 \cdot \frac{965}{2} \cdot 0,953^2 \cdot 10 = 1,1 \text{ m v. o.} \quad (14)$$

Ahol

ζ: alak ellenállási tényező

v: folyadék áramlási sebessége (m/s)

ρ: folyadék sűrűség (kg/m³)

T idomból 2 darabra lesz szükség, ezek nyomáskereső értéke elhanyagolhatóan kicsi.

Nyomásvesztés számítása a szerelvényeken

A kútfejtől tervezett DN200-as acél távvezeték használata miatt DN150, és DN200-as méretű szerelvények választása célszerű. A Kvs-érték megadja az adott szelepen vagy berendezésen 1 bar nyomáskülönbség hatására átáramló térfogatáramot $\text{m}^3/\text{óra}$ -ban. Ez alapján számítható a szerelvényen fellépő nyomáskereső értéke.

A tolózár feladata a csővezeték-hálózat vagy a rendszer biztonsági lekapcsolása, illetve az áramlás korlátozása. Mivel csak teljes nyitásra vagy zárásra alkalmasak, ezért kis ellenállást tanúsítanak. Az általam választott, KSB által gyártott DN200-as méretű tolózár Kvs-értéke (teljesen nyitás esetén) $3702 \text{ m}^3/\text{óra}$. Ez alapján $120 \text{ m}^3/\text{óra}$ tárfogatáram esetén a nyomáskereső értéke 0,03 bar.

Mivel a tervezett 4,2 MW-os hőcserélők karimacsatlakozása DN150-es, ezért a hőcserélők előtt és után ekkora méretű pillangószelepek beépítése javasolt.

Pillangószelepeknél a Zetkama gyártó szelepeire esett a választásom, amelyek képesek ellenállni a magas termálvíz hőmérsékletnek és nyomásnak, és elérhetők mind DN150, mind DN 200-as kivitelben. A DN150-es pillangószelep KV-értéke $1680 \text{ m}^3/\text{óra}$, míg a DN200-asé $2800 \text{ m}^3/\text{óra}$ (Zetkama, 2022). Ebből az következik, hogy az előbbin $120 \text{ m}^3/\text{óra}$ térfogatáramnál 0,07 bar nyomáskereső, míg az utóbbin 0,04 bar nyomáskereső lép fel. A szerelvényesorokon összesen minimum mintegy 5 darab DN200-as és 2 darab DN150-es méretű pillangószelep kerül beépítésre, így az összes fellépő nyomáskereső értéke a pillangószelepeken 0,43 bar, azaz 4,3 m. v. o.

A kútfejszerelvény kötelező eleme a visszacsapó szelep, melyből a Returvent által gyártott, DN200-as méretben is elérhető, karima közé építhető rugós visszacsapó szelepet választottam, melynek KV-értéke 350, így tehát a nyomáskereső értéke 0,34 bar.

A nyomástartó szelep kiválasztásánál figyelembe vettem, hogy minimum 9 bar differenciális nyomásra van szükség, így választásom az ARI-STEVI Pro 470/471 típusú DN150 karimás szabályozószelepre esett, melynek KV-értéke 400, így a szelepen $120 \text{ m}^3/\text{óránál}$ 0,75 bar nyomáskereső lép fel.

A hőcserélő előtt beépítendő, Sferaco DN200 karimás acél ferdeházas szennyszűrő célja, hogy a karbantartás során bekerült durva szennyeződések kiszűrje, nyomáskereső 0,16 bar (Kvs érték $752 \text{ m}^3/\text{óra}$).

Tehát a szerelvényeken fellépő összes ellenállás értéke:

5. táblázat: Szerelvényeken fellépő nyomásesés

(Forrás: Saját szerkesztés)

	DN150	Nyomásesés (m v.o)	DN200	Nyomásesés (m v.o)
Tolózár			1	0,3
Pillangószelep	2	0,7	11	0,4
Visszacsapó szelep			1	3,4
Nyomástartó szelep	1	7,5		
Szűrő			2	1,6
Összesen (H_{sz})	20,2 m v. o.			

Nyomásveszteség számítása a hőcserélőn

A hőcserélőn átfolyó folyadék az áthaladás közben veszít nyomásából.

A kiválasztott hőcserélő adatlapja tartalmazza a nyomásesés értékére vonatkozó adatokat. A termálvíz a primer oldalon áramlik keresztül, így a búvárszivattyú méretezésekor annak nyomásesését kell közelebbről vizsgálnunk. A teljes primer oldali nyomáscsökkenés a csonkokon történő nyomásesést is figyelembe véve a gyártó adatai alapján 0,213 bar, azaz 2,1 m vízoszlopnak felel meg (H_{hcs}).

Nyomásveszteség számítása a visszasajtoló gépházig

A hőcserélők után beépített, lefűtött termálvíz visszajuttatását a visszasajtoló kutakhoz az 508 méter hosszú KPE csővezeték biztosítja (a csőhossz értéke itt is a valóságban lefektetésre került cső hosszúságával azonos). Erre a célra egy termálvíz elvezetésnél általánosan használt D200 KPE cső került kiválasztásra 16 bar névleges nyomással, SDR 11 értékkel (D200 PN16 SDR11), melyen a következő nyomásesés lép fel:

H_v: nyomásveszteség (m)

L: vezeték hossz (m)

Q: vízhozam (m³/s)

C: felületi érdességi tényező (1. táblázat)

d: belső csőátmérő:

Külső csőátmérő: 200 mm

Falvastagság: 20,2 mm

Belső csőátmérő: 200- (2 x 20,2) = 159,6 mm

$$H_{vv} = \frac{10,67 \cdot 508 \cdot 0,033^{1,85}}{150^{1,85} \cdot 0,1596^{4,8655}} = 7,1 \text{ m v. o.} \quad (15)$$

Nyomástartás a gázkiválás megakadályozására

A metán gáz kiválásának megakadályozására a rendszeren minimum 8,5 bar nyomást kell tartani (tényleges mérésekkel alátámasztott, a lakóparknál alkalmazott érték alapján), mely 85 méter vízoszlopnak felel meg, melyet a számítások során szintén figyelembe kell venni.

Emelőmagasság számítása

A 6. táblázatban látható a fentebb számolt nyomásesések összegzése, mely alapján összesen 28,55 bar, azaz 285,5 méter emelőmagaságú szivattyúra van szükségünk.

6. táblázat: Emelőmagasság számítása

(Forrás: Saját szerkesztés)

Üzemi vízszint ($\ddot{U}_{vsz}$)	160,0 m
Nyomásveszteség az 5 ½” termelőcsőben ($H_{tcső}$)	8,0 m
Nyomásveszteség a távvezetéken (H_{tv})	2,0 m
Nyomásveszteség könyöknél, idomnál ($H_{könyök}$)	1,1 m
Nyomásveszteség a szerelvényeken (H_{sz})	20,2 m
Nyomásveszteség a hőcserélőn	2,1 m
Nyomásveszteség a visszasajtoló gépházig (H_{vv})	7,1 m
Nyomástartás a gázkiválás megakadályozására (H_g)	85 m
Összesen (H_{em})	285,5 m

Csőbúvárszivattyú kiválasztásának megfontolásai

A termálvíz kitermelési gyakorlatban hazánkban a Grundfos, Ebara, Wilo, KSB csőbúvárszivattyúk terjedtek el. A szivattyú típusának kiválasztása a gyártók által kínált katalógusokból történik. A magyar gyártmányú szivattyúk legnagyobb hátránya, hogy a gyártók mindösszesen 90 °C víz hőmérsékletig tudnak szivattyút ajánlani, Franklin motorral kombinálva. A felvázolt rendszernél szükséges búvárszivattyú működtetéséhez szükséges motort azonban a Franklin nemrégiben visszaminősítette 75 °C fokos közeg hőmérsékletre, melyből az következik, hogy a hazai piacon elismert szivattyú gyártók jelenleg nem tudnak megfelelő búvárszivattyút biztosítani nagy hőmérsékletű termálvizekhez.

Ezen okból kifolyólag fel kellett keresnem olyan olajiparban alkalmazott szivattyú gyártókat, akik a jelen esetben fennálló igényeknek megfelelő búvárszivattyúkat tudnak gyártani. Az olajiparban alkalmazott búvárszivattyúk nagy előnye, hogy igen magas közeghőmérséklet esetén is alkalmazhatók, megemelt motorfeszültséggel. Mivel speciális eljárású tekercselést alkalmaznak, így a motor extrém magas hőmérsékletet is kibír, ezáltal több száz méter mélységre is leépíthetők. Emellett nagy előnyük, hogy el vannak látva olyan védelemmel, ami meggátolja, hogy a motortengely mellett a folyadék betörjön a motorba és meghibásodást okozzon. Gyártás során

extrém vízkémiára kovácsolt járókerekeket alkalmaznak, különös figyelmet szentelve a víz gáztartalmának is.

Több, nemzetközileg elismert olajipari szivattyú gyártó cég közül a választásom a REDA típusú csőbúvárszivattyúra esett. Ez a szivattyú képes a folyadékot 160 méter mélységből 2880 m³/nap hozammal (a termálvíz gáztartalmát is figyelembe véve 2958 m³/nap hozammal) 285,5 méterre emelni, emellett képes „ellenállni” a termálvízben jelen lévő gázoknak azáltal, hogy a speciális geotermiájú, furatolt szivattyú lapátokon keresztül a gáznak lehetőséget biztosít a feláramlásra.

A kiválasztott szivattyú pontos típusa: REDA 675 JN21000.

A kiválasztás során a szivattyú egy fokozatára vonatkozó jelleggörbéjén bejelölésre került az adott térfogatáramhoz tartozó emelőmagasság, mely 9,8 méter (16. ábra). A fentebb számolt 285,5 méteres emelőmagassághoz tehát

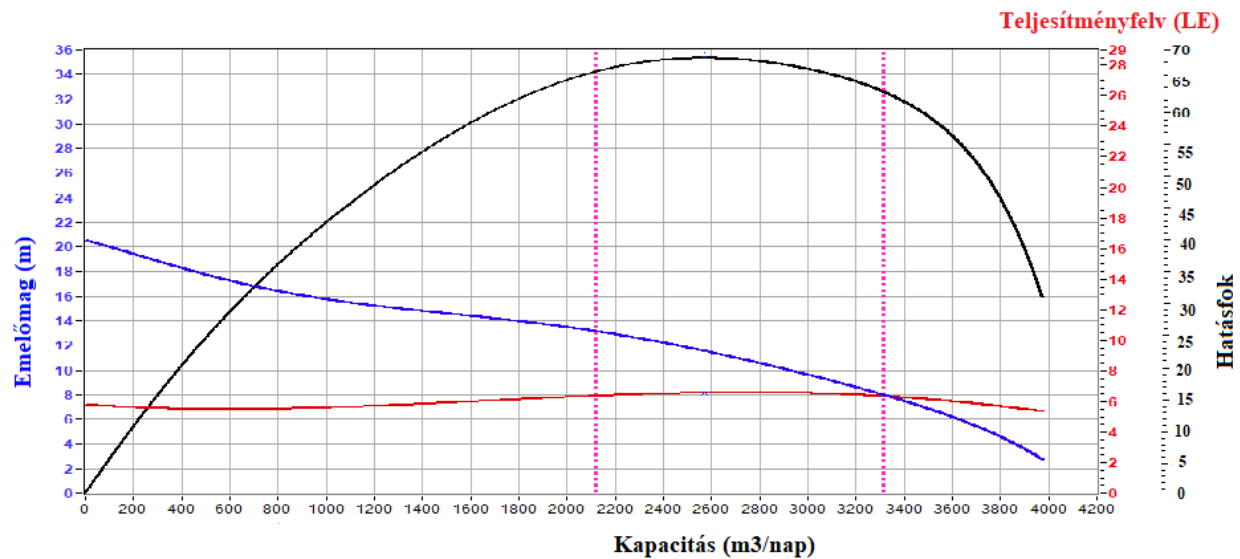
$$\frac{285,5}{9,8} = 29,1 \quad (16)$$

Azaz 30 fokozatú szivattyú szükséges.

A 285,5 méter emelőmagasságra és a 2880 m³/nap vízhozamra tervezett szivattyút az optimális üzemeltetés érdekében 50 Hz frekvencián kell működtetni. A termelő kútból frekvenciaváltóval szerelt fordulatszám szabályozással a mindenkori vízigénynek megfelelő percenkénti 1700 L vízmennyiség termelhető ki nem kevesebb, mint 40 Hz-en.

16. ábra: REDA 675 JN21000 csőbúvárszivattyú jelleggörbéje

(Forrás: slb ESP szimulátor, Saját szerkesztés)



A 17. ábra a 30 fokozatú REDA JN21000 szivattyú H-Q görbéje, amely az emelőmagasság és a vízhozam ismeretében kijelöli a jelleggörbén a munkapontot, amely az optimális tartományon belül található. Az ábráról leolvasható továbbá a szivattyú teljesítményfelvétele, amely 197 HP, míg hatásfoka 67%.

17. ábra: 30 fokozatú REDA JN21000 szivattyú jelleggörbéje
(slb ESP szimulátorral, Saját szerkesztés)



4.2.4. Visszasajtolás

A Cédrusliget lakópark gépházában elhelyezésre került hőcserélőkön átáramló termálvíz hőjének leadása után a visszasajtoló gépházba kerül, ahol a nyomástartó szelepen a víz nyomásának légköri nyomásra ejtését követően a puffer tartályba jut.

A visszasajtoló gépházban lévő visszasajtoló rendszer főbb elemei a következők:

- Visszasajtoló szivattyúk, és szűrők
- Visszasajtoló puffer tartály
- Gázleválasztás, gáz összegyűjtés
- Vezeték a gépház és a visszasajtoló kutak között
- 2 darab visszasajtoló kút

Visszasajtoláshoz két darab visszasajtoló szivattyúra van szükség, így valamely szivattyú meghibásodása esetén nem szükséges az egész rendszer leállítása, csupán kiszakaszolása.

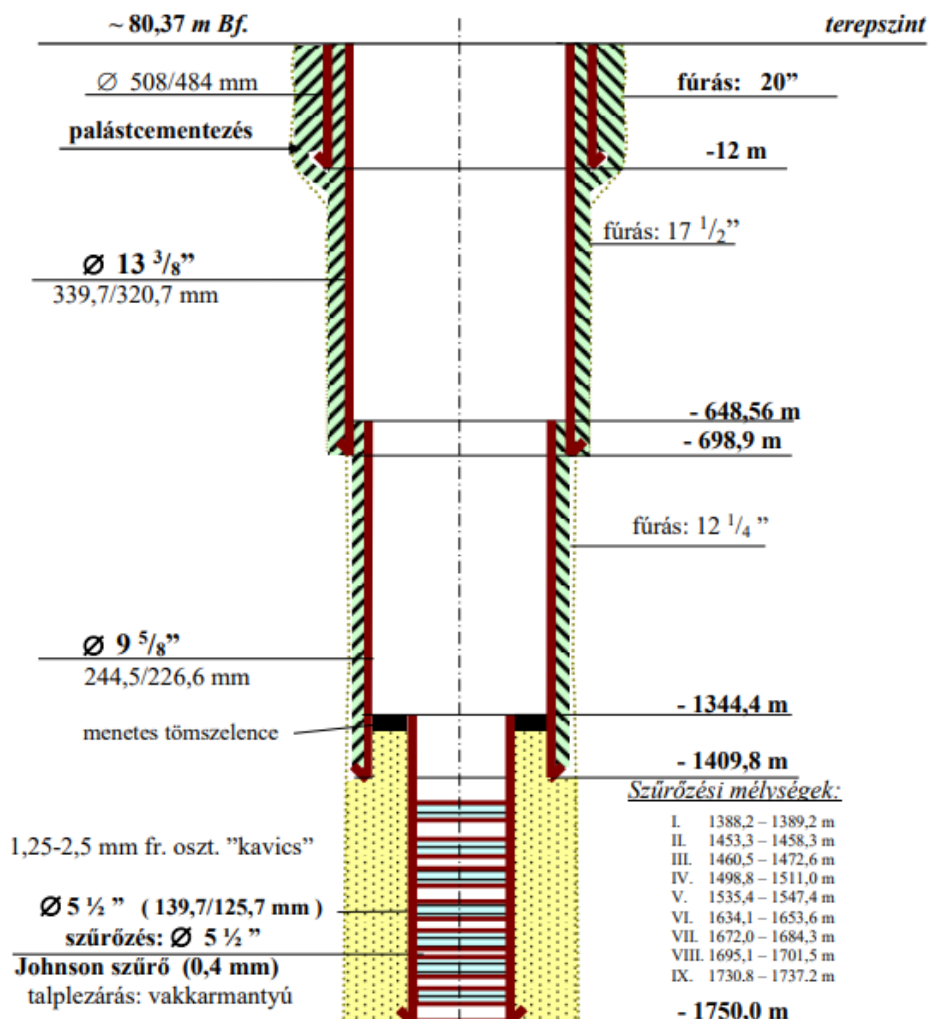
A puffer tartály szerepe, hogy biztosítsa a lefűtött termálvíz folyamatos és egyenletes visszasajtolását.

A termelő kút közelében kialakított visszasajtoló kutakon (VS-1 és VS-2) keresztül a jogszabálynak megfelelően a lefűtött termálvíz visszakerül ugyanabba a felső-pannon rétegbe, ahonnan kitermelésre került. Ez elsősorban a geotermikus energiával történő energiaellátás fenntarthatósága miatt fontos, továbbá ekkora plusz vízmennyiséget a meglévő közműhálózat nem képes befogadni a lakossági szennyvízelhelyezéssel párhuzamosan. Ezenkívül jelentős szempont, hogy a termálvíz felszíni elhelyezése erősen környezetkárosító. Ezen okok miatt a kitermelt termálvíz visszajuttatásához visszasajtoló kutakra van szükség.

A visszasajtoló kutak ferde fúrási technológiával mélyültek, hasonló kútszerkezettel, mint a termelő kút (18. ábra). A VS-1 visszasajtoló termálkút a fent említett kísérleti kútpárból került átképzésre. A VS-1 kút végleges talpmélysége 1750 méter, a szűrőzött szakaszok 1388,2 és 1737,2 méter között kerültek kialakításra.

18. ábra: VS-1 jelű visszasajtoló kút szerkezete

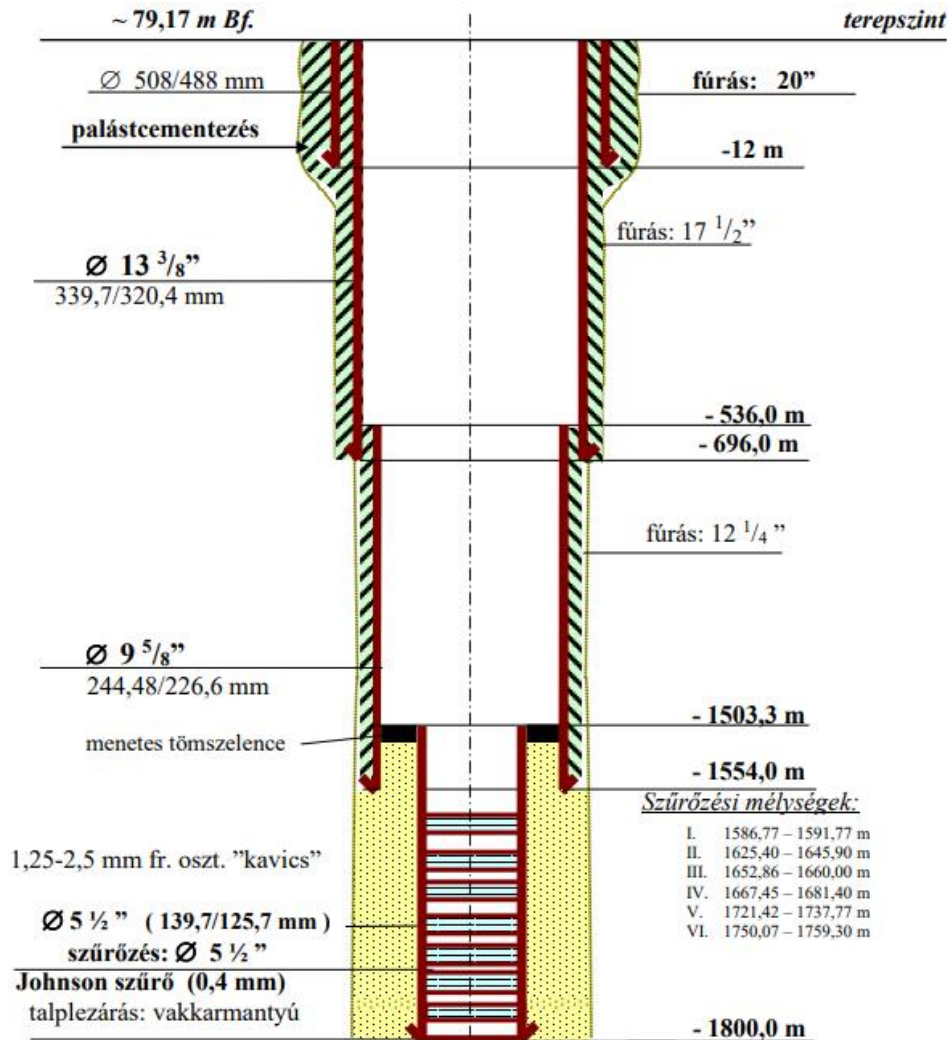
(Forrás: Vízföldtani napló)



A VS-2 visszasajtoló termálkút a Csemegi-tó melletti területen került lemélyítésre. A kivitelezési munkálatok 2021. szeptemberétől december végéig tartottak, a kút végleges talpmélysége 1800 méter lett, és 1586,8-1759,3 méter között szűrőzték (19. ábra).

19. ábra: VS-2 jelű visszasajtoló kút szerkezete

(Forrás: Vízföldtani napló)



4.3. Gazdaságossági számítások

4.3.1. Alapadatok

A fúrás során, valamint a fúrás utáni vizsgálatok eredményeként rendelkezésünkre álló adatok ismeretében lehetőség nyílik a projekt megtérülési idejének kiszámítására.

Mivel a várható vízhozam $2 \text{ m}^3/\text{perc}$, a kitermelt víz hőmérséklete 90°C , a visszasajtoló fluidum hőmérséklete pedig 30°C , a hőfoképcső 60°C . A kitermelt fluidum ($90 \times 4,2 = 378 \text{ kJ/kg}$) és a disszipált hő ($30 \times 4,2 = 126 \text{ kJ/kg}$) entalpiájának különbségéből adódik a körfolyamat entalpiája,

ami 252 kJ/kg. Ha 120 m³/óra termelvénnyel térfogatáramot és 965 kg/m³ átlagos folyadéksűrűséget feltételezünk, a következő képlettel kiszámolhatjuk a tervezett geotermikus rendszer összes energiatartalmát [MJ/óra].

$$\text{Tervezett rendszer E tartalma} = \text{körfolyamat entalpiája} \cdot \text{térfogatáram} \cdot \text{sűrűség} \quad (17)$$

$$0,252 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 120 \frac{\text{m}^3}{\text{óra}} \cdot 965 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 29\,182 \frac{\text{MJ}}{\text{óra}} \quad (18)$$

Ebből következik, hogy a bruttó hőteljesítmény

$$29\,182 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0,27778 = 8106 \text{ kW} = 8,1 \text{ MW}, \quad (19)$$

ami 85% termikus rendszer hatásfokkal számolva

$$8,1 \text{ MW} \cdot 85\% = 6,89 \text{ MW} \quad (20)$$

nettó hőteljesítményt eredményez.

A rendszer éves rendelkezésre állása a nyári időszak leállása miatt 180 nap, amiből következik, hogy az éves energia termelés

$$6,89 \text{ MW} \cdot 180 \text{ nap} \cdot 24 \text{ óra} = 29\,765 \frac{\text{MWh}}{\text{év}} \quad (20)$$

A 4.2.2 fejezetben részletesen leírom az értékesítési hődíj meghatározásának módját, mely alapján 1 MWh hő 24 548 Ft-ért értékesíthető.

Ezek ismeretében az éves bevételt a két szám szorzataként kapjuk meg.

$$29\,765 \frac{\text{MWh}}{\text{év}} \cdot 24\,548 \frac{\text{Ft}}{\text{MWh}} = 730,7 \text{ milliárd Ft} \quad (21)$$

4.3.2. Bekerülési költségek, üzemeltetési költségek

A 7. és 8. táblázatban a geotermikus rendszer megvalósítása során felmerülő beruházási (CAPEX), illetve működési (OPEX) költségeket soroltam fel. A 7. táblázat tartalmaz minden olyan költséget, amely a beruházás megvalósítása kapcsán felmerül, beleértve a tervdokumentációkkal és az építészeti munkálatokkal kapcsolatos díjakat, az elektromossággal kapcsolatos ráfordításokat, a termelő és visszasajtoló kutak fúrásának, a csővezetékek és azok kiépítésének, valamint a gépészeti rendszerek kiépítésének költségeit. A ráfordítások részletezése a 3. számú mellékletben megtalálható.

7. táblázat: A beruházás megvalósításának költségei

(Forrás: Költségvetés összesítő, Saját szerkesztés)

Ráfordítások megnevezése	Ráfordítások M Ft-ban
Kiviteli és engedélyes tervdokumentáció	26,7
Építészeti	33,6
Elektromosság	127,2
Kútfúrás	828,1
Távvezeték	1054,8
Gépészet	300,6
Összes beruházási költség	2 371,0

A 8. táblázat összefoglalja a beruházás várható működési költségeit. A tervezett üzemidő 30 év. Itt számolni kell közvetlen üzemeltetési költségekkel, mint a villamos energia felhasználása, és közvetett üzemeltetési költségekkel, mint például közműdíjak és biztosítás. Az illetékek, bányajáradék, járulékok a 4. sorban lettek feltüntetve. Figyelembe kell venni továbbá a karbantartási költségeket, ami magába foglalja a kitermelő és visszasajtoló kutak karbantartását, a szivattyúk karbantartását, a hőcserélők tisztítását, a szűrők cseréjét, valamint a kutak műszeres felülvizsgálatait.

8. táblázat: A beruházás működési költségei

(Forrás: Költségvetés összesítő, Saját szerkesztés)

Ráfordítások megnevezése	Ráfordítások M Ft-ban
Közvetlen üzemeltetési költségek	185,2
Karbantartási költségek	110,1
Közvetett üzemeltetési költségek	29,7
Járulékok, hatósági díjak	50,0
Összes becsült éves OPEX költség	375,0

4.3.3. Megtérülési idő

Az éves bevétel és az éves működési költségek ismeretében az éves hozam kiszámolható.

$$\text{Éves hozam} = \text{Bevétel} - \text{Működési költségek} \quad (23)$$

$$\text{Éves hozam} = 730,7 \text{ milliárd Ft} - 375,0 \text{ milliárd Ft} = 355,7 \text{ milliárd Ft} \quad (24)$$

A megtérülési idő megadja, hogy a projekt megvalósításához felhasznált tőkebefektetés mennyi idő alatt térül vissza a vele elérhető éves nyereségből. Minél rövidebb, annál kedvezőbb.

$$\text{Megtérülési idő(év)} = \frac{\text{Beruházási költség (Ft)}}{\text{Éves átlagos hozam(Ft/év)}} \quad (25)$$

Ebből:

$$\text{Megtérülési idő} = \frac{2371 \text{ milliárd Ft}}{355,7 \text{ milliárd Ft/év}} = 6,7 \text{ év} \quad (26)$$

Ez alapján a projekt 6,7 év alatt térül meg.

5. Következtetések és javaslatok

Az alábbi fejezetben összegeztem a dolgozat eredményei alapján levonható következtetések, javaslatok.

- Az Európai Unió komoly erőfeszítéseket tesz a megújuló energiaforrások felhasználásának ösztönzése érdekében, így még több EU-s és hazai forrás bevonásával ösztönözni kell a földhő minél hatékonyabb felhasználását.
- Szeged élen jár a geotermikus energia hasznosításában, ezen belül is kiemelkedő jelentőségű a geotermikus távhőszolgáltató hálózat még jelenleg is tartó kiépülése. A szegedi modell sikeres alkalmazása és Magyarország kedvező geotermikus adottságai alátámasztják, hogy hazánk számos településén lehetséges lenne a jelenleg kiaknázásra váró földhő hasznosítását célzó geotermikus lakossági távhőszolgáltató rendszer kiépítése.
- A távhőrendszerben lehűtésre került termálvíz továbbhűtésének, és ezáltal hőenergiájának további hasznosításához hőszivattyú alkalmazása javasolt, melynek legnagyobb előnye, hogy kis mértékű hőmérsékletnövelésre van szükség, így nagy fűtési tényező és ezáltal kis fajlagos villamosenergia-felhasználás érhető el.
- A távhő-hálózatok számos kiaknázatlan lehetőséget rejtenek. Az összetett hálózatok növekedésével egyre fontosabbá válik a hatékony vezérlési logika alkalmazása, a stabil és optimalizált működés biztosítása. A digitalizáció lehetővé teszi a végpontok közötti optimalizálást és energiahatékonyt. Az intelligens digitális megoldásokon alapuló ellátórendszer fejlett vezérlési logikájával költséghatékonyabb energiatermelés, ezáltal CO₂-kibocsátás érhető el. Minimális energiafelhasználással a távhő lehetővé teszi a fűtési- és hűtési energia-termelést, elosztást/szállítást és a fogyasztói rendszerekben rejlő hatások javítását okos vezérlések, rendszerfelügyeletek segítségével.
- Javasolt okos távhőmérési rendszer kiépítése, mellyel lehetőség nyílik többek között a fogyasztási adatok folyamatos nyomon követésére, a fogyasztás optimalizálására, ezáltal a költségek csökkentésére, valamint a mérők távoli leolvasására.
- A Cédrusliget lakópark megépítése során Európa-szerte egyedülálló környezetbarát technológiákat alkalmaztak, ám napelemes rendszer nem létesült a területen. Az ökológiai lábnyom további csökkentése, valamint az esetünkben meghatározó, távhőrendszer részét

képező szivattyúk villamosenergia felhasználásának fedezésére javasolt a fotovoltaikus rendszer kiépítése.

6. Összefoglalás

Szeged kiváló hagyományokkal rendelkezik a Felső-pannon termálvízkészlet hasznosításában mind mezőgazdaság, balneológia, mind távfűtés tekintetében. Szakdolgozatomban a közel 600 lakást és irodákat tartalmazó Cédrusliget lakópark geotermikus energiával működő hőellátó rendszerének főbb elemeinek méretezését készíttem el a 2021-ben kísérleti kútpárként lemélyítésre, majd átképzésre került T-1 termálvízkút és VS-1 visszasajtoló kút és a később lemélyített VS-2 visszasajtoló kút adatainak felhasználásával, valamint a tervezett fogyasztói kör fűtési hőmennyiség szükségletének figyelembe vételével.

A T-1 termálkút elsődlegesen a Cédrusliget lakóparkot látja el hőenergiával, ám a hő minél hatékonyabb felhasználása miatt további hőfogyasztók is rácsatlakoztatásra kerültek a rendszerre. A visszasajtoló kútpár segítségével az összes kitermelt termálvíz visszajuttatható ugyanazon vízáradó rétegbe. A termelő kútból 92 °C-os termálvíz kerül kitermelésre 2 m³/perc ütemmel. A kútból a termálvizet csőbúvárszivattyú szállítja a felszínre, majd egészen a visszasajtoló szivattyúig.

A búvárszivattyú termelő kútba történő beépítése termelőcsővel történik. A kitermelt víz előreszigetelt acél csővezeték rendszeren keresztül jut el a hőcserélőig, ahol hőjét a szekunder körnek leadva tovább áramlik a visszasajtoló gépház felé. A szigetetlen KPE csővezetéken keresztül a visszasajtoló gépházba kerülő lefűtött termálvíz a puffertartály előtt elhelyezett nyomástartó szelepen áthaladva elveszíti nyomását, melynek hatására a metán gáz jelentős része azonnal kioldódik a vízből. A gázkioldódás tovább fokozódik a termálvíz puffertartály víztükrébe csapódásával, melynek mechanikai hatására a vízből további, még oldott metán szabadul fel. A kioldódott gáz közvetlen légkörbe engedés helyett összegyűjtésre, majd elégetésre kerül, mellyel jelentős CO₂ kibocsátás csökkenés érhető el.

A termálvíz szűrőrendszeren keresztülhaladva jut el a visszasajtoló szivattyúig. A megtisztított, lefűtött víz ezután a visszasajtoló szivattyúk segítségével jut vissza a visszasajtoló kutakon keresztül a rétegbe. Amíg a termálvíz a visszasajtoló szivattyúig elér, több szerelvényen áthalad. Szakdolgozatomban a meglévő, a lakópark részére lefűrt termelőkút adatait felhasználva méreteztem az épület hőellátó rendszerének főbb elemeit, különös figyelmet fordítva a búvárszivattyúra, a hőcserélőkre, valamint a szivattyú méretezéséhez szükséges csővezetékekre és szerelvényekre, majd gazdaságossági számításokat végeztem a projekt megtérülésére vonatkozóan.

A bűvárszivattyú a termálvíz felszínre hozatala során az üzemi vízszinttől, azaz 160 méterből emel, ezért a szivattyú emelőmagasságának meghatározásakor ezt az értéket kell figyelembe venni. A buborékpont hideg indításkor 179,5 méterben van, ehhez hozzáadva a kútindítás során fellépő vízszint csökkenés értékét adódik a szivattyú minimálisan ajánlott 300 méteres ültetési mélysége. A szivattyú emelőmagassága az üzemi vízszintből és a további, rendszeren fellépő veszteségekből tevődik össze. Ezek a veszteségek fellépnek a termelőcsövön, az előreszigetelt acél távvezetéken, a könyökökönél, a hőcserélőkön, a visszasajtoló vezetéken és a szerelvényeken. Mivel a gázkiválás megakadályozására nyomást kell tartani a rendszeren, ez is hozzáadódik a szállítási magassághoz. A csővezetéseken fellépő nyomásesés meghatározására a Hazen-Williams formulát használtam, amely a csősúrlódási tényező, a belső átmérő és a csőhossz függvényében megadja, hogy mekkora nyomásesés lép fel az adott csővezetéken. A termálkút és a lakópark gépháza közötti szakaszon megtervezésre került DN200/315-ös acél csővezeték nyomásesése 2 méter, míg a hőcserélő és a visszasajtoló gépház között lefektetésre kerülő D200 KPE csővezeték nyomásesése 7,1 méter. A szerelvényeken fellépő nyomásesés számításához szükséges a hőellátó rendszeren szükséges szerelvények kiválasztása. Néhány szerelvény nyomásesése elhanyagolható, ám a tolózárak, pillangószelepek, nyomástartó szelep, visszacsapó szelep és szűrők nyomásra gyakorolt hatása nem hagyható figyelmen kívül. A kiválasztásra került szerelvénytípusokhoz tartozó KVs értékek ismeretében a nyomásesés értékek meghatározhatók. A szerelvényeken jelentkező jelentősebb nyomáseséseket összegezve az adódik, hogy a fellépő nyomáscsökkenés 20,2 méter. A gázkiválás megakadályozására a rendszeren minimum 8,5 bar nyomást kell tartani, ami 85 méter vízoszlopnak felel meg. A hőcserélőn fellépő nyomásesés meghatározását megelőzi az eszköz helyes kiválasztása. Ennek méretezéséhez a „Hőcserélő méretező program” -ot használtam, ahol a bemenő és a kimenő hőmérsékletek, valamint a térfogatáram és néhány egyéb adat ismeretében a hőcserélő kiválasztható. Mivel a lakópark hőigénye 8 MW, ezért fontos, hogy olyan hőcserélő kerüljön kiválasztásra, ami képest ezt a hőt biztosítani. A koszolódás miatt fellépő teljesítménycsökkenés miatt érdemes valamivel nagyobb teljesítményű hőcserélőt választani. A könnyebb mozgathatóság, telepítés és karbantartás alatti kiszakaszolhatóság miatt egy nagy helyett két kisebb, egyenként 4,2 MW teljesítményű, párhuzamosan kapcsolt, titánium ötvözetű acéllemez hőcserélőre esett a választásom. A kiválasztott hőcserélőn és a csonkokon fellépő nyomásesés értéke 2,1 méter.

Ezt, és a többi előzőleg kalkulált nyomáskereső értéket, valamint az üzemi vízszintet összeadva az adódik, hogy a szivattyú szállítómagasságának minimum 285,5 méternek kell lennie és maximum $2 \text{ m}^3/\text{perc}$ ütemmel üzemelhet. Ezen információ ismeretében a búvárszivattyú méretezhető. A méretezéshez egy szivattyú méretező szoftvert használtam, amelynek segítségével kiválasztottam a REDA 675 JN21000 típusú, olajiparban is alkalmazott csőbúvárszivattyút, amely alkalmas 90°C -os, magas gáztartalmú termásvíz felszínre hozatalára. A szükséges emelőmagasság és ütem eléréséhez 30 fokozatú szivattyúra van szükség 50 Hz frekvencián üzemeltetve.

A rendszer méretezése után a projekt megtérülése került kiszámításra. Ehhez a CAPEX, azaz a beruházási költségek, valamint az OPEX, működési költségek meghatározására volt szükség. A kitermelt hő és a disszipált hő entalpiájának különbségéből kiszámolható a körfolyamat entalpiája, mely 252 kJ/kg . Ezen adat, valamint a szivattyúzási ütem, az átlagos folyadéksűrűség és a rendszer hatásfokának ismeretében a termikus rendszer nettó hőteljesítménye $6,89 \text{ MW}$. A rendszer éves rendelkezésre állása 180 nap, így az éves hőenergia termelésre $29\,765 \text{ MWh/év}$ adódik. A szegedi távhőszolgáltató 1 MWh hőt $24\,548 \text{ Ft}$ -ért értékesíthet, tehát az éves bevétel $730,7$ milliárd Ft-ra tehető. Az éves profit, valamint a beruházási költség ismeretében a megtérülési idő $6,7$ év.

7. Irodalomjegyzék, egyéb források

Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D. W., Haywood J., Lean J., Lowe D. C., Myhre G., Nganga, Prinn R., Raga G., Schulz M., Dorland R. V., Bodeker G., Boucher O., Collins W. D., Conway T.J., Dlugokencky E., Elkins J.W., Etheridge D., Foukal P., Fraser P., Geller M., Joos F., Keeling C. D., Keeling R., Kinne S., Lassey K., Lohmann U., Manning A.C., Montzka S., Oram D., O'Shaughnessy K., Piper S., Plattner G.-K., Ponater M., Ramankutty N., Reid G., Rind D., Rosenlof K., Sausen R., Schwarzkopf D., Solanki S.K., Stenchikov G., Stuber N., Takemura T., Textor C., Wang R., Weiss R., Whorf T.(2014): *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, p.212. Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>.

Bartholy J., Breuer H., Pieczka I., Pongrácz R., Radics K. (2013): *Megújuló energiaforrások*. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem.

Bobok E., Tóth A. N. (2010): *A geotermikus energia helyzete és perspektívái*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia Folyóirata, p. 926-927.

Danfoss (2019): Datasheet - Gasketed Plate Heat Exchangers (DN 150/6"). Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://www.danfoss.com/en/products/dhs/heat-exchangers/#tab-brazed-heat-exchangers>

Emhő L. (2004): *Szén-dioxid-kereskedelmi meggondolások a kapcsolt energiatermeléssel elérhető kibocsátás-csökkentés megvalósításához*. Debrecen: VII. Kapcsolt Hő- és Villamosenergia-termelési Konferencia, p. 27.

Energiaügyi Minisztérium (2023): *Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve, 2023. évben felülvizsgált változat – Rövidített*. Letöltés dátuma: 2024.04.02. Forrás: <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/5/54/54b/54b7fc0579a1a285f81d183931bfaa7e4588b80e.pdf>

Eurostat (2023): *Share of energy from renewable sources, 2004-2022*. EU: European Commission

Füredi G., Hegel I., Szlivka F. (1998): *Áramlástanai Mérések – Laboratóriumi Segédlet*. Budapest: Műegyetemi Kiadó.

Geo Hőterm Kft (2020): *Szeged Csongrád-megye belvárosi termál projekt – Termálvíz termelő és visszasajtoló kutak létesítése – Kiviteli tervdokumentáció, tervszám: 2020-005-1-LT*

Geo Hőterm Kft. (2022): *Szeged, belvárosi hőkörzet geotermikus hőellátása, Eredménykimutatás*

Glenn M. (2016): *Geothermal energy advantaged and disadvantages*. Letöltés dátuma: 2024.04.04. Forrás: <http://www.planetsave.com/2016/02/11/geothermal-energy-advantages-an>

Harsh G., Sukanta R. (2007): *Geothermal Energy – An alternative resource for the 21st century*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Syngapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, p. 8.

Heald C. C. (2002): *Cameron Hydraulic data, Ingersoll-Dresser pumps*. 19th Edition. [S. I.]: Flowserve.

Juhász Á., Láng I., Nagy Z., Dobi I., Szépszó G., Horányi A., Blaskovics Gy., Mika J. (2009): *Megújuló energiák*. Budapest: Sprinter Kiadó.

Kiss E. (2008): *Pipelife - Alkalmazástechnikai kézikönyv - Polietilén KPE – Nyomócsövek és Nyomócső rendszerek építése*. Debrecen: [K. n.]

Kulcsár B. (2013): *Geotermikus energia – Magyar Zoltán Posztdoktori Ösztöndíj keretében a konvergencia régiókban*. Debrecen: Debreceni Egyetem – Oktatási Segédanyag, p. 23-26.

Kurunczi M. (2008): *A visszasajtolás. A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer bemutatása*. Kistelek: Geotermia a XXI. Században, Szakmai Fórum.

Mádlné Szőnyi J. (2006): *A geotermikus energia, Készletek, kutatás, hasznosítás*. Nagykovácsi: Grafon Kiadó.

Mádlné Szőnyi J., Rybach L., Lenkey L., Hámor T. és Zsemle F. (2008): *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségek Magyarországon–Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttér tanulmány*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Titkárság, p. 1.

Magyar Közlöny, 2023. évi 139. szám, p. 29.

Matteo Ciucci (2023): *Ismertetők az Európai Unióról – Megújuló Energia*. Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://europarl.europa.eu/factsheets/hu/sheet/70/megujulo-energia>

Medwater Ingatlan- és Gyógyvízhasznosító Kft. (2022): Szeged, Belvárosi hőkörzet geotermikus hőellátása, költségvetés összesítő

Muffler L. J. P., Cataldi R. (1978): *Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources*. *Geothermics*, 7, p. 53-89. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0375-6505\(78\)90002-0](http://dx.doi.org/10.1016/0375-6505(78)90002-0)

Nagygál J. (2017): *A konvekciós geotermikus energiatermelés fenntarthatósága és a felhasználás hatékonysága*. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő: [K. n.].

Osisanya S. (2001): A Simple Empirical Pipeline Fluid Flow Equation Based on Actual Oilfield Data. *Society of Petroleum Engineer*, SPE-67251-MS, 1-6.

Pollack H. N., Hurter S. J., Johnson J. R. (1993): Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. *Reviews of Geophysics*, 31, 93RG01249, p. 267–280.

PORT szivattyútechnika [N.a]: megfelelő szivattyú kiválasztása, méretezése. Letöltés dátuma: 2024.04.06. Forrás: <https://szivattyudoktor.hu/pump/pump-sizing.htm>

Rybach L. (1985): *Heat flow and geothermal processes: Proceeding of the IUGG inter-disciplinary symposium no. 10*. Hamburg: Geophysical Press, p. 349.

Shah R. K., Sekulic D. P. (2003): *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Stober, I., Bucher, K. (2021): *Geothermal Energy. From Theoretical Models to Exploration and Development*. Second Edition. [S. I.]: Springer International Publishing, p. 15.

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) Földtani Igazgatóság (2022): Vízföldtani napló: Szeged, Rigó utca, Belvárosi termálkör, T-1 jelű termálkút, kútkataszteri sorszám: B-557, Nyilvántartási szám: e161/2023.

Szanyi J., Nádor A., Madarász T. (2021): *A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében*: Földtani Közöny, 151/1, p. 3.

Szlivka F. (2012): *Áramlástechnikai gépek*. Budapest: Edutus Főiskola, p. 53.

Tóth Árpád (2010): *Öntözési praktikum. Hasznos elméleti áttekintés és gyakorlati tanácsok*. Budapest: AQUAREX '96 Kiadó, p. 53-54.

WILO Pumpen Intelligenz (2005): *A szivattyútechnika alapjai – Szivattyú kiskaté*. Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://wilohu-app.wilo.com/download/EDoc/Data/Publikus/09-Tervezesi%20segedletek/Szivattyutechnika%20alapjai%20kiskate.pdf>

Rendeletek, irányelvek, szabványok

12/1997 (VIII.29.) KHVM rendelet

54/2008. (III. 20.) Kormányrendelet

147/2010. (IV. 29.) Korm. Rendelet

1995. évi LVII. törvény

2020. évi XLIV. törvény

2023/2413 irányelv

EU Víz Keretirányelv

MSZ 22116:2002 szabvány

Internetes források

KSH (2021): Magyar Statisztikai Évkönyv 2021. Budapest: KSH.

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Geotermia. Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://sztf.hu/tevekenysegek/foldtani-tevekenysegek/geotermia>

8. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: *Cédrusliget lakópark látványterv*, p. 4.

Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://cedrusligetszeged.hu>

2. ábra: *Termelő és visszasajtoló kutak, termálrendszerre rácsatlakoztatott fogyasztók hőközpontjai*, p.5.

Geo Hőterm Kft. (2022): Szeged, belvárosi hőkörzet geotermikus hőellátása, Eredménykimutatás

3. ábra: *A világ teljes végső energiafelhasználásának %-os eloszlása energiaforrások szerint*, p. 9.

Renewable energy policy network for the 21st century, REN21 (2019): Renewables 2019 Global Status Report.

4. ábra: *Módosított Lindal Diagram*, p. 13.

An adaptation of the Lindal Diagram in the U.S. GeoVision report by the U.S. Department of Energy, Saját szerkesztés

5. ábra: *Sematikus hidrosztratigráfiai szelvény az Alföld déli részén keresztül, a szelvény helyének feltüntetésével*, p. 16.

Almási I., Szanyi J. (2021): Hydrogeology of the Pannonian Basin. In: Cherry J.: The Groundwater Project and eBooks – Important Aquifer Systems Around The World (in press).

6. ábra: *Csőbúvárszivattyú termelőcsővel - általános felépítés*, p. 19.

AQUAREX '96 Kft. Letöltés dátuma: 2024.04.04. Forrás:
https://www.moe.hu/kepzes2017/52_a_szivattyk.html

7. ábra: *A búvárszivattyú nyugalmi és üzemi vízszintje*, p. 20.

e-szivattyú: búvárszivattyú megfelelő telepítése. Letöltés dátuma: 2024.04.04. Forrás:
<https://youtube.com/Szivattyúvilág>

8. ábra: Szivattyú szállítómagasságának, motor teljesítményfelvételének és szállítási hatásfokának görbéje, p. 22.

WILO Pumpen Intelligenz (2005): A szivattyútechnika alapjai – Szivattyú kiskaté. Letöltés dátuma: 2024.04.03. Forrás: <https://wilohu-app.wilo.com/download/EDoc/Data/Publikus/09-Tervezesi%20segedletek/Szivattyutechnika%20alapai%20kiskate.pdf>

9. ábra: Lemezes hőcserélők szerkezeti kialakítása, p. 23.

Edutus Főiskola: Épületgépészeti ismeretek. Budapest: Edutus Főiskola

10. ábra: A termálvíz visszasajtolómű főbb egységei, p. 25.

Kurunczi M. (2008): A visszasajtolás. A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer bemutatása. Kistelek: Geotermia a XXI. Században, Szakmai Fórum.

11. ábra: Egy termelő és egy visszasajtoló kútból álló kétkutas alapmodell, p. 27.

Mádlné Szőnyi J. (2006): A geotermikus energia, Készletek, kutatás, hasznosítás. Nagykovácsi: Grafon Kiadó.

12. ábra: A visszasajtolás során létrejövő energiacserére, p. 28.

Bobok E. (2014): A víz-visszasajtolás környezeti hatásai. A tananyag kifejlesztése a TÁMOP 4.1.2.A/1-11/1-2011-0059 pályázat keretében

13. ábra: Hőellátó rendszer kapcsolási rajza, p. 32.

Gaál I. (2022): Szeged megyei jogú város, belvárosi hőkörizet geotermikus hőellátása - Kiviteli Terv, Kapcsolási rajz

14. ábra: T-1 jelű termelő kút szerkezete, p. 34.

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) Földtani Igazgatóság (2022): Vízföldtani napló: Szeged, Rigó utca, Belvárosi termálkör, T-1 jelű termálkút, kútkataszteri sorszám: B-557, Nyilvántartási szám: e161/2023.

15. ábra: Szimulált talpi hőmérséklet, p. 35.

Saját szerkesztés

16. ábra: REDA 675 JN21000 csőbúvárszivattyú jelleggörbéje, p. 50.

slb ESP szimulátor, Saját szerkesztés

17. ábra: 30 fokozatú REDA JN21000 szivattyú jelleggörbéje, p. 51.

slb ESP szimulátor, Saját szerkesztés

18. ábra: VS-1 jelű visszasajtoló kút szerkezete, p. 53.

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) Földtani Igazgatóság (2022):
Vízföldtani napló: Bakay Nándor u., Belvárosi termálkör, VS-1. jelű termálkút, kútkataszteri
sorszám: B-776, Nyilvántartási szám: e375/2022.

19. ábra: VS-2 jelű visszasajtoló kút szerkezete, p. 54.

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) Földtani Igazgatóság (2023):
Vízföldtani napló: Vásárhelyi Pál út, Belvárosi termálkör, VS-2. jelű termálkút, kútkataszteri
sorszám: B-777, Nyilvántartási szám: e161/2023.

1. táblázat: A felületi érdességi tényező C értékei, p.30.

Osisanya, 2001

2. táblázat: Hőcserélő méretező programba betáplált adatok, p.38.

Saját szerkesztés

3. táblázat: Hőcserélő méretező programba betáplált adatok, p.39.

Saját szerkesztés

4. táblázat: DN200/315 előreszigetelt acélcső adatai, p.44.

Yalcinboru

5. táblázat: Szerelvényeken fellépő nyomásesés, p.46.

Saját szerkesztés

6. táblázat: Emelőmagasság számítása, p.48.

Saját szerkesztés

7. táblázat: *A beruházás megvalósításának költségei*, p.56.

Költségvetés összesítő, Saját szerkesztés

8. táblázat: *A beruházás működési költségei*, p.57.

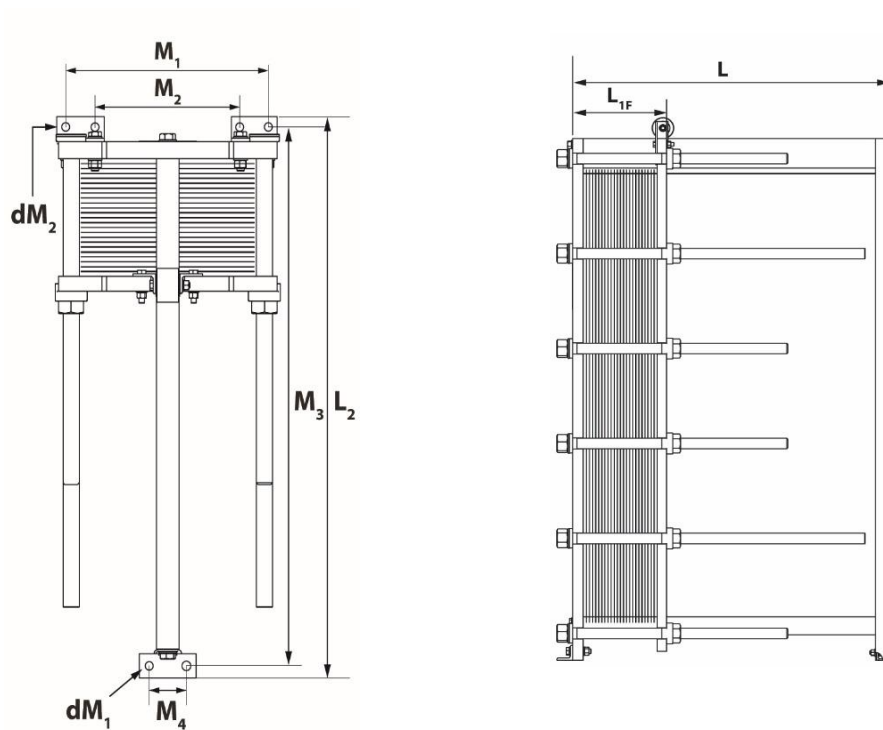
Költségvetés összesítő, Saját szerkesztés

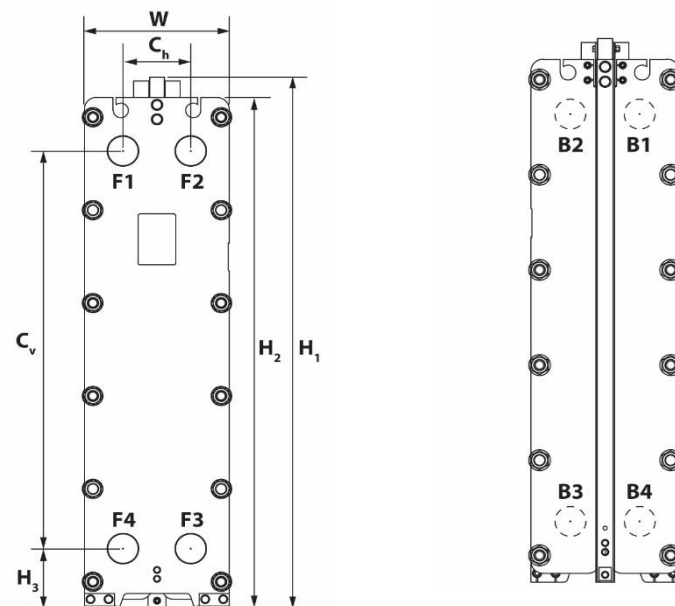
9. Melléklet

1. számú melléklet: 4,2 MW teljesítményű hőcserélő műszaki adatai

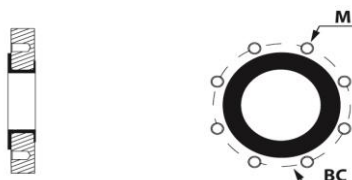
(Forrás: Danfoss (2019): Datasheet)

Vázlatos rajz, mely mind a 4,2, mind a 6 MW-os teljesítményű hőszivattyúnál alkalmazható. A rajzok alatti táblázatok részletezik a méreteket.





Csatlakozások



Méretetek (mm)

Cv	1694	dM_1/dM_2	18/18
Ch	296	L_{1f}	955,15
H ₁	2354	L	2095
H ₂	2254	L_2	2145
H ₃	275	M_1	508
W	608	M_3	2045
Szorító csavarok	12 db		

Csatlakozások

Primer oldal: Belépő F1/Kilépő B1

F1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
B1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
M	M20
BC	240
Csavarok száma	8

Szekunder oldal: Belépő F2/Kilépő B2

F1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
B1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
M	M20
BC	240
Csavarok száma	8

Adatok

	Primer oldal	Szekunder oldal
Belépő hőmérséklet	90 °C	28 °C
Kilépő hőmérséklet	30 °C	88 °C
Áramló mennyiség	61,22 m ³ /óra	61,22 m ³ /óra
Nyomásveszteség	0,1962 bar	0,1955 bar

Közeg	Víz	Víz
Hőteljesítmény	4200 kW	
Súly (üres, üzemi)	2552,26 kg, 3309,86 kg	

2. számú melléklet: 6 MW teljesítményű hőcserélő műszaki adatai

(Forrás: Danfoss (2019): Datasheet)

Méretetek (mm)

Cv	1694	dM ₁ /dM ₂	18/18
Ch	296	L _{1f}	555,85
H ₁	2354	L	1395
H ₂	2254	L ₂	1445
H ₃	275	M ₁	508
W	608	M ₃	1345
Szorító csavarok	12 db		

Csatlakozások

Primer oldal: Belépő F1/Kilépő B1

F1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
B1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
M	M20
BC	240
Csavarok száma	8

Szekunder oldal: Belépő F2/Kilépő B2

F1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
B1	DN150 gumibélésű karima PN16 HT
M	M20
BC	240
Csavarok száma	8

Adatok

	Primer oldal	Szekunder oldal
Belépő hőmérséklet	88 °C	26 °C
Kilépő hőmérséklet	28 °C	60 °C
Áramló mennyiség	87,38 m ³ /óra	153,4 m ³ /óra
Nyomásveszteség	0,0724 bar	0,192 bar
Közeg	Víz	Víz
Hőteljesítmény	6000 kW	
Súly (üres, üzemi)	1917,83 kg, 2326,04 kg	

3. számú melléklet: Tipikus lemezes hőcserélő fotón

(Forrás: Danfoss, Standard plate heat exchanger)



4. számú melléklet: Beruházási költségek részletezése

(Forrás: belvárosi hőkörizet, költségvetés összesítő)

- Építészet: gépészeti akna építése, gépház építése, kapcsolótér kialakítás, kútakna építése
- Elektromosság: villamos tervezés, kapcsolószekrény gyártás, búvárszivattyú hajtás, világítótestek, frekvenciaváltók, nyomás távadók, hőmérséklet távadók, villámvédelmi rendszer, optikai hálózat építése, folyamatirányító rendszer program készítése
- Kútfúrás: fúrási költségek, csövezés, cementezés, geofizika, iszap, tereprendezés
- Távfzetékek: összes csövezeték, munkaárok kialakítása, egyéb földmunkák, asztalkészítés
- Gépészet: búvárszivattyú, termelőcső, kútfej kialakítások, hőmérő, nyomásmérő, hőmennyiség mérő, hőcserélők, vegyszer adagoló rendszer, visszasajtolásnál szűrőegység, puffertartály, távfzetéki szivattyúk

10. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik hozzájárultak a szakdolgozatom megszületéséhez. Elsőként a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézetének Épületgépészeti és Energetikai Tanszékén oktató tanároknak, Prof. Dr. Tóth Lászlónak, és Dr. Schrempf Norbert Attilának, hogy tanácsaikkal, észrevételeikkel végigvezettek a szakdolgozat írás folyamatán. Másodszor Lajkó Csabának, a Geo-Hőterm Kft. munkatársának, aki az első pillanattól kezdve pozitívan és időt nem sajnálva segítette végig a munkámat. Továbbá köszönöm Szőke Szabolcs okleveles gépészmérnöknek a remek ötletekeit és tanácsait. Ezenkívül köszönet illeti Andrei J. Z. Burgos búvárszivattyúzás területén tapasztalt olajipari mérnököt türelméért és segítőkészségeért.

Varga-Tóth Fruzsina, Energiagazdálkodási szakmérnök szakos hallgató

11. Függelék

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: VARGA-TÓTH FLORENTINA
A Hallgató Neptun kódja: UINGUP
A dolgozat címe: LEHÁZ CSÖRÖT HŐENERGIA ELÁLTÁSA GEOTERMIKUS RENDSZERREL
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: MŰSZAKI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS CLIMATIKAI TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 04 hó 11 nap

V. Tóth F.
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

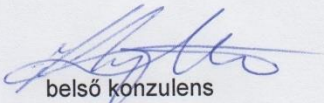
NYILATKOZAT

Varga-Tóth Fruzsina (Neptun kód: U1NGVP) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2024_év április hó 18. nap


belső konzulens