

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK

Strandfürdő hulladék hőjének hőszivattyús hasznosítása
Komárom város távhőellátó rendszerében

Pályázati tanulmány Dr. Büki Gergely távhő ígérete elismerésre



KECSKEMÉTI DÁVID

Konzulens:

Nemes Sándor
főmérnök

Komáromi Távhőszolgáltató Kft.

Témavezető:

Dr. Bokor Balázs
egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem

Budapest, 2020

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék.....	i
JELÖLÉSEK JEGYZÉKE.....	ii
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	iii
BEVEZETÉS.....	iii
1. Komárom város távhőellátó rendszerének fejlődése, jelenlegi állapota	1
1.1. Távfűtés kialakulása, magyar vonatkozásai	1
1.2. Komáromi rendszer	1
1.3. Jogi környezet-hármas lépcső	3
1.4. Hőtermelés	3
1.5. Primer hálózat	4
1.6. Hőközpontok	4
1.7. Fogyasztók	5
1.8. Elszámolás.....	5
1.9. Elképzelések	5
2. Brigetio Gyógyfürdőnél előálló hulladékhő és hasznosítási lehetősége	6
2.1. Termálvíz forrása	6
2.2. Fürdő medencéi.....	6
2.3. Elhasznált víz.....	7
2.4. Energetikai hasznosítás menete	8
2.5. Ellátási terület.....	9
3. Mérések a hulladékhő potenciál becslése érdekében és az eredmények értékelése	10
3.1. A felhasználható átlagos vízmennyiség mérése.....	10
3.2. Elfolyó térfogatáram meghatározása	10
3.3. Elfolyó víz hőmérsékletének mérése.....	11
3.4. Víz hőtartalmának meghatározása.....	13
3.5. Hőszivattyú teljesítménye	13
4. hulladékhő hasznosító rendszer elemei	14
4.1. Akna.....	14
4.2. Szivattyú.....	14
4.3. Osztó, csőszerelvények, szelepek	16
4.4. Szűrő	17
4.5. Távvezetékpár	17
4.6. Hőszivattyú.....	20
4.7. Hőtároló.....	20
4.8. Meglévő leürítő vezeték.....	20
5. A tervezett rendszer üzembeállításának környezetre gyakorolt hatásai	21
5.1. Lokális emissziócsökkentés	21

5.2. Rendszerek villamos energia felhasználása.....	21
5.3. Hulladékhőhasznosítás környezeti mérlege.....	23
6. Gazdaságossági számítások.....	24
6.1. Beruházás becsült költségei.....	24
6.2. Fejlesztés várható megtérülése	24
7. Összefoglalás.....	27
8. Irodalomjegyzék	28

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
<i>c</i>	fajhő	kJ/(kg·K)
<i>g</i>	gravitációs gyorsulás (9,81)	m/s ²
<i>h</i>	magasság	m
<i>h'</i>	nyomásvesztés	Pa
<i>k</i>	abszolút érdesség	mm
<i>m</i>	tömeg	kg
<i>p</i>	nyomás	Pa
<i>q</i>	hőtjeljesítmény	J/s
<i>s</i>	fajlagos entrópia	J/(kg·K)
<i>t</i>	idő	s
<i>v</i>	sebesség	m/s
<i>A</i>	felület	m ²
<i>D</i>	átmérő	m
<i>H</i>	fűtőérték	J/m ³
<i>L</i>	hosszúság	m
<i>P</i>	teljesítmény	W
<i>Q</i>	hőmennyiség	J
<i>Re</i>	Reynolds szám	1
<i>T</i>	hőmérséklet	K
<i>V</i>	térfogat	m ³
<i>Ṃ</i>	térfogatáram	m ³ /s
<i>W</i>	munka	J

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
ζ	alaki ellenállás-tényező	1
λ	súrlódási tényező	1
μ	dinamikai viszkozitás	Pa·s
ρ	sűrűség	kg/m ³

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Komáromi Távhőszolgáltató Kft.-nek és főmérnökének, Nemes Sándornak, aki a gyakorlatban is megmutatta, hogy lehet az egyetemen tanultakat alkalmazni, és minden kérdésemben rendelkezésemre állt.

Köszönettel tartozom Dr. Bokor Balázs témavezetőmnek, aki szintén sokat segített a mű létrejöttében és hasznos tanácsokkal látott el.

Továbbá a Brigetio Gyógyfürdő dolgozóinak, akik lehetővé tették a mérések elvégzését.

BEVEZETÉS

Földünk átlaghőmérséklete napjainkra több, mint 1°C -kal emelkedett az iparosodás előtti időkhöz képest (1). Az emberiség energiaigénye az elmúlt 100 évben 10-szeresére növekedett (2), a fosszilis energiahordozók elégetése és az ezzel járó károsanyag kibocsátás, az erdőirtások, a közlekedés és szállítmányozás mind hozzájárulnak a globális felmelegedéshez. Elgondolkodtató tény, hogy manapság nagyságrendileg egy nap alatt juttatunk annyi szén-dioxidot a légkörbe, mint a XX. század elején egy hét alatt (3).

Ennek hatásai beláthatatlan és visszafordíthatatlan környezeti problémákhoz vezethetnek. Egyenlőtlen a csapadékeloszlás, özönvízszerű esőzések, árvizek, majd szárazság követik egymást, egyre gyakoribbak a nagy hőingadozások, erdőtüzek és más természeti katasztrófák.

Károsanyag kibocsátásaink kb. 50%-áért a fűtési szektor felelős (4), jelenleg a fűtési energia több, mint 80%-a földgáz, fa vagy más fosszilis tüzelőanyag elégetésével áll elő (5).

A korszerű technológiáknak köszönhetően azonban egyre több olyan hőforrás áll rendelkezésünkre, ami gazdaságosan hasznosítható, ezzel kiváltva a hagyományos energiahordozókat. A napenergia, a geotermia és az emberi tevékenységek során keletkező hulladékhők egyre népszerűbb kutatási témák, hiszen ilyen megoldásokkal lehetőség nyílik a fűtési szektor ökológiai lábnyomának csökkentésére.

Dolgozatomban egy olyan rendszert szeretnék bemutatni, ami a Komáromi Termálfürdő elfolyó vizének hőtartalmát hasznosítja hőszivattyú segítségével. Az így előálló meleg víz alkalmas lenne a város egy részének távhővel való ellátására, csökkentve a környék hőellátásának környezetre gyakorolt hatását.

1. KOMÁROM VÁROS TÁVHŐELLÁTÓ RENDSZERÉNEK FEJLŐDÉSE, JELENLEGI ÁLLAPOTA

1.1. Távfűtés kialakulása, magyar vonatkozásai

Az első magyar távhőrendszer Budapesten jött létre 1899-ben. Ekkor került üzembe a Parlament hőellátásáért felelős rendszer. Építészeti és logisztikai szempontok miatt kapott a hőtermelés az épülettől távol helyet. A mai Balassi Bálint utcában levő kazánházban állítottak elő gőzt. Néhány évvel később a Szent Gellért Gyógyszállóban is hasonló elven működő távfűtést létesítettek (6).

1929-ben kezdték meg technológiai gőz előállítását a Várpalotai Erőműben lignit ahidralásához, többen tartják ezt a magyarországi távhőellátás őskének (6).

1950-es évektől kezdődően ipari létesítmények és erőművek hulladékhőjével láttak el lakásokat. Az első hazai szolgáltató rendszer Almásfüzitőn lépett üzembe. A timföldgyár hulladékhőjét hasznosítva látta el a gyár lakótelepét. Ehhez hasonlóan több városban is létesültek távhő rendszerek ipari hulladékhő hasznosítására, pl. Dunaújvárosban a közeli Dunai Vasmű rendelkezett nagy mennyiségű hulladékhővel, mely szinte az egész újonnan épülő város fűtéséről gondoskodott. A Csepeli Vasmű 210, a Kőbányai Sörgyár pedig több, mint 350 lakást látott el hulladékhőjével (6). Kogenerációs erőművek közelében lakótelepek épültek, pl. Bánhidán (7) vagy Kelenföldön. A kapcsolt energiatermelés előnyeit kihasználva üzemelt egyre több erőmű. A tömeges fővárosi távhőellátás 1957-ben kezdődött meg. Meleg- és termálvizes kutakat is kezdtek bevonni a melegvíz ellátáshoz, többek között újlipótvárosi lakásokat margitszigeti termál kutakból, illetve kórházakat a városligeti kútból láttak el (6).

1.2. Komáromi rendszer

A tömeges lakásépítési hullámokban épült lakótelepek létrehozásakor fontos szempont volt a mennyiség és a gyorsaság. A választás a távhőre esett. Komárom-Esztergom megyében ennek következtében kezdődött meg a távhőszolgáltatás 1967-ben tatányai központtal (8). Gyakorlatilag egyforma házakba szánt egyentervek készültek ugyanazon tervezők munkájában. Ez azt jelenti, hogy a korszerűsítéseket megelőzően az összes hőközpont ugyanolyan felépítésű volt az egész megyében. A szekunder oldali rendszereket tekintve gyakori volt az egycsöves fűtési rendszer, ami az egyszerűségének és az olcsó energiaáraknak köszönhető népszerűségét. Szabályozhatatlanságából adódóan nagyon pazarló és korszerűtlen kialakítás, hiszen a túlfűtött lakásokat csak ablaknyitással lehet kellemes hőmérsékleten tartani, mert a radiátorokat elzárva a következő lakásokhoz már nem jut el a hő. A legtöbb ilyen rendszer korszerűsítésen esett át, átkötőszakasz beépítésével, lehetővé téve a fogyasztói oldali szabályozást akár helyiségenként. Ezek az iparosított technológiával készült lakások továbbá nagyon rossz szigeteléssel rendelkeztek, ami magas hőigényeket eredményezett. Nem létezett

mérés szerinti elszámolás, az összes lakos fix havidíjat fizetett, aminek egyáltalán nem volt takarékosagra ösztönző hatása.

A hőközpontokat a kor technológiai szintjének megfelelően csőköteges hőcserélőkkel szerelték fel, amelyeknek hatalmas volt a helyigényük és nagy primer térfogatáramot követeltek meg rossz hatásosságukból adódóan. Egy ilyen hatalmas, mai napig használatban lévő hőcserélő látható az 1. ábrán.



1. ábra: Szobaméretű csőköteges hőcserélő egy komáromi hőközpontban

Az elégtelen szigetelések és a hőközpontokban lévő kedvezőtlen hőcsere következtében a fűtőműveknek magas hőmérsékletet kellett biztosítaniuk. A primer oldali névleges hőmérséklet 150/80 volt, és gyakran el is érte a 135°C-os előremenőt. A nyomást is magasan kellett tartani, kb. 12 bar értéken. A szekunder hálózat 90/70 hőfoképcsővel működött. Ez a magas hőmérséklet nagy hőveszteségeket eredményezett a rendszer összes elemében. Mivel ebben az időben még nem léteztek nagyon alacsony hőátbocsátási tényezővel rendelkező előreszigetelt távvezetéki csövek, a veszteségek minimalizálására az összes távvezetékét kőzetgyapot szigeteléssel, kátránypapír borítással látták el. Mechanikai védelemként a vezetékeket előregyártott beton védőcsatornába fektetve helyezték el, az illesztéseknél kátránnyal szigeteltek. A 2. ábrán egy ilyen védőcsatorna keresztmetszete látható.



2. ábra: Szakaszkiváltáskor megbontott régi, betoncsőben vezetett távvezeték

Az 1990-es években az állami támogatás csökkentésével párhuzamosan az ezt megelőző időszakhoz képest áremelés történt. Bevezették a mérés szerinti elszámolást: hőközpontként történt a hőmennyiségmérés, majd a lakások méretével arányosan osztották el azt. Az elfogyasztott hőmennyiség szétosztására három módszer alkalmazható: légköbméter alapú elszámolást, radiátorokra szerelt költségmegosztót, valamint egyedi lakásmérőket (kis hőmennyiségmérőket). Utóbbi két módszer ösztönzőképp hat a lakosságra az energiával való takarékoskodás tekintetében, hiszen kisebb fogyasztás esetén érezhetően alacsonyabb a fogyasztásarányos költség.

1993-ban 11 részre szakadt a Komárom-Esztergom Megyei Távhőszolgáltató Vállalat, ekkor lett önálló Komárom is. A Komáromi Távhőszolgáltató Kft. Komárom város önkormányzatának tulajdonában és kezelésében van a mai napig.

1.3. Jogi környezet-hármas lépcső

A Komáromi Távhőszolgáltató Kft.-nek felhasználói felé szolgáltatási kötelezettsége van. Ennek formáját – ezzel meghatározva a távhő működését és a fogyasztók elvárható magatartását – a következő feltételrendszer tartalmazza:

1. Távhőtörvény: A távhős szakma elsősorban a jogszabályi rendezetlenség miatt nagyon várta egy, a távhőszolgáltatásról szóló törvény megalkotását. E törvény létrejöttében műszaki és jogi szakemberek, hivatalok és szakmai szervezetek több éves munkája fekszik. Így jött létre a 2005. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról (9). E törvény, és végrehajtási utasítása pontos műszaki, jogi és adminisztrációs kereteket ad szolgáltatóknak és felhasználóknak egyaránt.
2. Önkormányzati távhő rendelet: Komárom város önkormányzata a fenti törvényben foglaltaknak maradéktalan figyelembevételével készítette el saját távhő rendeletét, figyelembe véve a törvény adta kereteken belül lehetséges helyi sajátosságokat.
3. Üzletszabályzat: A Komáromi Távhőszolgáltató Kft. a törvény és az önkormányzati rendeleteket szem előtt tartva alkotta meg üzletszabályzatát. Ez a jogi hierarchia általánosan érvényes a magyarországi távhővel ellátott településeken.

1.4. Hőtermelés

A „hőskorban” pakura tüzelésű kazánokkal termelték a hőt a Csokonai úti fűtőműben. Ezt később gázkazánok váltották fel.

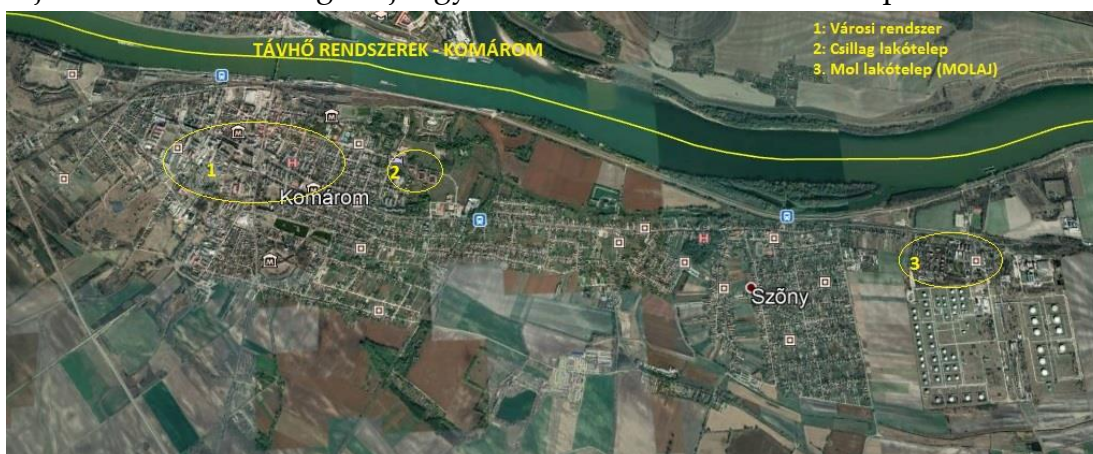
Másfél évtizeddel ezelőtt 11 db kondenzációs gázkazán (2-2 a MOL és a Csillag lakótelepen, 7 a belvárosi rendszeren) került telepítésre. A nagyon jó minőségű és hatásfokú kazánok rendszerbe állításának azonban nem voltak meg a feltételei, hiszen kondenzáció nem valósult meg a kazánokban több okból kifolyólag. A rosszul szigetelt, nagy hővesztességű épületek, és egyéb rendszerveszteségek eleve magasabb primer előremenő hőmérsékletet követeltek meg, valamint a gyenge hőátadással bíró csöktetes hőcserélőkkel szerelt hőközpontok miatt a visszatérő hőmérséklet is kondenzációs határ feletti volt. Ezen a helyzeten egyedi módon próbáltak segíteni. Éjszakánként

leállt a hőtermelés, a primer rendszer kihűlt. Hajnali indításkor a hideg rendszer miatt létrejött a kondenzáció a kazánokban. A lakosság nem örült az éjszakai lehűléseknek, rengeteg volt a panasz. 2014-ig működött így a szolgáltatás.

Ugyanebben az évben került leszerelésre a telepített gázmotor, mely nem a cég saját tulajdonában volt. A kapcsolt energiatermelésre járó támogatás miatt volt használatban. Országsszerte több, mint 400 gázmotor működött (10), néhány száz kW és 6 MW közötti teljesítménnyel, viszont a kedvezményes villamosenergia értékesítés megszűntével működtetésük gazdaságtalanná vált. Több, mint 90%-ban leállították őket. A kieső teljesítményt általában más típusú kazánokkal pótolták.

1.5. Primer hálózat

Jelenleg a városban 3 hidraulikailag önálló rendszer működik szigetüzemben, mindhárom 1-1 saját kazánházzal rendelkezik. Az ellátási területüket a 3. ábra szemlélteti. Ezek közül a belvárosi és a Csillag lakótelepi kétcsöves rendszerrel szolgálja ki a fogyasztókat, a MOL lakótelepi pedig ritkaság számba menő négy csövessel. A felújítások során a primer rendszerre már csakis előszigetelt vezetékeket telepítenek. Ugyanezt tartják szem előtt esetleges új fogyasztók felé menő vezeték telepítéseknél is.



3. ábra: Komárom távhőrendszerei

1.6. Hőközpontok

Hatalmas lépés volt a lemezes hőcserélők megjelenése a '90-es évek második felében. Kis méretüknek köszönhetően a hőközpontok helyigénye töredékére csökkent. A kiváló hőátvitel lehetővé teszi a primer víz jobb lehűlését, lecsökkentve a hálózatban keringtetett víz tömegáramát. Lemezes hőcserélők használatával a rendszerek működtethetőek változó tömegárammal, ami jelentős energiamegtakarítást jelent a sok esetben pazarló állandó tömegáramhoz képest.

A már meglévő hőközpontok változó tömegáramúvá alakítása költséges, ezért ez a folyamat hosszú időt vesz igénybe minden távhőszolgáltatónál. Emiatt Komárom városában később, 2016-tól kezdődött meg a hőközpontok változó tömegáramúvá alakítása. A 23 hőközpontból eddig 7 készült el teljesen. Az összes hőközpont ultrahangos hőmennyiségmérővel lett felszerelve, és megtörtént távfelügyeleti rendszer kiépítése.

Mindegyik hőközpontban frekvencia-szabályozott fűtési keringető szivattyúk cirkuláltatják a mindenkori igénynek megfelelő fűtési vizet.

1.7. Fogyasztók

Az utóbbi időben jelentős mértékben csökkent a fogyasztott hő mennyisége, leválások és a meglévő ügyfelek alacsonyabb fogyasztása miatt. Ez betudható a mérés szerinti elszámolás következtében növekvő takarékoskodásnak, valamint az épületek lecsökkent hőigényeinek egyaránt, ugyanis a távhővel ellátott épületek nagy része az elmúlt bő évtizedben energetikai korszerűsítésen esett át (homlokzati szigetelés és nyílászáró csere).

Ezen változások következtében a szekunder hőmérsékletprogram mára kb. 72/57 °C. Ilyen alacsony hőmérsékletnél a primer oldalon sem kell 85°C-nál magasabb előremenő hőmérsékletet szolgáltatni. A kazánok így már forróvíz helyett melegvíz besorolásba esnek, meglehetősen megkönnyítve az engedélyeztetési eljárást és a karbantartást.

1.8. Elszámolás

Városunkban az elszámolt hő mennyiségét a hőfogadó állomásokban telepített ultrahangos hőmennyiségmérők regisztrálják. Ezek az elszámolási mérők. Az utána lévő felhasználói vezetékhalózaton és felhasználói berendezéseken lévő egyéb mérőeszközök (lakás hőmennyiségmérő, költségosztó stb.) már az elszámolási mérőn lévő hőmennyiséget osztják tovább.

1.9. Elképzelések

A közeljövőben tervben van az összes hőközpont rekonstrukciója és a teljes rendszer változó tömegáramúvá alakítása, ez jelentősen le fogja csökkenteni a szükséges hőmennyiségeket és tömegáramot.

Legkézenfekvőbb fejlesztési lehetőség a fogyasztók számának növelése és a rendszer bővítése lenne. Számos fűtéstechnikailag korszerűtlen, egyedi fűtésekkel (gázkonvektorok, szén- és vegyestüzelésű kazánok) ellátott lakóépület helyezkedik el a meglévő távvezetékek közvetlen közelében. A rengeteg kémény nem csak a levegő minőségét, hanem az utcaképet is rontja. Ezek távhőre kapcsolása jelentős széndioxid kibocsátástól mentesítené a várost.

A Csillag lakótelep környéke viszont ideális lenne a rendszer bővítésére, a városfejlesztés jövőbeni terveinek és a rendelkezésre álló területnek köszönhetően.

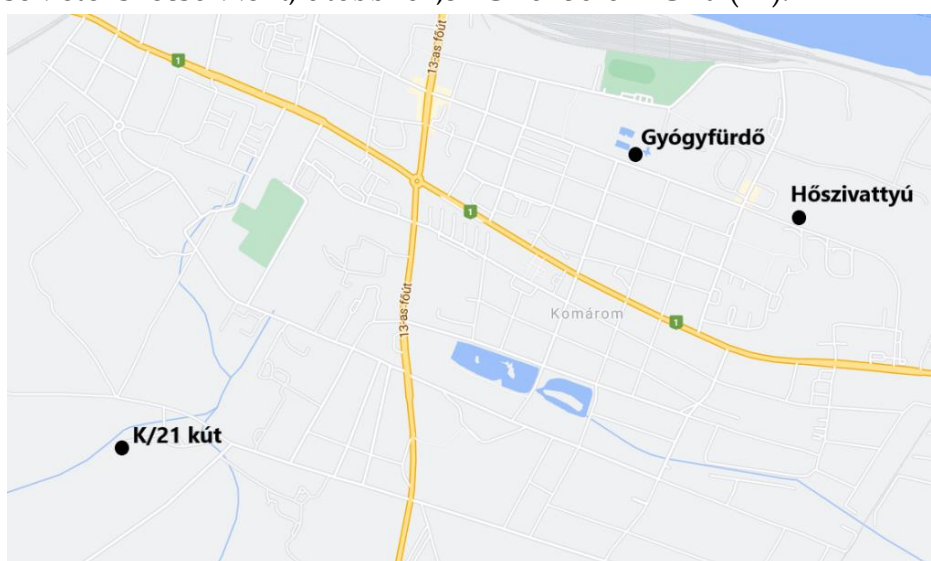
Hőforrás tekintetében a szolgáltató jelenleg kizárólag földgázt használ fel, viszont vannak törekvések megújuló energiaforrások rendszerbe illesztésére. A biomassa tüzelés bevezetése szinte biztosan kizárható, ellenben a város közelében lévő termálvízben még számos kiaknázatlan lehetőség van, amellyel kapcsolatban folyamatosan végeznek kutatásokat.

2. BRIGETIO GYÓGYFÜRDŐNÉL ELŐÁLLÓ HULLADÉKHŐ ÉS HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGE

2.1. Termálvíz forrása

A fürdőt a tőle légvonalban mintegy 2 km-re, ahogy a 4. ábrán is látszik elég messze elhelyezkedő K-21-es kút látja el gyógyvízzel. A kutat egy szakvéleményre alapozva mélyítették 1964-65-ben. A helyszín földtani adottságairól ekkor még nem sok információ állt rendelkezésre, így ezeket nem is vették figyelembe. A fúrás alsó szakaszában (kb. 1200 m mélyen) mészkövet és homokkövet találtak.

Az ideálisan induló termelést később negatívan befolyásolta a kút állapota, valamint a környék bányászatához szükséges nagyarányú karsztvíz kitermelés. Hozama és talphőmérséklete is lecsökkent, utóbbi 62,5 °C-ról 58-62 °C-ra (11).



4. ábra: K/21 kút elhelyezkedése

2.2. Fürdő medencéi

A komáromi gyógyfürdő 10 sport- és gyógymedencével rendelkezik. Vizük kalcium-magnézium-hidrokarbonátos, kloridos és szulfátos, gyógyvíz minősítését 1967-ben nyerte el. Számos betegség orvoslására használható, mint pl. degeneratív gerinc és ízületi, vagy gyulladásoos reumatológiai betegségek (12).

A gyógymedencéket (két szabadtéri, ezek közül egyik az 5. ábrán látható (32-38 °C), egy beltéri (34-36 °C) és egy beltéri jakuzzi (33-35 °C)) töltő-ürítő üzemben működik, 24 óránkénti vízcserével, tehát minden este, záráskor leengedik őket teljesen és nyitásra újra feltöltik. Erre higiéniai okokból van szükség, másképpen nem megoldható a víz tisztántartása adalékanyagok hozzáadása nélkül. A vízforgatás, fertőtlenítő szerek vízhez adagolása semlegesítené a termálvíz gyógyító hatásait.



5. ábra: Kültéri gyógymedence (13)

A sport- és élménymedencéknél (fedett úszómedence (25-28 °C), fedett tanmedence (30-33 °C), szabadtéri úszómedence (22-25 °C), csúszdás élménymedence (25-28 °C), gyermekmedencék (27-30 °C)) van vízforgatás, de időnként ezeket is leürítik (13).

2.3. Elhasznált víz

Napközben folyamatosan töltik újra az összes medencét a kívánt hőmérséklet megtartása és a kifröcskölt víz utánpótlása miatt, valamint a medencék feszített víztükréből adódóan szüntelenül folyik víz a leürítő rendszerbe. Valamennyi medencéből elfolyó víz egy a strand területén található aknába folyik, innen pedig 2 búvárszivattyú közreműködésével jelenleg hasznosítatlanul a Dunába ömlik. A szivattyúk 4.2. fejezetben részletezett kifogásolható működésük miatt rengeteg levegőt is szállítanak, amit a 6. ábrán bemutatott csobogás fedett fel.



6. ábra: Dunai kifolyó

A leürítővezeték a 7. ábrán lévő árvízvédelmi gát lábánál éri el a Dunát. Állandó vízpótlás van a nap folyamán, de a nagy vízmennyiség az esti órákban jelentkezik az összes gyógymedence leürítésekor.



7. ábra: Árvízvédelmi gát

2.4. Energetikai hasznosítás menete

Jelenleg Magyarországon nincs visszasajtolási kötelezettség a termálvizek sport, és gyógyászati felhasználását követően. Mivel a víz emberekkel érintkezett, szennyezettnek kell tekinteni ezért visszasajtolása nem lehetséges (14). Ennek értelmében továbbra is a Dunába szeretnénk kiengedni a fürdőből elfolyó vizet egy hőszivattyú beiktatásával a hőhasznosítás érdekében. Ez azt jelentené, hogy 30 °C-ról nagyjából 6 °C-ra hűtenénk a vizet. Az időben nem egyenletesen rendelkezésre álló hasznosítandó termálvíz mennyiség miatt a hőszivattyúval megtermelt hőt tárolni szükséges.

A hőszivattyú nem a gyógyfürdő területén kerülne telepítésre, hanem hőhasznosításhoz közel, a Csillag lakótelep kazánháza mellett. A környék fejlesztési potenciáljainak köszönhetően a jövőben megnövekedett hőigényekre lehet számítani, melynek nagy részét tudnánk az elfolyó víz hulladékhőjéből fedezni. A strand területén lévő akna és a Csillag fűtőmű közötti csővezeték kialakítása szükséges, melynek tervezett nyomvonalát a 8. ábrán találhatjuk.

Ezzel a megoldással kb. 70 °C-os primer előremenő hőmérséklet biztosítható a távhőrendszerben. Ennek a hőteljesítménynek valószínűsíthetően a többszöröse is elérhetővé válik a hamarosan befejezésre kerülő városi termálprojektnek köszönhetően, mely során újonnan fúrt kút termálvizének közintézményekben történő hőhasznosítása valósul meg (11). Az itt „felhasznált”, lehűlt termálvíz, mely a medencékből elfolyónál melegebb lesz szintén a strand gyűjtőaknájába folyik, ezzel a majdani hőszivattyúnak újabb rendelkezésre álló hőmennyiséget biztosítva.

2.5. Ellátási terület

A termálenergia hasznosítójaként számos fogyasztó jöhet számításba:

- elsődlegesen a már távhővel ellátott 221 lakásos Csillag lakótelep (1150 kW),
- a távhőre kapcsolható 96 szobás Juno Hotel (430 kW), a 66 lakásos Várkert lakópark (320 kW), a Feszty iskola (300 kW) mind elérhető közelségben vannak, jelenleg gázkazánokkal fűtik őket,
- a jövőben (ebben az évtizedben) megvalósuló multifunkciós rendezvényközpont (400 kW) és 230 lakásos lakópark (800 kW) célszerűen távhőre lesz tervezve.

Ezen valós és becsült hőigényeket összegezve:

$$1150kW + 430kW + 320kW + 300kW + 400kW + 800kW = 3400 kW \quad 1. \\ = 3,4 MW$$

Erre a becsült teljesítményre választottam a 3,4 MW-os hőszivattyút és kiszolgáló berendezéseit.

A teljes hulladékhővel ellátható területet szintén a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra: Hulladékhővel ellátható intézmények, tervezett termál nyomvonal

3. MÉRÉSEK A HULLADÉKHŐ POTENCIÁL BECSLÉSE ÉRDEKÉBEN ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

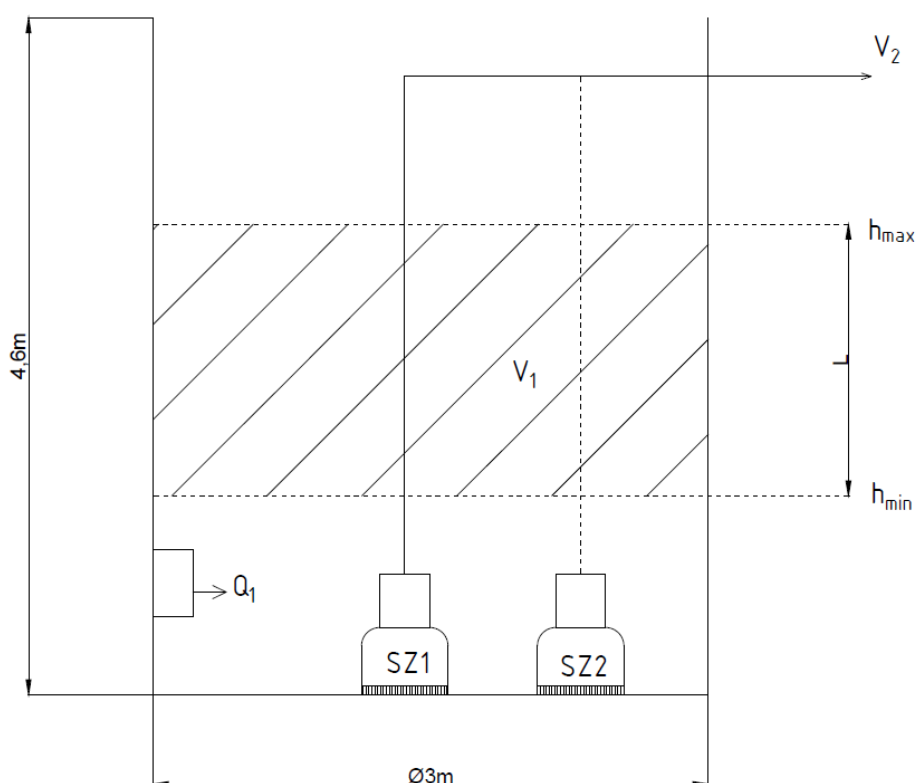
3.1. A felhasználható átlagos vízmennyiség mérése

A fürdő valamennyi medencéjéből kifolyó víz egy beton aknában gyűlik össze. A víz Dunába juttatásáról az aknában lévő két búvárszivattyú gondoskodik szakaszos üzemben. Az akna méreteit, a szivattyúk elhelyezkedését és a számítás elvét a 9. ábra mutatja be.

3.2. Elfolyó térfogatáram meghatározása

Az elfolyó víz mennyiségének meghatározásához szükség van a szivattyú térfogatáramára és a szivattyú üzemidejére. Utóbbit egy másodperc pontosságú üzemóra-számláló segítségével állapítottam meg. A szivattyú állandó fordulatszámon üzemel, és mivel a csőhálózat jelleggörbéje nem változik, a munkapont jó közelítéssel állandó, így a szállított térfogatáram is.

A két szintérzékelő közötti távolságot megmértem és az akna átmérőjének ismeretében meghatároztam egy V_1 (2 szintérzékelő közötti) térfogatot.



9. ábra: Akna és a köbözési módszer sematikus vázlata

Mértem a szivattyú üzemének idejét (t_1) és a két bekapcsolás között eltelt időt (t_2). Ezt a mérést többször is elvégeztem. A két szintjelző közötti 1,14 méter átlagosan 65 másodperc alatt ürül le, miközben a \dot{V}_1 vízmennyiség folyamatosan érkezik az aknába. Mértem álló szivattyú mellett az alsó és felső szintérzékelő közötti feltelési időt: átlagosan 270 másodperc.

Az akna feltöltődési idejének ismeretében (ez megegyezik a két bekapcsolás között eltelt idővel) megkaptam a csurgalékvíz térfogatáramát, ez az érték is több ciklus átlaga.

$$V_1 = \frac{D^2\pi}{4} \cdot (h_{max} - h_{min}) = \frac{3m^2\pi}{4} \cdot (1,14m) = 8,06m^3 \quad 2.$$

$$\dot{V}_1 = \frac{V_1}{t_2} = \frac{8,06m^3}{270s} = 0,0298 \frac{m^3}{s} = 107,4 \frac{m^3}{h} \quad 3.$$

Mivel az akna a szivattyúzás közben is folyamatosan töltődik, az elszívott vízmennyiséghez (V_2) a két szintjelző közötti térfogaton felül ez a mennyiség is hozzáadódik.

$$V_2 = V_1 + \dot{V}_1 \cdot t_1 = 8,06m^3 + 0,0298 \frac{m^3}{s} \cdot 65s = 9,997m^3 \approx 10m^3 \quad 4.$$

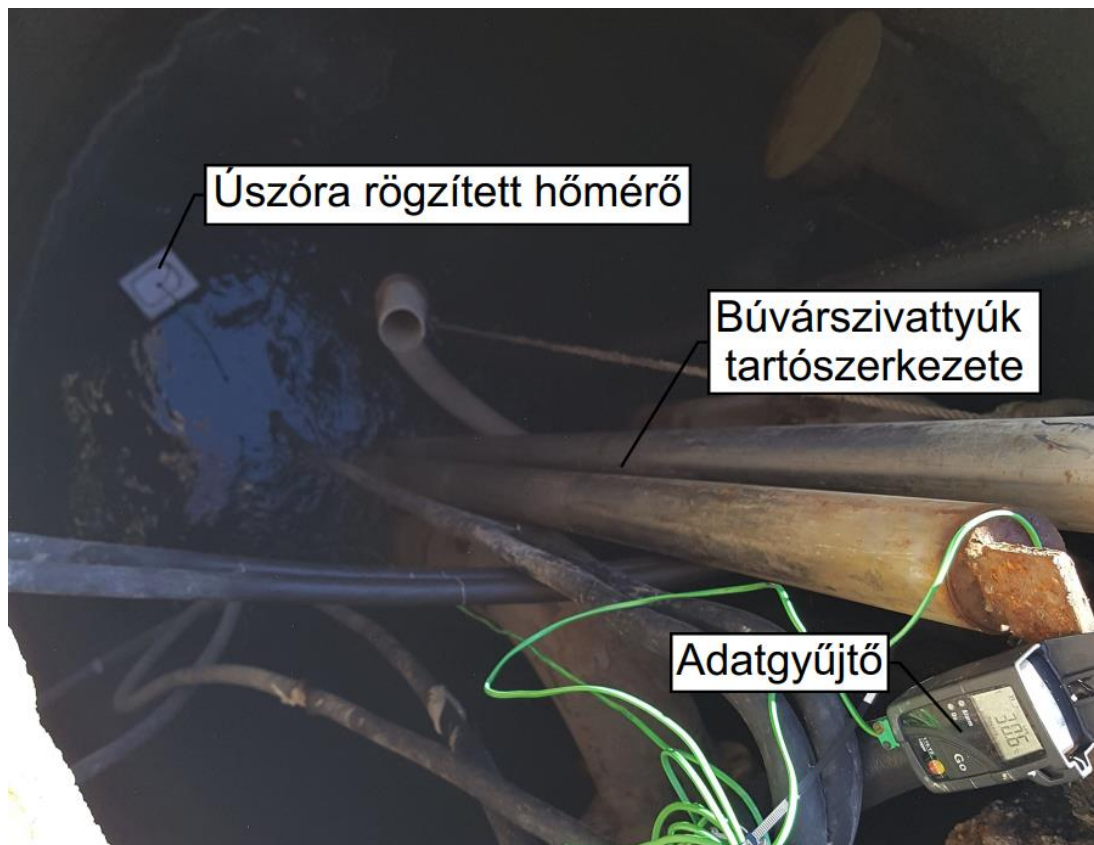
1 periódus alatt (65 s) elnyomott víz tehát $10 m^3$, ami $9,23 m^3/perc = 554 m^3/h$ térfogatáramnak felel meg.

Az akna mellett található villamos szekrényben lévő, már nem működő üzemóraszámológát új készülékekre cseréltük méréseink kezdetekor. A két számláló adatait összeítve 1 hét alatt 45 órát mentek a szivattyúk, ez alatt hozzávetőlegesen $24923 m^3$ vizet szállítottak összesen.

$$45h \cdot 554m^3/h = 24930m^3 \quad 5.$$

3.3. Elfolyó víz hőmérsékletének mérése

Az aknában elhelyeztünk egy Testo 175-T3 hőmérséklet adatgyűjtőre csatlakoztatott hőmérőt, ami 5 percenként rögzít hőmérséklet értékeket. A hőelem egy úszóra lett rögzítve, hogy a feje mindig belelógjon a vízbe. A kábel rövidsége miatt az adatgyűjtőt is csak az aknában tudtuk elhelyezni a 10. ábrán látható módon, a villamos szekrényig való elvezetéshez szükséges többlet kábelhossz nagy pontatlanságot okozhatott volna a mérés eredményeiben.



10. ábra: MÉRŐBERENDEZÉS AZ AKNÁBAN

A mérést megnehezítette az aknában uralkodó magas páratartalom, ami a műszer időjárásálló kivitelének ellenére bejutott annak belsejébe és zárlatot okozott. Az első egy héten jól működött a berendezés, utána következett be az érintkezési probléma. Kijelzője páras volt, de miután kiszáradt, számítógépre csatlakoztatva ki lehetett belőle olvasni a rögzített értékeket. Ipari körülmények között egy esetlegesen megvalósuló hőhasznosítás során különös figyelmet kell fordítani majd az aknában lévő műszerek, érzékelők védelmére.

Az egy hetes adatsor átlaghőmérséklete $26,3^{\circ}\text{C}$ lett, a hőmérséklet ingadozását a 11. ábra szemlélteti. A legalacsonyabb mért érték $19,8^{\circ}\text{C}$, míg a legmagasabb $38,2^{\circ}\text{C}$ volt.



11. ábra: Aknában lévő víz hőmérsékletének változása a mérés során

3.4. Víz hőtartalmának meghatározása

A hőmennyiség értékeket 1 hétre vonatkoztatva számoltam ki. Ezen időszak alatt $24923 \text{ m}^3 = 24\,923\,000 \text{ l} = 24\,923\,000 \text{ kg}$ $26,3 \text{ }^\circ\text{C}$ -os átlaghőmérsékletű víz folyt el energetikailag hasznosítatlanul a Dunába.

A minél alacsonyabb visszatérő hőmérséklet eléréséhez nagy hőcserélő felület szükséges. Mivel a beruházás forrása korlátos, ezért nem törekedtem a számításoknál ennek a visszatérő hőmérsékletnek az elérésére, hiszen a $26,3 \text{ }^\circ\text{C}$ -os előremenő hőmérséklet $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os csökkentésével is elegendő hőenergiát tudunk kinyerni.

A víz fajhője $4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK})$.

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= c_{p,\text{víz}} \cdot \dot{m} \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 24\,923\,000 \frac{\text{kg}}{\text{hét}} \cdot 20\text{K} = 2088547400 \frac{\text{kJ}}{\text{hét}} & 6. \\ &= 2089 \frac{\text{GJ}}{\text{hét}}\end{aligned}$$

Egy hét alatt tehát hozzávetőlegesen 2089 GJ fűtési energia állna rendelkezésre, ez havi szinten 8356 GJ -t jelent.

3.5. Hőszivattyú teljesítménye

Két esetre vizsgáljuk meg a telepíthető hőszivattyú kalorikus teljesítményét: csúcsra járatott és optimális üzemi körülmények között.

Maximális térfogatáram esetén:

$$\dot{Q} = c_{p,\text{víz}} \cdot \dot{m} \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 112 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 20\text{K} = 9385,6\text{kW} \approx 9,4\text{MW} \quad 7.$$

Ha csúcsra méretezzük a hőszivattyút, akkor maximálisan $9,4 \text{ MW}$ hőteljesítményt tudnánk kinyerni, ez az üzemállapot azonban csak ritkán fordul elő (éjszakai leürítések). Egy ekkora berendezés beruházási költsége többszöröse lenne az optimális üzemállapotokra méretezett hőszivattyúnak.

Jelenleg az ellátási területen (Csillag lakótelep) nincs akkora hőigény. Remélhetőleg a jövőben új fogyasztók megjelenésével ez a helyzet kedvezően változik majd.

A becsült maximális hőigény esetén:

$$\dot{Q} = c_{p,\text{víz}} \cdot \dot{m} \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 40 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 20\text{K} = 3352\text{kW} \approx 3,4\text{MW} \quad 8.$$

4. HULLADÉKHŐ HASZNOSÍTÓ RENDSZER ELEMEI

4.1. Akna

A fürdő valamennyi medencéjéből folyamatosan érkezik a hozzávetőlegesen 25-30 °C közötti használt víz a 3 méter átmérőjű, majdnem 5 méter mély, 3. fejezetben bemutatott gyűjtőaknába. Ez a későbbiekben ugyanígy történne, a fejlesztés a strand medencéire semmiféle kihatással nem lesz.

4.2. Szivattyú

Az aknában 2 egyforma, C 3201-es Flygt csatornás járókerekű bűvárszivattyú gondoskodik az elfolyó víz Dunába vezetéséről, jelleggörbéje az új munkaponttal a 13. ábrán látható. Teljesítményének szabályozására több módszer is létezik. Egyik lehetséges mód a fojtásos szabályozás. Kevésbé korszerű megoldás, mert bizonyos veszteséggel jár. Lehet kézi, valamint elektromos hajtással működtetett motoros szelepes. Egyes motoros szelepek képesek visszajelzést küldeni, érdemes távfelügyeletet kialakítani a könnyebb üzemeltethetőség érdekében. Másik, lényegesen rosszabb hatásfokú módszer a bypass szelepes szabályozás.

A fordulatszám szabályozás harmadik bevált módja a szabályozásnak, célszerű lenne ezt alkalmazni a veszteségek minimalizálása érdekében.

Jelenleg a szivattyúkat ki- és bekapcsolással szabályozzák, ami a lehető legrosszabb megoldás. Alapesetben csak egy szivattyú dolgozik. Az aknát folyamatosan tölti fel az elfolyó csurgalékvíz a medencék feszített víztükréből és hőntartás miatti vízpótlásból adódóan. Egy bizonyos pont elérésekor (felső szintérzékelő) a szivattyú üzembe lép és állandó fordulatszámon üzemel. A minimum szintre (alsó szintérzékelő) csökkentve a vízszintet a szivattyú leáll.

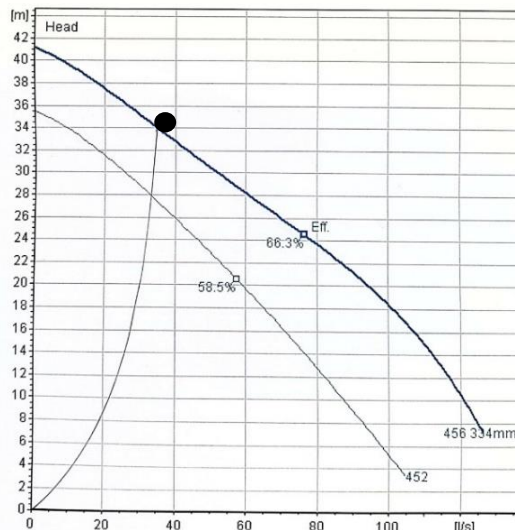
A fürdőben több töltő-ürítő üzemű gyógymedence is található. Erre azért van szükség, mert minősített termálvízhez fertőtlenítőszer adagolása, valamint vízforgatás nem lehetséges, hiszen az rontaná a hatását. A kórokozók elszaporodását a víz cseréjével akadályozzák meg. Ezen medencék vizét minden este leengedik és takarítást követően hajnalban ismét feltöltik. Leengedéskor nagy vízmennyiség szabadul fel, ekkor szükség van a két szivattyú egyidejű működésére.

Az akna nagy mélysége nincs kihasználva, a két szintérzékelő közötti szintkülönbség mindössze 1,14 m. Ezt, az akna méretéhez képest kis térfogatot a túlméretezett szivattyú kb. egy perc alatt távolítja el, majd kb. 5 perc alatt töltődik fel újra és kapcsol be a szivattyú ismét. A sűrű ki- bekapcsolások instabil üzemállapotot eredményeznek magas áramfogyasztással és kavitációval a szivattyú járókerekén, ami annak tönkremeneteléhez vezet. Ez be is következett a 12. ábrán látható módon, a sérült járókereket cserélni kellett.



12. ábra: Kavitáció következtében tönkrement járókerék

Javasolt lenne a két szintjelző közötti távolság növelése és a szivattyú fordulatszabályozása. Ezzel elérhető lenne egy kedvezőbb üzemi állapot. A ki-be kapcsolás periódusai meghosszabbodnának: ritkábban kapcsolna be és tovább dolgozna. Jelenleg a szivattyú 112 l/s körüli térfogatárammal üzemel, ezt szabályozással 30-40 l/s-re csökkentenénk, ez a munkapont látható a 13. ábrán. Méréseink alapján a csurgalékvíz mennyisége átlagos esetben 30 l/s. Ezzel együtt a hőszivattyú is relatívan stabil üzemi állapotba hozható, erre méretezzük a hőfelhasználását. Természetesen szintméréssel és ennek függvényében a szivattyú fordulatszámának folyamatos szabályozásával stabil hőszivattyú üzem valósítható meg. Ennek a feladatnak ellátására egy jelenleg kereskedelmi forgalomban is kapható ipari PLC bőven elegendő. A PLC alkalmas arra is, hogy a szivattyú frekvenciaváltójának állításával stabil vízszintet tartson az aknában, ezzel kvázi folyamatos hőszivattyú üzem valósít meg a strand átlagos üzemi körülményei esetén (nem tekinthető átlagosnak a medencék töltése/ürítése).



13. Flygt C3201 jellegörbéje a kívánt munkaponttal (15)

4.3. Osztó, csőszerelvények, szelepek

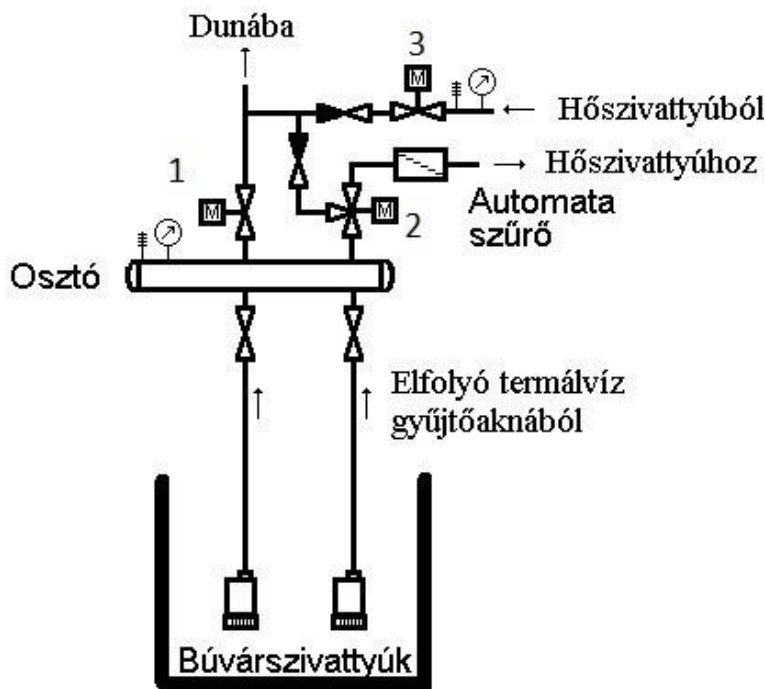
A 14. ábrán felvázolt osztóval tudjuk szabályozni a hőszivattyúra jutó, vagy pedig a Dunába közvetlenül leürített termálvíz mennyiségi arányait.

Az 1 jelű motoros szelep közvetlen leürítést biztosít a Dunába a hőszivattyú üzemszünete esetén.

A 2 jelű motoros osztószelep feladata a gyűjtőaknából érkező víz vagy a hőszivattyú, vagy pedig a Duna felé irányítása. Fontos, hogy az akna üríthető legyen a hőszivattyú, a szelepek vagy egyik szivattyú esetleges meghibásodásakor is, ne árhassa el víz a strandot.

E háromjratú szelep kialakításából adódóan valamire mindenképp nyitva van. Fontos az odafigyelés a szelep beépítésekor, ugyanis ezek beépíthetők akár „osztó”, akár „gyűjtő” funkcióba. Egyben szabályozza a hőszivattyúra jutó víz mennyiségét.

A 3 jelű motoros szelep zárásával a hőszivattyú üzeme megszűnik. Megfelelő állása biztosítja azt, hogy a hőszivattyú üzeme közben az áramlás mindig teltszelvényű legyen.



14. ábra: Osztószerelvény a strandon

4.4. Szűrő

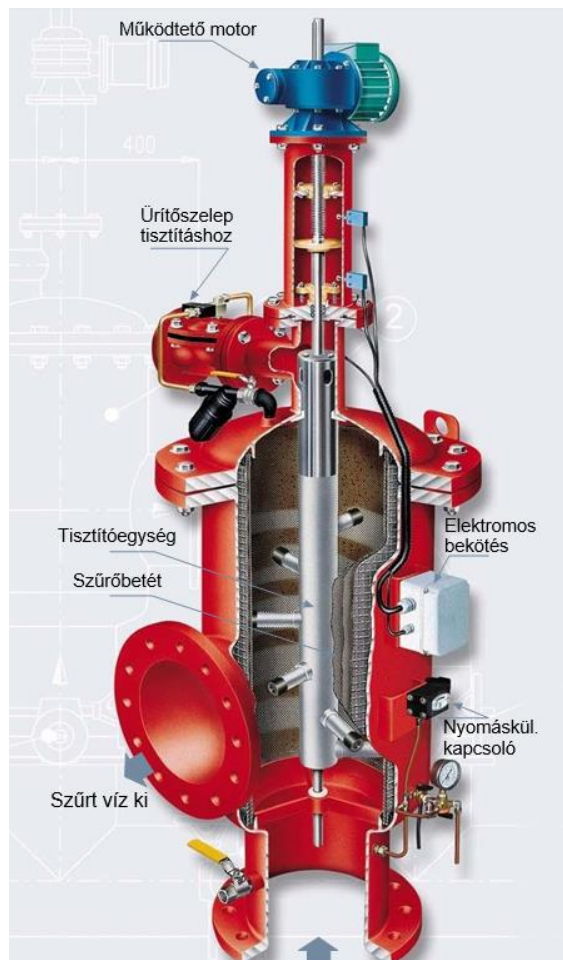
Szükségünk van egy szűrőre, ami megakadályozza a hőcserélő működésére káros anyagok, pl. emberi hámsejtek, **hajszálok**, egyéb szennyeződések eljutását a hőcserélőhöz. A hajszálok beakadnak a lemezes hőcserélő halszálkái közé, a hőcserélő megbontása nélkül javítása szinte lehetetlen. A nagyobb méretű szennyeződések már a szivattyú szűrőkosara kiválasztja. Fontos, hogy automata szűrőt válasszunk, hisz folyamatos üzemet várunk el, a szűrő tisztítása közben se álljon le a folyamat. További szempont az alacsony vízvesztés a tisztítás során.

Az Amiad Filtration Systems Ltd. által gyártott EBS 10000 egy pont ezen paramétereknek megfelelő automata szűrőberendezés. 4 rétegű rozsdamentes acél szűrőkosara hosszú élettartamú, de sérülés esetén is gyorsan cserélhető. Felépítését a 15. ábra szemlélteti.

Az EBS egy elektromotor hajtotta öntisztító mechanizmussal rendelkező automata szűrő. 800 és 10 mikron közötti szemcseméretre alkalmas szitaszövetekkel érhető el, DN200-DN600 csatlakozási mérettartományban.

A szűrő ellenállása nagyon kicsi, de fontos megjegyezni, hogy lerakódások esetén ez ugrásszerűen megnőhet.

A szűrőberendezés telepítéséhez nem szükséges gépház, kialakításának köszönhetően a szabadban is elhelyezhető a strand vagy a fűtőmű területén.



15. ábra: EBS szűrőberendezés felépítése (34)

4.5. Távvezetékpár

A strand területén lévő akna és a hőszivattyú között távvezeték párt szükséges lefektetni. A Csillag fűtőmű irányába haladó vezeték fogja szállítani a medencéből kifolyó termálvizet, erre a célra egy előszigetelt műanyag haszoncsöves rendszer lenne a legmegfelelőbb, a hőszivattyú által lehűtött vizet pedig egy szigetetlen KPE vezeték szállítaná vissza a strand aknájába.

Előremenő vezeték kiválasztásához több gyártótól is kértem segítséget. Konkrét ajánlatot egyáltalán nem kaptam, esetleg közvetett információkat. Nem minden cég forgalmaz előszigetelt távvezeték, előszigetelt műanyag haszoncsöves vezeték ek-

kora méretben pedig még kevesebben. Gyártástechnológiailag nincsen akadálya ekkora átmérőjű műanyag haszoncsöves előszigetelt vezeték legyártásának, azonban kereslet hiányában nem szerepel a gyártók palettáján.

A termálvezeték becsült hossza a 8. ábrán lévő nyomvonal alapján 850 m.

4.5.1. SZÜKSÉGES EMELŐMAGASSÁG MEGHATÁROZÁSA

A strand és a fűtőmű közötti geodéziai magasságkülönbség elhanyagolható, így a nyomásvesztés számítása a következő módon, kizárólag súrlódási veszteség alapján történt. A maximális térfogatáram hozzávetőlegesen 125 m³/h, a napi vízmennyiségből és annak egyenlőtlenségéből adódóan. Ennek segítségével megvizsgáltam különböző csőátmérőjű esetet (DN150: 40 m.v.o., DN200: 14 m.v.o. veszteség), ennek eredményeképpen DN200-as átmérőjű vezetékparra lenne szükség a jövőbeni esetleges bővítést is figyelembevéve. Ekkora átmérőnél adódó nyomásvesztés (hozzávetőlegesen 1,4 bar) leküzdésére megfelelő a strandon jelenleg üzemelő 2 darab búvárszivattyú.

A szükséges átmérőre vonatkozó számítások:

Áramlási sebesség:

$$v = \frac{Q \left[\frac{m^3}{s} \right]}{A[m^2]} = \frac{Q}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{0,0347}{\frac{0,2^2 \pi}{4}} = 1,1 \frac{m}{s} \quad 9.$$

- Előremenő ág egyenes szakasza:

A csősúrlódási tényező meghatározásához szükség van a Reynolds számra:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 1000}{0,0008} = 275000 \quad 10.$$

Mivel a Reynolds szám magasabb 2300-nál az áramlás nem lamináris, és mivel 10⁵-nél is nagyobb, ezért turbulens. λ értékét a Prandtl-Colebrook képlet alapján, illetve a Moody diagramról tudjuk leolvasni.

k=0,007 mm

D=200 mm

k/D=0,000035

$\lambda=0,015$

$$h'_{cső,előre} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,015 \cdot \frac{850}{0,2} \cdot \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 3,93 \text{ m. v. o.} \quad 11.$$

- Visszatérő egyenes szakaszra:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 1000}{0,0013} = 169231 \quad 12.$$

k=0,007 mm, D=200 mm, k/D=0,000035, $\lambda=0,016$

$$h'_{cső,vissza} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,016 \cdot \frac{850}{0,2} \cdot \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 4,19 \text{ m. v. o.} \quad 13.$$

- Idomdarabokra:

$$\zeta_{könyök}=1,3 \quad (14)$$

$$h'_{idom} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{1,3 \cdot 1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,08 \text{ m. v. o.} \quad 14.$$

Legfeljebb 20 könyökre lesz szükségünk a 8. ábrán látható nyomvonal alapján, ezek nyomásesése 5,3 m.v.o.

$$\begin{aligned} h' &= h'_{előre} + h'_{vissza} + h'_{idom} = 3,9 \text{ m. v. o.} + 4,2 \text{ m. v. o.} + 5,3 \text{ m. v. o.} \\ &= 13,4 \text{ m. v. o.} \end{aligned} \quad 15.$$

Az egyenes szakaszok és csőidomok nyomásesése összesen tehát nagyjából 14 méter vízoszlop.

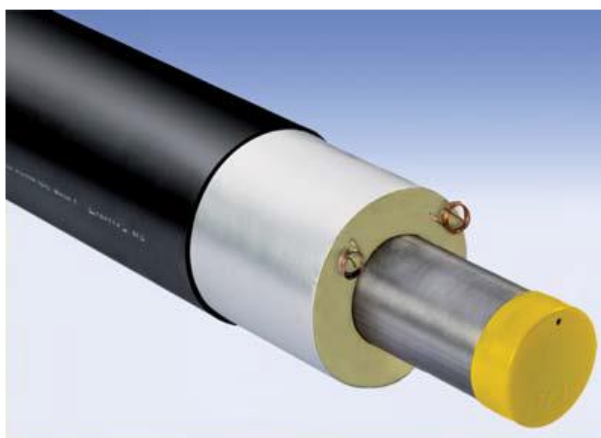
4.5.2. HŐVESZTESÉG MEGHATÁROZÁSA

DN200-as műanyag haszoncsöves rendszer adatainak hiányában az előszigetelt vezeték hőtechnikai jellemzőit egy ahhoz hasonló acél haszoncsöves vezeték adataiból számoltam. Ennek felépítése a 16. ábrán látható.

A csővezeték termékkatalógusában a gyártó mellékelte annak hőveszteségeit, ez alapján DN200-as méret, 0,8 m földtakarás esetén a vezeték hővesztesége mindössze 20,1 W/m. Ez a teljes előremenő csőszakaszra nézve:

$$850 \text{ m} \cdot 20,1 \text{ W/m} = 17085 \text{ W} = 17 \text{ kW} \quad 16.$$

Ez a hőveszteség a hőszivattyú teljesítményéhez képest elhanyagolható.



16. ábra: Előszigetelt csővezeték felépítése (17)

4.6. Hőszivattyú

A termálvíz hőjét egy hőcserélőn keresztül veszi fel egy alacsony forráspontú hűtőközeg. A hűtőközeg az elpárologtatón hőt vesz fel, a kompresszorba gáznemű közeg lép be a szívóvezetéken keresztül. Itt elektromos energia bevezetésével a közeg összenyomódik, a nyomása és a hőmérséklete megnövekszik majd a nyomóvezetékbe kerül. A hőleadás a fűtési rendszer felé a kondenzátorban történik, a közeg cseppfolyóssá válik. Folyadék halmazállapotban áthalad az expanziós szelepen, nyomása és hőmérséklete lecsökken, hogy a kiindulási ponthoz visszatérve ismét fel tudja venni a termálvíz hőjét. Minél nagyobb a hőmérsékletkülönbség, annál jobban működik a folyamat. A hőszivattyú és szerelvényei becsült hidraulikai ellenállása kb. 0,5 bar.

Ekkora teljesítménynél a különböző gyártóktól (hőcserélő, kompresszor, villamos hajtás, expanziós szelep, automatika, szerelvények, egyéb kiegészítők stb.) előre méretezett, megtervezett és megvásárolt részegységeket a helyszínen építi össze, telepíti és rendszerként helyezi üzembe a projekt nyertese. Egy ilyen lehetséges fővállalkozó a svéd Termoekonomi AB, aki már több hasonló projektet valósított meg (18).

4.6.1. HŰTŐKÖZEG

Az alkalmazott hűtőközegnek számos követelménynek kell megfelelnie. Lehetőség szerint alacsony forráspontú, kicsi fajlagos gőztérfogatú és magas hőkapacitású közeget válasszunk. Legfontosabb azonban, hogy a hőszivattyú részegységeiben és a használt kenőanyagokban ne tehessen kárt. Továbbá ne legyen mérgező, se gyúlékony vagy robbanásveszélyes.

4.7. Hőtároló

Az ingadozások kiküszöbölésére a mellékágon szükséges hőtárolót elhelyezni. Fontos rendszerem, hiszen az esténként, a medencék leürítésekor egyszerre jelentkezik nagy hőmennyiség, napközben pedig ennek csupán töredéke, tehát a termelés időben teljesen eltér a fogyasztástól.

A nagyságrendileg 100 m³ térfogatú, álló hengeres, hőszigetelt acéltartály a hőszivattyú által megtermelt hőt tárolná el.

4.8. Meglévő leürítő vezeték

Mint korábban említettem, a lehűtött víz visszasajtolása nem lehetséges, ezért továbbra is a Dunába lesz elvezetve a hőszivattyúban már lehűtött víz a strand meglévő leürítő rendszerén keresztül, az aknához pedig a szigeteletlen hőszivattyút és az osztót összekötő távvezetéken jut el.

5. A TERVEZETT RENDSZER ÜZEMBEÁLLÍTÁSÁNAK KÖRNYEZETRE GYAKOROLT HATÁSAI

5.1. Lokális emissziócsökkentés

Az ellátási területet jelenleg ellátó kondenzációs kazánok kiváltása a környék fűtésével járó összes lokális üvegházhatású gáz kibocsátást megszüntetné.

A Csillag fűtőműben 2 darab 900 kW beépített teljesítményű kondenzációs gázkazán üzemel. Hatásfokuk 101% körül van, bár ez télen valamivel kevesebb. A Komáromi Távhőszolgáltató adatai szerint a tavalyi, 2019-es évben elfogyasztott földgáz mennyisége 223 399 normál köbméter volt. A földgáz sűrűsége megközelítőleg 0,68 kg/m³.

A földgáz 97%-ban metánt tartalmaz, ezen kívül nagyon kis mennyiségben nitrogént, etánt, szén-dioxidot, propánt és butánt. Mivel ezen összetevők mindegyike 1%-nál kisebb arányban van jelen, a számításoknál elhanyagoltam őket.

Földgáz égésekor szén-dioxid és víz, valamint NO_x és CO is keletkezik, de ezek mennyisége elhanyagolható. Így a következőképp játszódik le a folyamat:



1 mol CH₄ elégetésekor 1 mol CO₂ keletkezik. A 17. egyenlet moláris tömegekkel kiegészítve:

$$(12 + 1 \cdot 4) \frac{g}{mol} + 2 \cdot 2 \cdot 16 \frac{g}{mol} = (12 + 2 \cdot 16) \frac{g}{mol} + 2 \cdot (1 \cdot 2 + 16) \frac{g}{mol} \quad 18.$$

A 18. egyenletből látszik, hogy 16 g metán elégetésekor 44 g szén-dioxid keletkezik. Ha meg szeretnénk tudni hány grammnak felel meg az egy év alatt eltüzelt földgáz mennyiség a sűrűség képletét kell alkalmaznunk:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V = 0,68 \frac{kg}{m^3} \cdot 223399 Nm^3 = 151911,32 kg = 151911,32 t \quad 19.$$

Ha 16 g CH₄ elégetése 44 g CO₂-t eredményez, akkor 1 g 44/16 grammot, tehát:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{16} \cdot 151911,32 g = 417756,13 t = 417,756 t \quad 20.$$

Egy év alatt tehát több, mint 417,8 tonna szén-dioxid kibocsátástól mentesülne a város.

5.2. Rendszerek villamos energia felhasználása

Az elhasznált villamos áram környezetre gyakorolt hatása a mindenkori villamosenergia termelés szerkezetétől függ. A megújuló energiaforrások terjedésével az egy kilowattóra eső károsanyag-kibocsátás évről évre csökken, ennek értéke kb. 350 g CO₂/kWh (19).

5.2.1. VILLAMOS ENERGIA MEGTAKARÍTÁS

A kazánok leállításával kazánégők áramfelvétele is megszűnik. Az égők egyenként 2,2 kW villamos teljesítményűek, két kazánál ez 4,4 kW-ot jelent. Nyáron csak egy kazán üzemel, a használati melegvíz igényének fedezésére. Az átmeneti időszakban szintén elegendő egy kazán teljesítménye a lakótelep kifűtésére. Egyedül a téli hónapokban működnek párhuzamosan. Tehát 75%-ban 2,2 kW, 25%-ban 4,4 kW az égők teljesítménye. Téli napok száma 90, nyári és átmeneti napok száma pedig 275. Így az égők áramfelvétele egy teljes évre:

$$W = P \cdot t \quad 21.$$

$$W = 275 \text{ nap} \cdot 24 \text{ h} \cdot 2,2 \text{ kW} + 90 \text{ nap} \cdot 24 \text{ h} \cdot 4,4 \text{ kW} = 24024 \text{ kWh} = 24 \text{ MWh} \quad 22.$$

Egy év alatt tehát kb. 24 MWh villamosenergiát használnak fel a kazánok égői.

$$m_{CO_2} = 24024 \text{ kWh} \cdot 350 \frac{g}{kWh} = 8408400 \text{ g} = 8408,4 \text{ kg} \quad 23.$$

A kazánok leállításával egy év alatt eszerint további 8,4 tonna szén-dioxid kibocsátást spórolna meg a kazánok leállítása.

5.2.2. TÖBBLET VILLAMOSENERGIA FELHASZNÁLÁS

A hőszivattyú kompresszorának meghajtásához szükséges villamos teljesítmény jelent meghatározó többlet primerenergia igény. A strandi búvárszivattyúk jelenlegi kedvezőtlen üzemének optimalizálásával azok áramfelvétele nem nőne meg különösebben a hőhasznosító szakasz beiktatásával. A berendezésekhez használt egyéb elektronika áramfelhasználása nem számottevő.

A hőszivattyú hőteliességének 3,4 MW-ot vettem fel a 2.5. fejezetben részletezett számítások eredményeképpen. Víz-víz hőszivattyúk teljesítménytényezője 4 és 6 körüli, átlagosan 4,9 (20), a mi esetünkben a víz hőmérsékletét figyelembe véve COP=5 teljesen reális.

$$P = \frac{q}{COP} = \frac{3,4 \text{ MW}}{5} = 0,68 \text{ MW} \quad 24.$$

A hőszivattyú kompresszora által felvett villamos teljesítmény tehát kb. 680 kW. Habár ez a villamos teljesítmény a mindennapi életben igen nagyban tűnik, ilyen kategóriájú hőszivattyúk esetében azonban nem meglepő.

Ahhoz, hogy 1 GJ hőenergiát nyerjünk ki a termálvízből:

$$P = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{1 \text{ GJ}}{3,4 \text{ MW}} = \frac{1000000 \text{ kJ}}{3400 \text{ kJ/s}} = 294,1 \text{ s} \quad 25.$$

Ennek értelmében 294,1 másodpercig kell üzemelnie a hőszivattyúnak 1GJ hő előállításához. Ennyi idő alatt a hajtás villamosenergia felhasználása:

$$W = P \cdot t = 0,68MW \cdot 294,1s = 680kW \cdot 0,0817h = 55,56kWh \quad 26.$$

1 GJ hőenergia előállításához szükséges villamosenergia felhasználás tehát 55,56 kWh. A hőszivattyúnak kb. 7108GJ-t szükséges megtermelnie évente a jelenlegi fogyasztási adatok mellett. Ennyi megtermelt hőenergia villamosenergia igénye hőszivattyúval:

$$7108GJ \cdot 55,56 \frac{kWh}{GJ} = 394920,5kWh \quad 27.$$

Ez alapján a hőszivattyú működéséhez köthető szén-dioxid kibocsátás egy év alatt:

$$m_{CO_2} = 394920,5kWh \cdot 350 \frac{g}{kWh} = 138222175g = 138222kg. \quad 28.$$

5.3. Hulladékhőhasznosítás környezeti mérlege

A hőszivattyú üzembe állításával megtakarítható szén-dioxid kibocsátás a fenti eredményeket összegezve:

$$m_{CO_2, megtak} = m_{CO_2, kazán} + m_{CO_2, égő} - m_{CO_2, hőszivattyú} = 417,8t + 8,4t - 138,2t = 288t \quad 29.$$

Évente így 288 tonna szén-dioxid kibocsátás lenne elkerülhető a környék jelenleg is távhőre kapcsolt épületeinek a tervezett rendszerrel való ellátásával. Fogyasztók növelésével ez az érték többszörösére növelhető. A termálvíz felhasználása helyi szinten 100%-ban károsanyagkibocsátásmentes fűtési megoldást jelentene, globálisan pedig kb. 68%-kal csökkenne a szén-dioxid emisszió.

6. GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁSOK

6.1. Beruházás becsült költségei

Előremenő szigetelt távvezeték	22,2 millió Ft
Visszatérő szigeteletlen PE nyomócső	15 millió Ft
Osztó, szerelvények, elektronika	8 millió Ft
Szűrő	9,2 millió Ft
Hőszivattyú	126 millió Ft
Hőtároló	20 millió Ft
Földmunka	22 millió Ft
Egyéb kivitelezési költségek	8 millió Ft
Tervezés, engedélyezés, dokumentáció: a beruházás 7%-a	16,1 millió Ft

A fenti költségeket összegezve:

$$22,2mFt + 15mFt + 8mFt + 9,2mFt + 126mFt + 20mFt + 22mFt + 16,1mFt + 8mFt = 246,1mFt \quad 30.$$

A beruházás teljes becsült költsége tehát 246 millió forint.

6.2. Fejlesztés várható megtérülése

A beruházás megtérülési ideje döntő mértékben függ az elnyerhető támogatástól. Tudjuk, hogy energetikai beruházásokra, ezen belül kiemelten megújuló energiatípusok hasznosítására a jövőben is magas intenzitású támogatások érhetőek el (50-80%), a projekt megtérülését mindenképpen ezt figyelembe kell kiszámolni, hiszen enélkül nagyon hosszú időt venne igénybe a megtérülés. Az Európai Unió 2030-ig 55%-kal kívánja mérsékelni a szén-dioxid kibocsátást (39). Várható, hogy ennek elérésének érdekében nagyon magas intenzitású támogatásokat fognak kapni az ezt támogató beruházások.

A támogatásokon kívül lényeges szempont a hő előállításának költsége az egyes rendszerekkel, ezt az alábbi számolásokkal állapítottam meg.

6.2.1. JELENLEGI ÁLLAPOT

A földgáz fűtőértéke az NKM szerint 34,00 MJ/ m³, ettől ± 5%-os eltérés megengedett. 1 m³ földgáz elégetésekor tehát 34 MJ hő keletkezik. 1000 MJ (1GJ) hő előállításához szükséges:

$$V = \frac{Q}{H} = \frac{1000MJ}{34MJ/m^3} = 29,4m^3. \quad 31.$$

A földgáz ára jelenleg rendszerhasználati díjakkal és a gáz árával egyetemben 89 Ft/m³.

1 GJ hő előállításának földgáz költsége:

$$K_{földgáz} = k_{földgáz} \cdot V = 89Ft/m^3 \cdot 29,4m^3 = 2616,6Ft \quad 32.$$

A hő előállításának ára földgáztüzeléssel tehát 2616,6 Ft/GJ.

Mint fentebb már említésre került, a kazánok égői jelentős áramfelvétellel rendelkeznek, így a fajlagos költség számításába a felhasznált villamosenergia árát is szükséges belevenni. A Komtávhő jelenleg 39,4 forintot fizet kilowattóránként. A 22. számítás szerint az egy éves villamosenergia felhasználás megközelítőleg 24 MWh = 24 000 kWh. Ebből az égők által használt villamos energia éves költsége:

$$K_{vill.,éves} = k_{vill} \cdot W = 39,4 \frac{Ft}{kWh} \cdot 24000kWh = 945600Ft \quad 33.$$

2019-ben Csillag fűtőmű által megtermelt hő:

$$4580 GJ + 2528GJ = 7108GJ \quad 34.$$

Ez alapján 1GJ előállításához felhasznált villamosenergia ára:

$$\frac{945600Ft}{7108GJ} = 133 \frac{Ft}{GJ} \quad 35.$$

Ezek alapján a hőtermelés fajlagos költsége jelenleg:

$$2616 \frac{Ft}{GJ} + 133 \frac{Ft}{GJ} = 2749 \frac{Ft}{GJ} \quad 36.$$

6.2.2. ELŐÁLLÍTÁS KÖLTSÉGE HULLADÉKHŐBŐL

A hőszivattyús rendszerrel megtermelt hőenergia előállításának árát a kompresszor 5.2.2 fejezetben részletezett áramfelvétele határozza meg. Eszerint 1 GJ hő előállításához 55,56 kWh villamosenergia szükséges. Ennek költsége:

$$55,56 \frac{kWh}{GJ} \cdot 39,4 \frac{Ft}{kWh} = 2189 \frac{Ft}{GJ} \quad 37.$$

6.2.3. ÉRTÉKESÍTÉS

Az ügyfelek által fizetendő összeg 3098,268Ft/GJ (18). Mivel a beruházás erre nincs hatással, a megtakarítás alapja az előállítás költségének csökkenése.

Jelenleg a távhőszolgáltató 2749 Ft/GJ áron állítja elő a hőt. A tervezett rendszerrel ez 2189 Ft/GJ-ra lenne csökkenthető. Az árkülönbözet:

$$2749 \frac{Ft}{GJ} - 2189 \frac{Ft}{GJ} = 560 \frac{Ft}{GJ} \quad 38.$$

Jelenleg a Csillag lakótelep hőigénye 7108 GJ/év, ez alapján az éves megtakarítás:

$$7108 \frac{GJ}{\text{év}} \cdot 560 \frac{Ft}{GJ} = 3980480 \frac{Ft}{\text{év}} \quad 39.$$

Egy év alatt tehát 3 980 480 forint lenne megtakarítható a 221 lakásos lakótelep hőtermelőjének cseréjével. Ez az összeg a korábban részletezett fogyasztók távhőre csatlakoztatásával többszörösére nőhetne, gazdaságosabbá téve a beruházást.

A projekt megtérülésének ideje az önerő és az éves megtakarítás hányadosa. A 6.2.-ben említett két változatot mutatja be az 1. Táblázat.

1. Táblázat

Támogatás mértéke	50%	80%
Önerő	123 mFt	49,2 mFt
Megtérülési idő	31,5 év	12,6 év

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban egy fenntartható, környezetkímélő hőtermelési megoldást mutattam be, mellyel egy városrész teljes hőellátása lenne biztosítható zéró lokális károsanyag kibocsátással. Egy valós szituációt dolgoztam fel, a tervezett rendszer akár néhány éven belül megvalósítható lenne. Ténylegesen rendelkezésre álló, jelenleg egyáltalán nem hasznosított geotermikus energiát lehetne a lakosság széles tömegei számára gazdaságosan, környezetbarát módon hasznosítani. Kutatásaim során talákoztam hasonló távhős alkalmazásokkal, az ottani tapasztalatokat felhasználva alapoztam meg munkámat a helyi környezeti adottságokra a komáromi távhő rendszerre specifikusan. Ez a szakdolgozat tanulmányát képezheti egy később megvalósuló fejlesztésnek.

A Brigetio Gyógyfürdő elhasznált, Dunába engedett termálvize egy hőszivattyú beiktatásával képes lenne a Csillag lakótelep környékének teljes hőigényét kielégíteni.

Méréseket végeztem a gyógyfürdő medencéinek elfolyó vizét összegyűjtő aknában a hasznosítandó víz hőmérsékletére és mennyiségére vonatkozóan. Ezen adatok ismeretében és a fürdő üzemeltetési szokásait figyelembe véve megállapítottam a hőszivattyú rendelkezésére álló hőmennyiséget. Méréseimből következtetéseket levonva javaslatot tettem a bűvárszivattyúk előnyösebb üzemállapotának kialakítására.

Mivel a hasznosítás helye nem közvetlenül a fürdő mellett van, meghatároztam egy lehetséges nyomvonalat a termálvíz elvezetésére. Ennek segítségével kiszámoltam a cső áramlási veszteségeit két lehetséges csőátmérőre és kiválasztottam a szivattyúzás szempontjából kedvezőbbet. A vízben lévő szennyeződések hőcserélőt károsító hatását elkerülendő a rendszerbe illesztettem egy automata szűrőberendezést. Kitértem a működéshez szükséges további alkotóelemek funkciójára is.

A beruházás megtérülésének kalkulálásához árajánlatot kértem több gyártótól is minden rendszerelemre, azonban egyes esetekben konkrét ár hiányában becsült értékekkel számoltam. Itt figyelembe vettem megújuló energiaforrások hasznosítására elérhető magas intenzitású támogatásokat is, két lehetséges esetre meghatároztam a megtérülési időt.

Ismertettem a jelenlegi gázkazános hőtermelés termálenergiával való helyettesítésének környezeti hatásait és kiszámítottam az elérhető károsanyag-kibocsátás megtakarítást. Kitértem arra is, hogy a rendszer fogyasztóinak növelése milyen további előnyökkel járna.

Az ehhez hasonló fejlesztések elengedhetetlenek a fűtési szektor dekarbonizálásához és az EU határozatban rögzített drasztikus szén-dioxid csökkentési célok eléréséhez. Ki kell használnunk minden olyan hőforrást, amellyel károsanyagkibocsátás nélkül elégíthetők ki fűtési és használati melegvíz igényeink.

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. **McGrath, Matt.** BBC news. [Online] 15 01 2020. <https://www.bbc.com/news/science-environment-51111176>.
2. **Actuary, Gail the.** The Oil Drum. [Online] 2012. <http://theoildrum.com/node/9023>.
3. **Consultancy.uk.** [Online] 04 07 2017. <https://www.consultancy.uk/news/13553/global-co2-emissions-and-the-20-most-polluting-countries-in-the-world>.
4. **AEBIOM.** *EU handbook - district heating markets*. Brussels : s.n., 2012.
5. **M.A. Sayegha, P. Jadwyszczaka, B. P. Axcell, E. Niemierka, K. Brys, H. Jouhara.** Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating. *Elsevier*. 2018.
6. **Zrt., Főtáv.** Főtáv Budapest. [Online] <http://www.fotav.hu/szolgalatasunkrol/a-tavfutesrol/a-tavfutes-tortenete>.
7. **Nagyné Sári Aliz Imola, Szilassi Andrea.** *Helytörténeti séta Bánhida erőműi lakótelepén*. 2020.
8. **T-szol.** Sajtóközlemény – Fél évszázada a tatabányaiak szolgálatában. [Online] 2017.08 28. <https://tszol.hu/2017/08/28/sajtokozlemeny-fel-evszazada-tatabanyaiak-szolgalataban/>.
9. *Kapcsolt energiatermelés Magyarországon.* **Viktor, Rudolf.** 2010., e-villamos.hu.
10. **Kft., Mannvit.** *Előzetes szakmai megalapozó tanulmány intézmények geotermikus fűtésére Komárom város területén*. Komárom : Mannvit Kft., 2016.
11. **Komárom, Brigetio Gyógyfürdő.** Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Online] Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Hivatkozva: 2020. 11 29.] <http://www.komthermal.hu/szolgaltatasok/gyogyaszat>.
12. —. Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Online] Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Hivatkozva: 2020. 11 29.] <http://www.komthermal.hu/furdo/medencek>.
13. **Barabás Enikő, dr. Bíró Ildikó, dr. Galambos Ildikó.** *Elfolyó termálvíz elhelyezési kérdései*. hely nélk. : Pannon Egyetem Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ.
14. *Épületechnikai Tudástár.*
15. **Termoekonomi.** [Online] <http://www.termoekonomi.se/en/referenser/>.
16. **Zsolt, Rác.** 1kWh villamos energia = 0,35 kg széndioxid kibocsátás. [Online] <https://www.mnnsz.hu/1kwh-villamos-energia-05-kg-szendioxid-kibocsatas/>.
17. **Shinsuke Furuno, Limi Okoshima, Sadanori Sase.** *Comparison of coefficient of performance (COP) between an underground water source heat pump system and an air source heat pump system for greenhouse heating in cold and snowy areas in Japan*. 2016.
18. **Kft., Komáromi Távhőszolgáltató.** [Online] <https://www.komaromitavho.hu/>.
19. *2005. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról.* 2005.
20. *A state of art review on the district heating systems.* **Abdur Rehman Mazhar, Shuli Liu, Ashish Shukla.** 2018, Elsevier.

21. Agency, European Environment. *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2018 and inventory report 2020*. Copenhagen : European Environment Agency, 2020.
22. Agency, International Energy. *Linking heat and electricity systems: co-generation and district heating and cooling solutions for a clean energy future*. Paris, France : International Energy Agency, 2014.
23. István, Erdei. Matászs Online Akadémia. [Online] <http://tavho.org/uploads/learning/5/e82d633ad29d9ac446ca211ca3fd520e.pdf>.
24. al., Pachauri RK et. *Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva : s.n., 2014.
25. *District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements*. Behnaz Rezaie, Marc A. Rosen. 2012, Elsevier.
26. *An EU Strategy on Heating and Cooling*. Commission, EU. Brussels, Belgium : s.n., 2016. EU Commission.
27. *Új termálvíz távfűtés lehetősége*. Dr. Garbai László, Dr. Kontra Jenő, Varga János. 2019., Magyar Installateur.
28. *Heat savings in buildings in a 100% renewable heat and power system in Denmark with different shares of district heating*. Erika Zvingilaite, Olexandr Balyk. 2014, Elsevier.
29. *Potential for balancing wind and solar power using heat pump heating and cooling systems*. Fischer D, Lindberg KB, Mueller S, Wiemken E, Wille-Hausmann B. *Proceedings of the 4th solar integration workshop, Berlin, Germany* : s.n.
30. István, Sarkadi. Rómaikor. [Online] http://www.romaikor.hu/romai_epiteszet/romai_epiteszeti_technologiak/futesi_rendszerek/cikk/hypocaustum_%E2%80%93_a_kozponti_futes.
31. Kft., Isoplus Távhővezetékgyártó. *Merev vezetékrendszerek. hely nélk.* : Isoplus Távhővezetékgyártó Kft.
32. *Contracts, Business Models and Barriers to Investing in Low Temperature District Heating Projects*. Kristina Lygnerud, Edward Wheatcroft, Henry Wynn. 2019, Applied sciences.
33. Ltd., Amiad Filtration Systems. *"EBS" Filter Series Brochure*. s.l. : Amiad Filtration Systems Ltd.
34. „A DEKARBONIZÁCIÓ KÖLTSÉGEI” TANULMÁNY VILÁGPREMIERJE BUDAPESTEN. Pál, Kovács. 2019., ENERGIAforrás.
35. Power, EuroHeat and. *Guidelines for district heating substations & countrywise survey*. Brussels : EuroHeat and Power, 2008.
36. *District Heating and Cooling*. S Frederiksen, S Werner. 2013, Studentlitteratur AB.

37. *Multi-objectives, multi-period optimization of district energy systems: II—Daily thermal storage*. SamiraFazlollahi, Gwenaëlle Becker, François Maréchal. 2013, Elsevier.
38. *5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe*. Simone Buffaa, Marco Cozzini, Matteo D'Antoni, Marco Baratieri, Roberto Fedrizzi. 2018, Elsevier.
39. Tanács, Európai. Az EU Tanácsának és az Európai Tanácsnak a hivatalos honlapja. [Online] 2020. <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/>.
40. *Heat Roadmap Europe: Heat distribution costs*. Urban Persson, Eva Wiechers, Bernd Möller, Sven Werner. 2019, Elsevier.
41. Urteaga, Diego. EU agrees to reduce its CO2 emissions by 55% by 2030. 11 12 2020.
42. *International review of district heating and cooling*. Werner, Sven. 2017, Elsevier.
43. Xylem. [Online] <https://www.xylem.com/en-us/products-services/pumps-packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/channel-impeller-pumps/flygt-channel-impeller-pumps/c-3201/curves/>.
44. Zrt., NKM. nkmenergia.hu. [Online] NKM Zrt. <https://www.nkmenergia.hu/foldgaz/Egyetemes-Szolgalatas/Ugyintezes/Arak-dijszabasok/A-gaz-ararol>.
45. Zrt., Tigáz. mindent a földgázzól. [Online] <http://www.mindentafoldgazrol.hu/ellatasbiztonsag/mi-a-foldgaz/kornyezetvedelem>.