

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

KECSKEMÉTI DÁVID

Strandfürdő hulladék hőjének hőszivattyús hasznosítása
Komárom város távhőellátó rendszerében

Konzulens:

Nemes Sándor

főmérnök

Komáromi Távhőszolgáltató Kft.

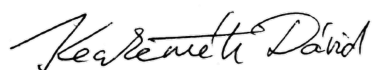
Témavezető:

Dr. Bokor Balázs

egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és

Gazdaságtudományi Egyetem



Budapest, 2021

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke	2
Bevezetés.....	3
1. hulladékhő és megújuló energiaforrások távhőellátó rendszerekben való alkalmazásának gyakorlata nemzetközi irodalom alapján	4
1.1. Közös nemzetközi érdek.....	4
1.2. Fenntartható hőforrások	5
1.3. Ötödik generációs távhő	6
1.4. Megújuló energiaforrások teljesítményingásának kiküszöbölése	7
1.5. Lund.....	7
2. Komárom város távhőellátó rendszerének fejlődése, jelenlegi állapota	9
2.1. Távfűtés kialakulása, magyar vonatkozásai	9
2.2. Komáromi rendszer	9
2.3. Jogi környezet-hármas lépcső	11
2.4. Hőtermelés	11
2.5. Primer hálózat	12
2.6. Hőközpontok.....	13
2.7. Fogyasztók	14
2.8. Elszámolás.....	14
2.9. Elképzelések	15
3. Brigetio Gyógyfürdőnél előálló hulladékhő jellege, annak hasznosítási lehetősége	16
3.1. Termálvíz forrása	16
3.2. Fürdő medencéi.....	16
3.3. Elhasznált víz.....	18
3.4. Energetikai hasznosítás menete	19
3.5. Ellátási terület.....	20
4. Mérések a hulladékhő potenciál becslése érdekében és az eredmények értékelése	22
4.1. A felhasználható átlagos vízmennyiség mérése.....	22
4.2. Elfolyó térfogatáram meghatározása	22
4.3. Elfolyó víz hőmérsékletének mérése.....	24
4.4. Víz hőtartalmának meghatározása.....	26
4.5. Hőszivattyú teljesítménye	26
5. hulladékhő hasznosító rendszer elemei	27
5.1. Akna.....	27
5.2. Szivattyú.....	27
5.3. Osztó, csőszelvények, szelepek	29
5.4. Szűrő	30
5.4.1. Szűrőberendezés elhelyezése	31
5.5. Távezetékpár	32
5.5.1. Szükséges emelőmagasság meghatározása	32
5.5.2. Csőméret kiválasztása	35
5.5.3. Hővesztesség meghatározása	36
5.6. Hőszivattyú.....	37

5.6.1. Hűtőközeg.....	37
5.7. Hőtároló.....	37
5.8. Meglévő leürítő vezeték.....	37
6. A tervezett rendszer üzembeállításának környezetre gyakorolt hatásai	38
6.1. Lokális emissziócsökkentés	38
6.2. Rendszerek villamos energia felhasználása	39
6.2.1. Villamos energia megtakarítás	39
6.2.2. Többlet villamosenergia felhasználás	39
6.3. Hulladékhőhasznosítás környezeti mérlege.....	41
7. Gazdaságossági számítások	42
7.1. Beruházás becsült költségei.....	42
7.2. Fejlesztés várható megtérülése	42
7.2.1. Jelenlegi állapot	42
7.2.2. Előállítás költsége hulladékhőből.....	43
7.2.3. Értékesítés	44
8. Összefoglalás.....	45
Köszönetnyilvánítás.....	46
9. Irodalomjegyzék	47
10. Summary.....	50

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

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

Latin betűk

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

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
ζ	alaki ellenállás-tényező	1
λ	súrlódási tényező	1
μ	dinamikai viszkozitás	$\text{Pa}\cdot\text{s}$
ρ	sűrűség	kg/m^3

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.

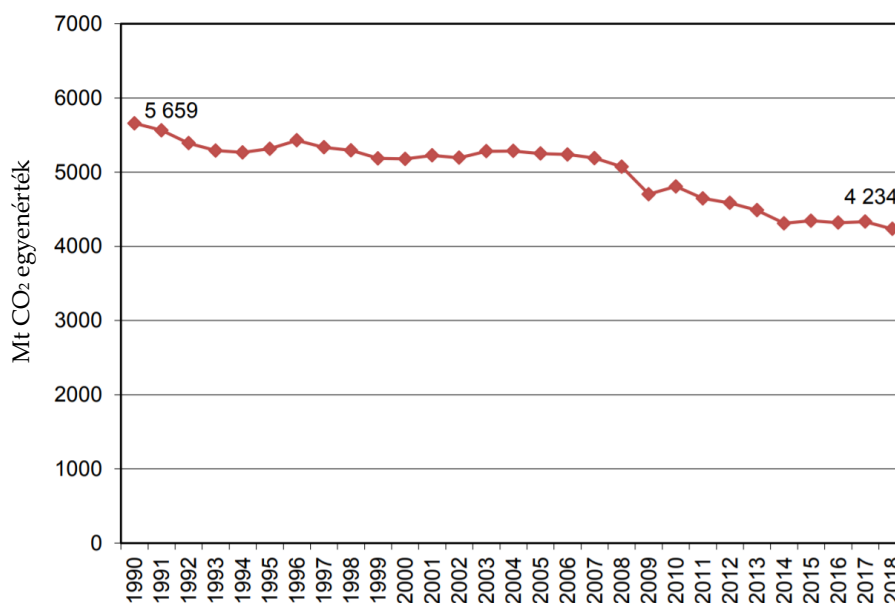
Dolgozatomban egy olyan rendszert szeretnék bemutatni, ami a Komáromi Termálfürdő elfolyó vizének hőtartalmát hasznosítja hőszivattyú segítségével. Az így előálló meleg víz alkalmas lenne a város egy részének távhővel való ellátására, csökkentve a környék hőellátásának környezetre gyakorolt hatását.

1. HULLADÉKHŐ ÉS MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK TÁVHŐEL- LÁTÓ RENDSZEREK BEN VALÓ ALKALMAZÁSÁNAK GYAKOR- LATA NEMZETKÖZI IRODALOM ALAPJÁN

1.1. Közös nemzetközi érdek

Az Európai Unió teljes energiafelhasználásának körülbelül a fele a fűtési és hűtési energiaigények fedezésére fordítódik (6). Ilyen nagy energiamennyiségnél még néhány százalék hatásfokjavítás vagy a megújuló részarány kis növelése is óriási energiamegtakarítást jelent. Környezetünk megóvásának és a klímaváltozás megállításának érdekében erőteljes intézkedésekre van szükség (7).

Több nemzetközi szervezet is felismerte a veszélyt és lépéseket tett a megoldására, így született meg többek között az ENSZ éghajlat-változási keretegyezménye, a kiotói jegyzőkönyv, az éghajlatváltozásról szóló Párizsi éghajlatvédelmi egyezmény vagy az uniós éghajlat- és energiapolitikai intézkedéscsomagok (8).



1. ábra: EU27, Izland és Egyesült Királyság ühg kibocsátásai (9)

A résztvevő felek vállalták üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését, az energiahatékonyság és a megújuló részarány fokozását. A kezdeményezések sikeresnek mondhatóak, hiszen ahogy az 1. ábrán látható, az üvegházhatású gázok kibocsátásai 2018-ra 25,2%-kal csökkentek az 1990-es bázisévhez viszonyítva (9). A 2020-ra megfogalmazott célokat sikerült elérni, azonban a jövőre nézve sokkal drasztikusabbak a tervek. Az EU vállalta, hogy 1990-hez képest 40%-os kibocsátáscsökkentést ér el 2030-ra, 2050-re pedig teljes klímasemlegességet (8).

A célok teljesítéséhez nagymértékű változtatásokra van szükség, és mivel jelenleg a fűtési szektor mindössze 12%-a megújuló alapú (10), hatalmas potenciál van annak

zöldebbé tételében. A természetben megtalálható energiaforrásokon túl az EU melegvíz és fűtési energiaigényének több, mint 10%-a, évente megközelítőleg 1,2 EJ energia elérhető lenne különböző emberi tevékenységek hulladékhőjének hasznosításából (11). Hulladékhő hasznosításához azonban távhőrendszerek kiépítésére van szükség, hiszen ez a hőforrás általában jellemzően a kívánt felhasználástól távol van jelen. Lelassítja a folyamatot, hogy Európa hőigényének csupán 10%-át elégíti ki távhőszolgáltatás (10). Ez a szám nagyon alacsony ahhoz képest, hogy az összes hőigény 78%-a az összes földterület 1,4%-án jelenik meg, tehát az EU még korántsem érte el telítettségét a távhőellátás területén, a legnagyobb fejlesztési potenciál pedig a sűrűn lakott városokban van (12). Távhőrendszerek ígéretes megoldást tudnak nyújtani fűtésre és hűtésre egyaránt a primerenergia igény és a helyi emissziók csökkentésével (13), (14).

A távfűtés alap gondolata (15) olyan helyi tüzelőanyag vagy hőforrások felhasználása, amelyek egyébként kárba vesznének. Ilyen hőforrások például a hulladékhasznosító művek, a kapcsolt energiatermelés vagy adatközpontok, szennyvíztelepek, metróalagutak, ipari folyamatok hulladékhői. Sok esetben azonban a hőtermelés földgáz, szén, vagy olaj elégetésével történik. Ennek javítására jelenleg távhőrendszerek fejlesztésekor a hangsúly megújuló energiaforrások és hulladékhő rendszerbe illesztésén van (16).

1.2. Fenntartható hőforrások

Fenntarthatóság szempontjából ideális hőforrások a megújuló energiaforrások és hulladékhők (17). Ezek közül a távhőben legjobban hasznosítható technológiákat 1 és 9 közötti pontszámmal értékelték, feltüntetve az egyes kihívásokat és a technológiában rejlő lehetőségeket (10). A legmagasabb, 9 pontszámot elért hőforrások közt van a geotermia is a bioenergiák, ipari hulladékhő, energetikai hulladékhasznosítás és napenergia mellett.

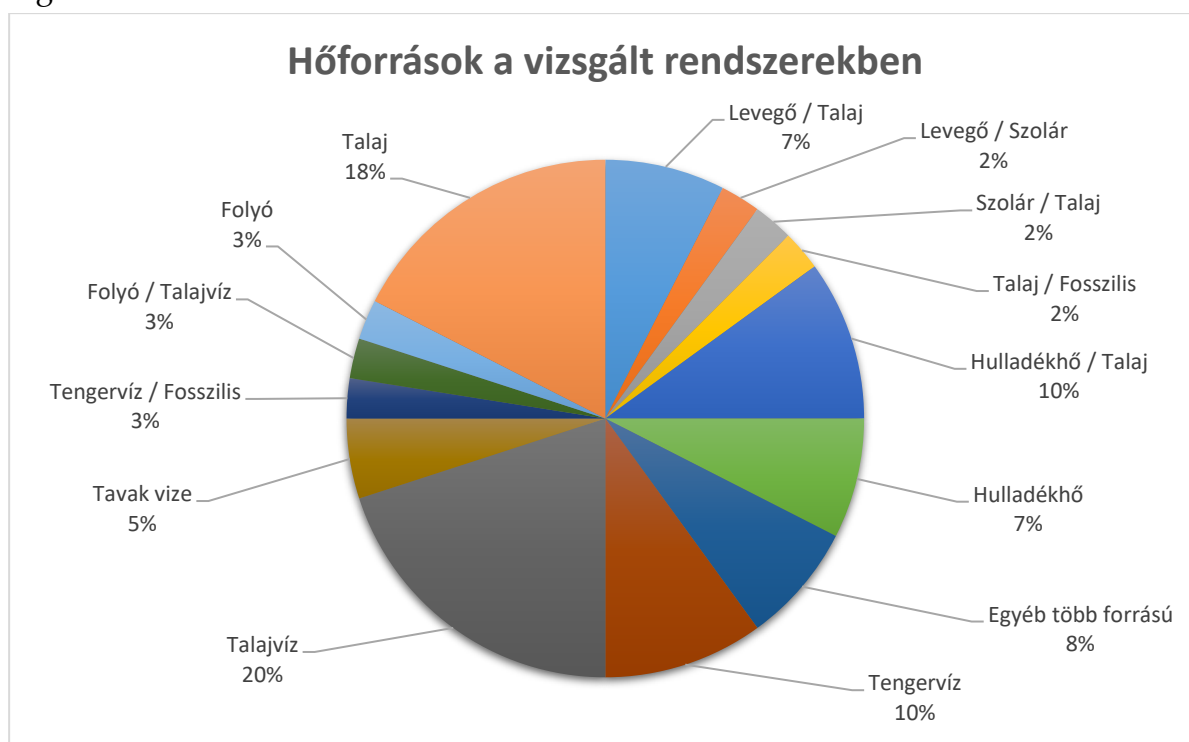
Ugyan a geotermia a legrégebb óta használt hőforrás a távhőrendszerekben, elterjedését megnehezítette a fúrás és a szükséges eszközök nagyon magas költségei, amik sok esetben teljesen gazdaságilag versenyképtelenné tették. Másik hátránya, hogy a hőforrások általában lakott területektől távolabb állnak rendelkezésre, a felhasználás helyére való szállítás pedig magas veszteségeket eredményez. Tovább csökkent a hatékonyságát az épületek szekunder fűtési rendszereinek esetleges szennyeződése, hiszen közvetett fűtésben használják.

A nehézségek ellenére azonban számos országban már kiaknázták az ebben rejlő lehetőségeket. Európában a legtöbb geotermikus rendszer Franciaországban és Németországban található (10).

1.3. Ötödik generációs távhő

Hulladékhő hasznosítására igen futurisztikus fejlesztések valósulnak meg 5. generációs távhőrendszerek terjedésével (évente átlagosan 3 ilyen rendszerrel bővült a piac az elmúlt évtizedben) (18). Lényege, hogy a változatos, alacsony hőmérsékletű hőforrásokat a hőközpontokba helyezett hőszivattyúk hasznosítják. Mivel az előremenő hőmérséklet a talajhoz közeli, elosztás közben hőveszteség nagyon alacsony, és a hálózat hőmérsékletétől függetlenül lehetséges hűtésre és fűtésre egyaránt használni. Célszerű a szekunder oldalon fűtésnél minél alacsonyabb (magas előremenő hőmérséklet nem is biztosítható ezzel a megoldással), hűtésnél pedig minél magasabb hőmérsékletű hőleadókat alkalmazni, így érhető el magasabb szezonális hatékonyság.

Ez a koncepció szorosabban összekapcsolja a hőt és villamosenergiát, a villanyautózás elterjedésével párhuzamosan az 5. generációs távhő jelenthetné a városokban jelenlévő hőszektor fenntartható és rationális „villamosítását”. A mai fejlett rendszerek is az üzemeltetési költségek minimalizálásához igazítják a hőmérsékletszinteket és a tárolókapacitást, a villamosenergia piacok és a hőterhelések előrejelzéseinek figyelembevételével (18). Egy tanulmányban (18) Simone Buffa és társai 40 ilyen, Európában lévő rendszert vizsgáltak meg. Ezek 75%-a Németországban vagy Svájcban található. Vannak több hőforrást is hasznosító rendszerek, azonban ezek ritkábbak (37,5%). A vizsgált rendszerek hőforrásait a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: 5. generációs rendszerek hőforrásai (18)

1.4. Megújuló energiaforrások teljesítményingásának kiküszöbölése

A hőszivattyús hőtermelés a villamosenergia rendszerek ingadozásainak kiegyenlítésére is alkalmas lehet. A decentralizált hőszivattyúk működtethetők lennének a nem folyamatosan rendelkezésre álló megújuló energiaforrásokkal (szél erőművek és napelemek) termelt árammal, ezzel kiváltva a rendszer nem megújuló primerenergia felhasználását (19). Ehhez szükség lehet hőtárolók telepítésére. A hőtárolás a jövő távhőrendszereinek nélkülözhetetlen eleme lesz, ha már az energiatermelés jelentős részét megújulók teszik ki, amik ingadozva és előrejelezhetetlenül állnak rendelkezésre (20). A folyamatosan fejlődő technológiának köszönhetően már nem csak napszakokat tudnak áthidalni, hanem akár hosszabb időtartamokra is biztosítani tudják a folyamatos hőellátás lehetőségét centralizált földalatti gödrökben, barlangokban, vagy akár háztartási szinten is. Ilyen módon a nyáron betáplált hőtárolás télen is felhasználható, bár hatásfoka nagyon alacsony, kialakítástól függően 20% és 60% között mozog (21). A jelenleg rendelkezésre álló energiatárolási opciók közül a hőtárolás a legolcsóbb megoldás.

1.5. Lund

A lund-i távhőrendszer rendszer legtöbbet üzemelő főberendezései a 3. ábrán látható 20 MW-os és egy 27 MW-os hőszivattyú, melyek már 35 éve folyamatosan működnek.



3. ábra: Hőszivattyú. Forrás: Lund's Energy

A rezervoár azonban néhány évtized után kimerült, de új kutak fúrásával pótolni tudták, így a hőszivattyúk ma is dolgoznak. Mivel a kutak vize nagyon gázos, a teljes rendszert túlnyomás alatt tartják. A hőszivattyú működéséhez szükséges áramot is maguk állítják elő, a fűtőmű területén lévő Saab gázturbinákkal, melyek hűtéskor fel szabaduló hővel a távhő visszatérő vizét melegítik elő hőcserélőn keresztül. Alternatív

villamosenergia pótlásra vásároltak 2 db vízerőművet Norvégiában. Amikor itt olcsó a villamosenergia az évszakok sajátosságaiból adódóan, teljes mértékben kiváltják a gázturbinákat. Tartaléknak volt egy 75 MW-os gázkazánjuk is, de a hőszivattyú kiváló működésének köszönhetően ezt soha nem használták. Átalakították inkább olajtüzelésre, mert időről időre a tőzsdén igen olcsó hulladékolaj kínálat jelenik meg. Két főt alkalmaznak a cégen belül arra, hogy folyamatosan nyomon kövessék ennek árváltozásait és kedvező ár esetén vásároljanak belőle. Szintén a múlt része, hogy egy 20 MW-os villanybojlert is telepítettek. Ennek utóbbi évtizedekbeli működéséről nincs tudomásunk, de az olcsó norvég áram rentábilissá teheti üzemét. Továbbá két 3MW-os pelletkazánjuk van, ami szükség esetén a primer előremenő hőmérséklet további emelését biztosítja.

A 4. ábrán látható 16 000 m³-es hőtárolót szintén a fűtőmű területén helyezték el az ellátásbiztonság növelésének érdekében.



4. ábra: 16000 m³ hőtároló. Forrás: Nemes Sándor

2. KOMÁROM VÁROS TÁVHŐELLÁTÓ RENDSZERÉNEK FEJLŐDÉSE, JELENLEGI ÁLLAPOTA

2.1. 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 (22).

1929-ben kezdték meg technológiai gőz előállítását a Várpalotai Erőműben lignit ahidralásához, többen tartják ezt a magyarországi távhőellátás ősének (22).

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 (22). Kogenerációs erőművek közelében lakótelepek épültek, pl. Bánhidán (23) 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 (22).

2.2. 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 (24). 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 köszönhette 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 takarékoszágra 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 a 5. ábrán.



5. 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 előrszigetelt távvezetéki csövek, a veszteségek minimalizálására az összes távvezeték kőzetgyapot szigeteléssel, kátránypapír borítással látták el. Mechanikai védelemként a vezetékeket előregyártott beton védőcsatornába fektetve helyezték el, az illesztéseknél kátránnyal szigeteltek. Az 6. ábrán egy ilyen védőcsatorna keresztmetszete látható.



6. ábra: Szakasz kiváltáskor 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: hőközpontonként 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.

2.3. 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 (25). 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.

2.4. 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 jelenleg hőtermelésben résztvevő, belvárosi rendszert ellátó kazánokat mutatja be a 7. ábra.



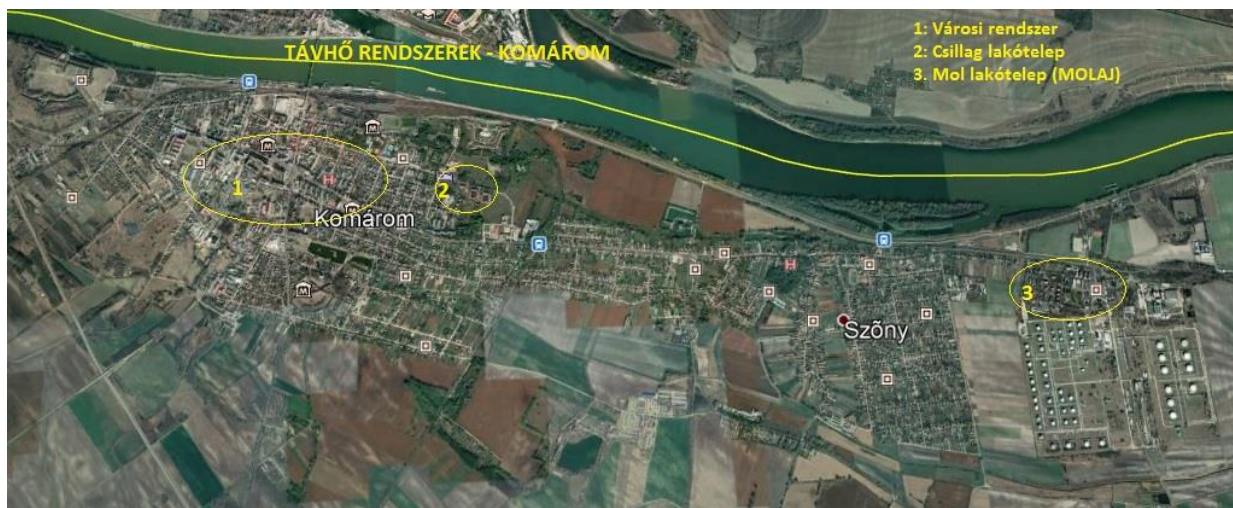
7. ábra: Hőtermelésben jelenleg résztvevő kazánok. Forrás: Komáromi Távhő

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 hőveszteségű épületek, és egyéb rendszerveszteségek eleve magasabb primer előremenő hőmérsékletet követeltek meg, valamint a gyenge hőátadással bíró csököteges 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 indításnál 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. Országszerte több, mint 400 gázmotor működött (26), néhány száz kW és 6 MW közötti teljesítménnyel, viszont a kedvezményes villamosenergia értékesítés megszűntével működtetésük gazdaságtalanná vált. Több, mint 90%-ban leállították őket. A ki-eső teljesítményt általában más típusú kazánokkal pótolták.

2.5. Primer hálózat

Jelenleg a városban 3 hidraulikailag önálló rendszer működik szigetüzemben, mindhárom 1-1 saját kazánházzal rendelkezik. Az ellátási területüket a 8. 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.



8. ábra: Komárom távhőrendszerei

2.6. 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, mint ami a 9. ábrán látható, a rendszerek működtethetők változó tömegárammal, ami jelentős energiamegtakarítást jelent a sok esetben pazarló állandó tömegáramhoz képest.



9. ábra: Lemezes hőcserélő. Forrás: Komáromi Távhő

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.

2.7. 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). A korszerűsítések a házak külső megjelenésre is jó hatással voltak, a 10. ábrán egy ilyen lakóház található.



10. ábra: Energetikailag korszerűsített panel lakóépület

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.

2.8. Elszámolás

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

2.9. 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. Rengeteg fűtésttechnikailag korszerűtlen, egyedi fűtésekkel (gázkonvektorok, szén- és vegyestüzelésű kazánok) ellátott lakóépület helyezkedik el a meglévő távvezetékek közvetlen közelében, és ahogy a 11. ábrán is látszik, a rengeteg kémény nem csak a levegő minőségét, hanem az utcaképet is rontja. Ezek távhőre kapcsolása jelentős széndioxid kibocsátástól mentesítené a várost, viszont problémaként merül fel, hogy a lakosság költeni nem akar, a városnak pedig nincsen forrása ilyen irányú fejlesztésekre.



11. ábra: Kéményrengeteg a belvárosban

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

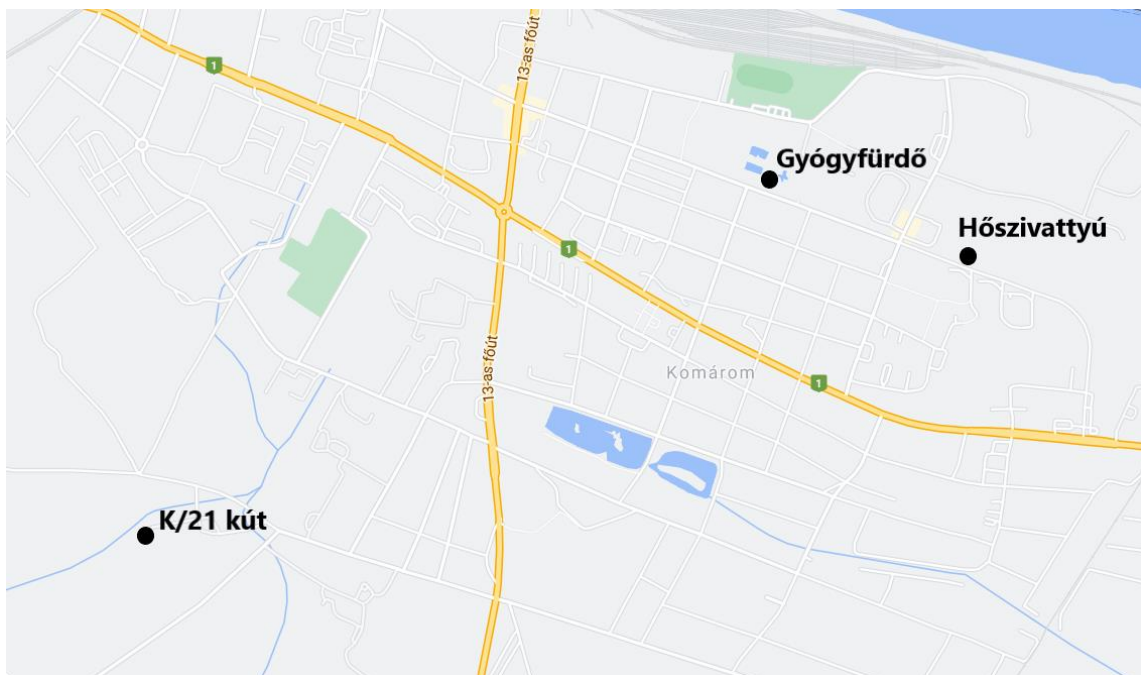
Hőforrás tekintetében a szolgáltató jelenleg kizárólag fölgázt használ fel, viszont vannak törekvések megújuló energiaforrások rendszerbe illesztésére. A biomassa tüzelés bevezetése szinte biztosan kizárható, ellenben a város közelében lévő termálvízben még számos kiaknázatlan lehetőség van, amellyel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

3. BRIGETIO GYÓGYFÜRDŐNÉL ELŐÁLLÓ HULLADÉKHŐ JEL- LEGE, ANNAK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGE

3.1. Termálvíz forrása

A fürdőt a tőle légvonalban mintegy 2 km-re, ahogy a 12. ábrán is látszik elég messze elhelyezkedő K-21-es, másnéven Lengyári 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 (27).



12. ábra: K/21 kút elhelyezkedése

3.2. Fürdő medencéi

A komáromi gyógyfürdő 10 medencével rendelkezik. Ezek között vannak egyaránt sport- és gyógymedencék is. Vizük kalcium-magnézium-hidrokarbonátos, kloridos és szulfátos, gyógyvíz minősítését 1967-ben nyerte el. Számos betegség orvoslására használható, mint pl. degeneratív gerinc és ízületi, vagy gyulladásos reumatológiai betegségek (28).



13. ábra: Kültéri gyógymedence (29)

A gyógymedencéket (két szabadtéri, ezek közül egyik a 13. 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.

A sport- és élménymedencéknél (a 14. ábrán lévő 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 (29).



14. ábra: Fedett úszómedence (29)

3.3. 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 5.2. fejezetben részletezett kifogásolható működésük miatt rengeteg levegőt is szállítanak, amit a 15. ábrán bemutatott csobogás fedett fel.



15. ábra: Dunai kifolyó

A leürítővezeték a 16. 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. Ez napi szinten hozzávetőlegesen 1500 m³ 30 °C-os vizet jelent.



16. ábra: Árvízvédelmi gát

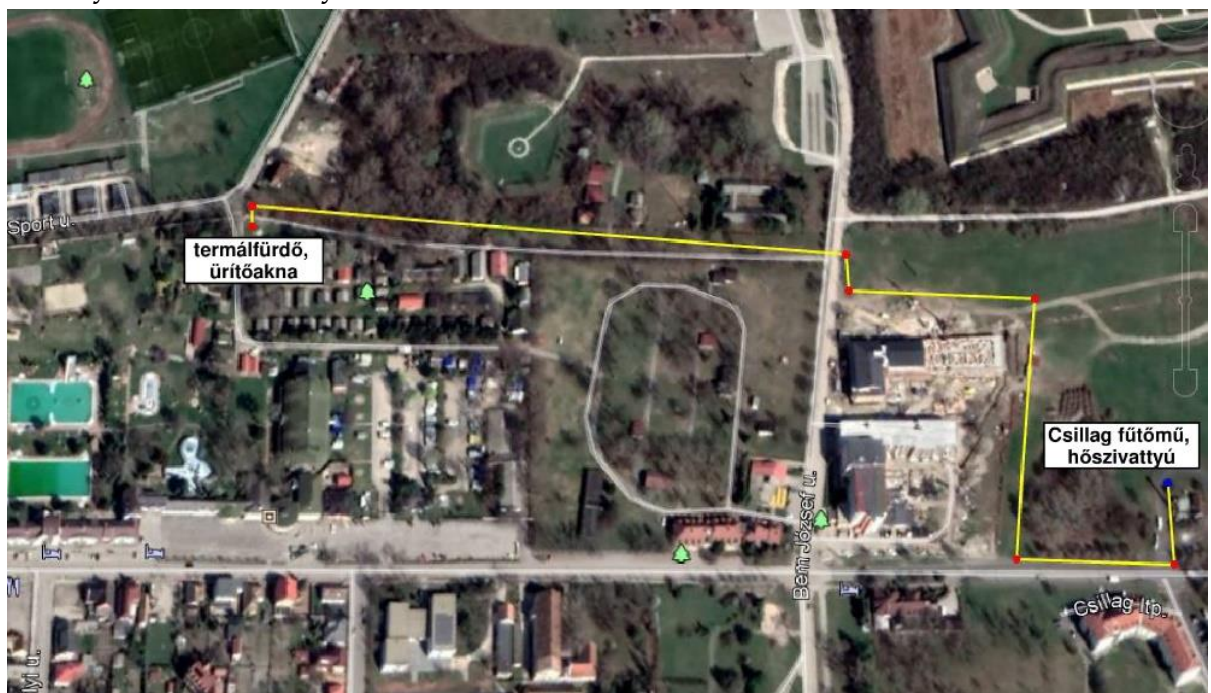
3.4. Energetikai hasznosítás menete

Jelenleg Magyarországon nincs visszasajtolási kötelezettség a termálvizek sport, és gyógyászati felhasználását követően. Mivel a víz emberekkel érintkezett, szennyezettnek kell tekinteni ezért visszasajtolása nem lehetséges (30). 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.



17. ábra: Csillag fűtőmű napjainkban, háttérben a Csillag lakótelep

A hőszivattyú nem a gyógyfürdő területén kerülne telepítésre, hanem hőhasznosításhoz közel, a 17. ábrán látható 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 nyomvonala a 18. ábrán található.



18. ábra: Akna és hasznosítási hely közötti nyomvonal

Az időben nem egyenletesen rendelkezésre álló hasznosítandó termálvíz mennyiség miatt a hőszivattyúval megtermelt hőt tárolni szükséges.

Ezzel a megoldással a lundi rendszerhez hasonlóan 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 (27). 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.

3.5. 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:

$$\begin{aligned} 1150kW + 430kW + 320kW + 300kW + 400kW + 800kW &= 3400 kW \\ &= 3,4 MW \end{aligned} \quad 1.$$

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

A teljes hulladékhővel ellátható területet a 19. ábra szemlélteti.



19. ábra: Hulladékhóvel ellátható intézmények

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

4.1. A felhasználható átlagos vízmennyiség mérése

A fürdő valamennyi medencéjéből kifolyó víz a 20. ábrán látható 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 21. ábra mutatja be.

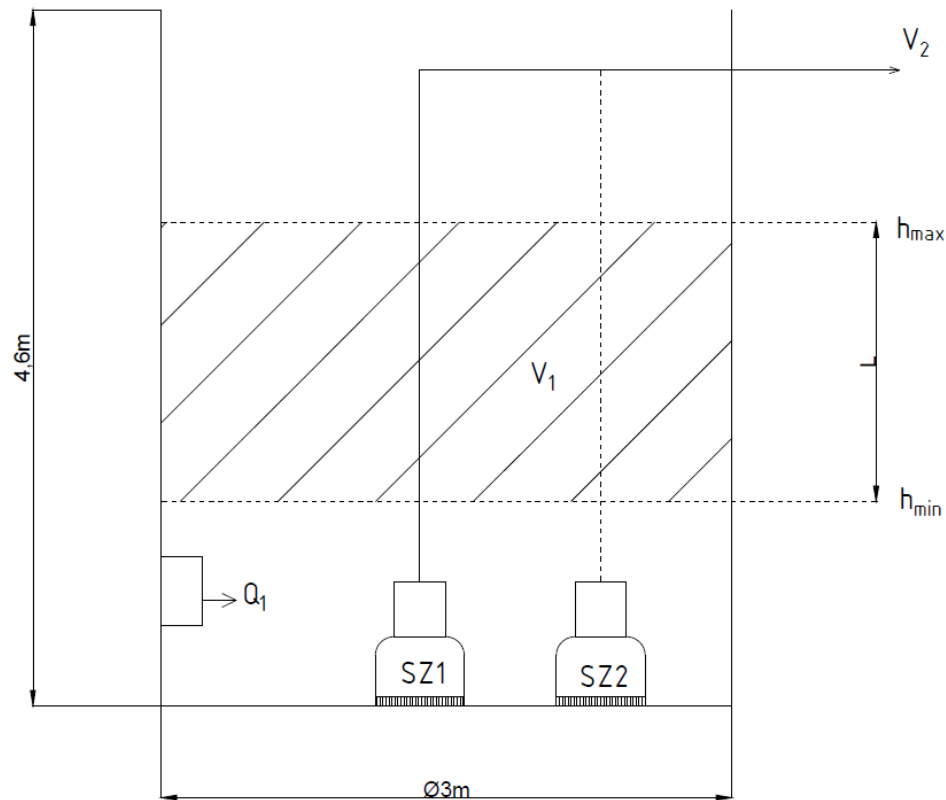


20. ábra: Beton gyűjtőakna

4.2. Elfolyó térfogatáram meghatározása

Az elfolyó víz mennyiségének meghatározásához szükségünk van a szivattyú térfogatáramára és a szivattyú üzemidejére. Utóbbit egy másodperc pontosságú üzemóraszámláló segítségével állapítjuk 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.



21. 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.

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

1 periódus alatt (65 s) elnyomott víz tehát 10 m^3 , ami $9,23 \text{ m}^3/\text{perc} = 554 \text{ m}^3/\text{h}$ térfogat-áramnak felel meg.

Az akna mellett található villamos szekrényben lévő, már nem működő üzemóraszám-lálókat a 22. ábrán bemutatott új készülékekre cseréltük méréseink kezdetekor. A két számláló adatait összesítve 1 hét alatt 45 órát mentek a szivattyúk, ez alatt hozzávetőlegesen 24923 m^3 vizet szállítottak összesen.

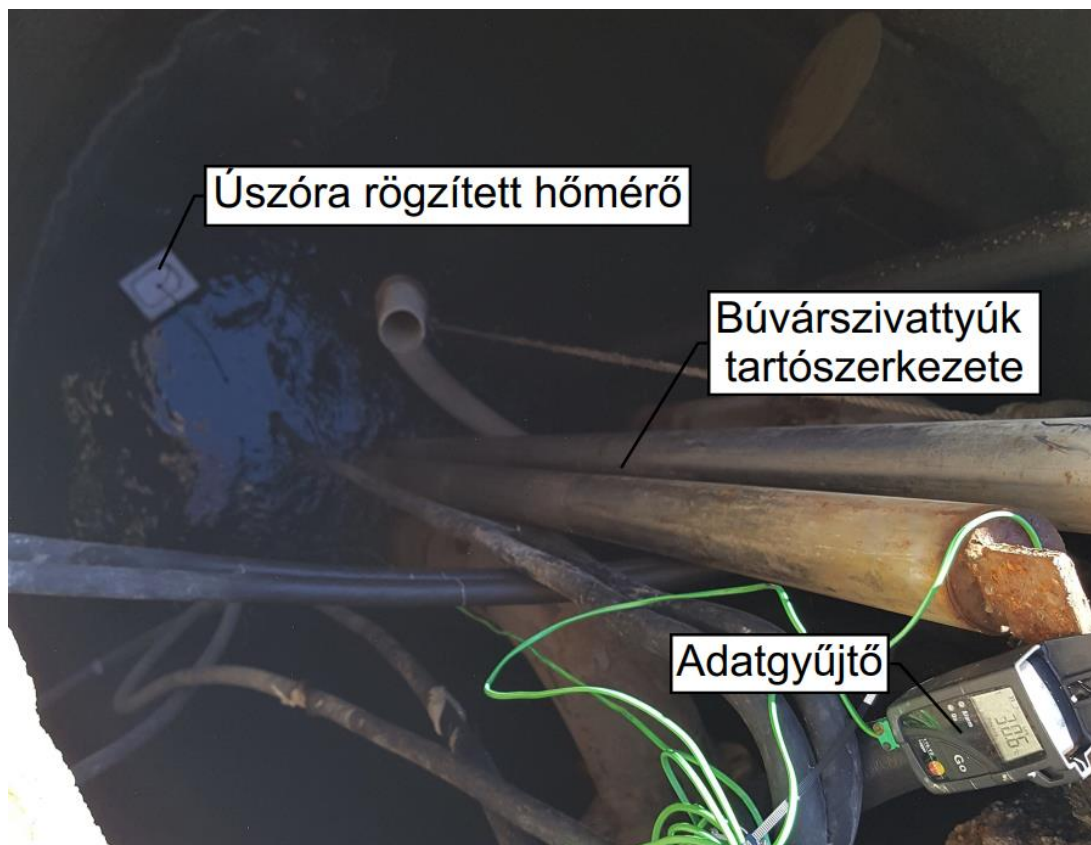
$$45\text{h} \cdot 554\text{m}^3/\text{h} = 24930\text{m}^3 \quad 5.$$



22. ábra: Újonnan beszerelt üzemóra számláló mindkét szivattyúhoz

4.3. 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 belemélyedjen a vízbe. A kábel rövideisége miatt az adatgyűjtőt is csak az aknában tudtuk elhelyezni a 23. ábrán látható módon, a villamos szekrényig való elvezetéshez szükséges többlet kábelhossz nagy pontatlanságot okozhatott volna a mérés eredményeiben.



23. 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 párás 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 24. ábra szemlélteti. A legalacsonyabb mért érték $19,8^{\circ}\text{C}$, míg a legmagasabb $38,2^{\circ}\text{C}$ volt



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

4.4. Víz hőtartalmának meghatározása

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

Az 1. fejezetben bemutatott lundi hőszivattyúk a fúrt kutakból érkező 21°C -os vizet a hőszivattyú elpárologtatóján 4°C -ra hűtik vissza ($\Delta T = 21 - 4 = 17^\circ\text{C}$). 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 $26,3^\circ\text{C}$ -os előremenő hőmérséklet 20°C -os csökkentésével is elegendő hőenergiát tudunk kinyerni.

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

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

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

4.5. Hőszivattyú teljesítménye

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

Maximális térfogatáram esetén:

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

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 kazánház-strand-Csillag lakótelep) nincs akkora hőigény. Remélhetőleg a jövőben új fogyasztók megjelenésével ez a helyzet kedvezően változik majd.

A becsült maximális hőigény esetén:

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

5. HULLADÉKHŐ HASZNOSÍTÓ RENDSZER ELEMEI

5.1. Akna

A fürdő valamennyi medencéjéből folyamatosan érkezik a hozzávetőlegesen 25-30 °C közötti használt víz a 3 méter átmérőjű, majdnem 5 méter mély, 4. fejezetben bemutatott gyűjtő aknába. Ez a későbbiekben ugyanígy történne, a fejlesztés a strand medencéire semmiféle kihatással nem lesz.

5.2. Szivattyú

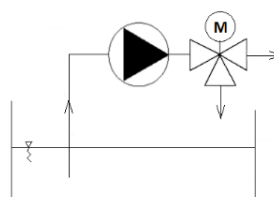
Az aknában 2 egyforma, C 3201-es Flygt csatornás járókerekű bűvárszivattyú gondoskodik az elfolyó víz Dunába vezetéséről, jelleggörbéje az új munkaponttal a 27. ábrán látható. Teljesítményének szabályozására több módszer is létezik, ezek közül a három legelterjedtebb sémáját mutatja be a 25. ábra. Egyik lehetséges mód a fojtós 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.

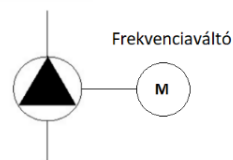
Fojtós szabályozás



„Bypass” szabályozás



Fordulatszám-szabályozás



25. ábra: Szivattyú teljesítményszabályzásának lehetőségei (31)

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.

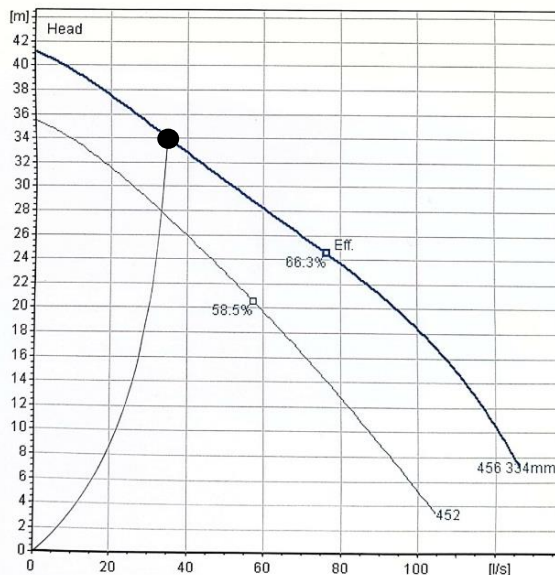
Az akna nagy mélysége nincs kihasználva, a két szintérzékelő közötti szintkülönbség mindössze 1,14 m. Ezt, az akna méretéhez képest kis térfogatot a túlméretezett szivattyú kb. egy perc alatt távolítja el, majd kb. 5 perc alatt töltődik fel újra és kapcsol be a szivattyú ismét. A sűrű ki- bekapcsolások instabil üzemállapotot eredményeznek magas áramfogyasztással és kavitációval a szivattyú járókereken, ami annak tönkremeneteléhez vezet. Ez be is következett a 26. ábrán látható módon, a sérült járókereket cserélni kellett.



26. ábra: Kavitáció következtében tönkrement járókerék

Javasolt lenne a két szintjelző közötti távolság növelése és a szivattyú fordulatszabályozása. Ezzel elérhető lenne egy kedvezőbb üzemállapot. 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 27. ábrán. Méréseink alapján a csurgalékvíz mennyisége átlagos esetben 30 l/s. Ezzel együtt a hőszivattyú is relatívan stabil üzemállapotba 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 üzemet valósít meg a strand átlagos üzemi körülményei esetén (nem tekinthető átlagosnak a medencék töltése/ürítése).



27. Flygt C3201 jellegörbéje a kívánt munkaponttal [31]

5.3. Osztó, csőszelvények, szelepek

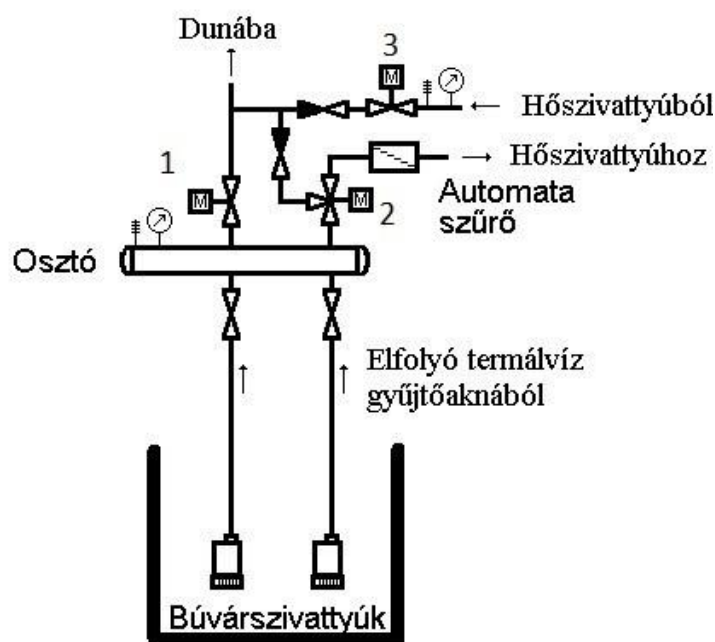
A 28. ábrán felvázolt osztóval tudjuk szabályozni a hőszivattyúra jutó, vagy pedig a Dunába közvetlenül leürített termálvíz mennyiségi arányait.

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 árhassza el víz a strandot.

E háromjáratú 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.

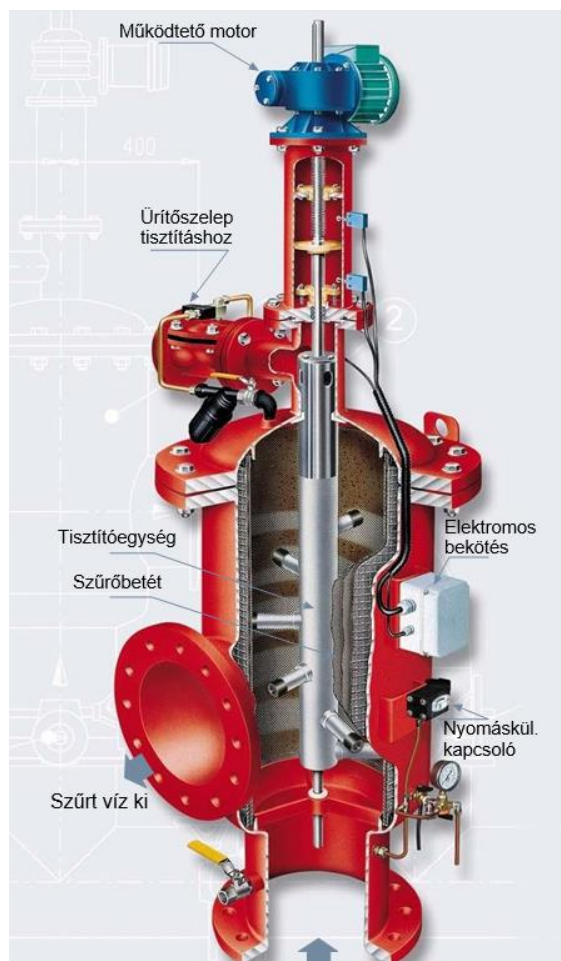


28. ábra: Osztószerelvény a strandon

5.4. 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 megbonthatása nélkül javítása szinte lehetetlen. A nagyobb méretű szennyeződéseket 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. Működését az alábbiakban részletezem, felépítését a 29. ábra szemlélteti.



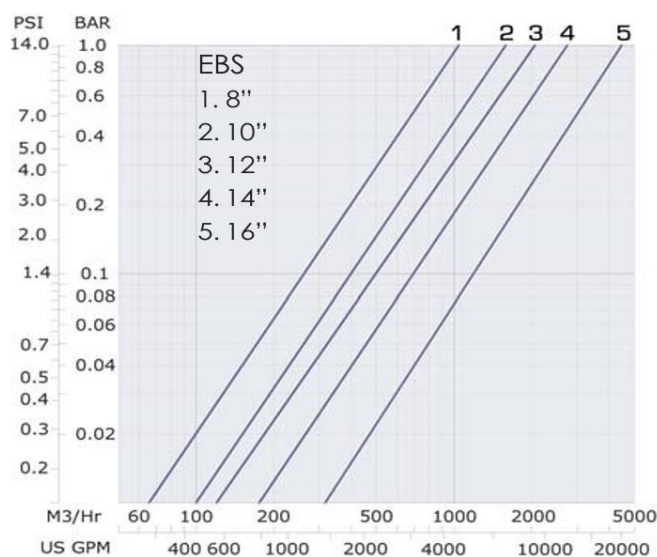
29. ábra: EBS szűrőberendezés felépítése (32)

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

A nyers víz keresztülhalad a hengeres szűrő elemen belülről kifelé, eközben részecskék rakódnak le a szűrőfelületen. Ennek hatására nyomáskülönbség jön létre a szűrő ki- és bemeneti oldala között. Mikor a nyomáskülönbség értéke elér egy előre megadott értéket elindul a tisztítási folyamat.

A tisztítóegység lassan forog körbe-körbe, miközben lineárisan is mozog. Körülbelül fél perc alatt megy végbe egy forgási ciklus, ez alatt a középén elhelyezkedő csőre mérőleges szívófejek bejárják a szűrő teljes felületét. A külső légköri nyomás és a tisztítóegységben uralkodó belső nyomás közötti különbség adja a tisztításhoz szükséges hajtóerőt: a szelep nyitásával ezen nyomáskülönbség eredményeképpen nagy szívóerő jön létre a szívófejekben, a rács egy kis felületén a vízáramlás irányát megfordítva. Ez a vízmozgás fellazítja a szűrő felületére tapadt réteget és a tisztítóegység belsejébe szívja. Ezt követően híg zagy az ürítőszelepen keresztül távozik. A szűrő működésének elve a gyártó termékkatalógusából (32) származik.

A szűrő ellenállása az adott munkaponton 0,04 bar, de fontos megjegyezni, hogy a 30. ábrán található ellenállásdiagram értékei teljesen tiszta szűrőfelületre, 130 mikronos betétre értendők, lerakódások esetén ezen ellenállások ugrásszerűen megnőnek.



30. ábra: EBS 10000 ellenállás diagramja (32)

5.4.1. SZŰRŐBERENDEZÉS ELHELYEZÉSE

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

A 31. ábrán látható néhány különböző célokra használt hasonló berendezés világszerte.



31. ábra: Szűrőberendezés referenciák (32)

5.5. 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 távvezetékot, előszigetelt műanyag haszoncsöves vezetékot ekkora 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 18. ábrán lévő nyomvonal alapján 850 m.

5.5.1. SZÜKSÉGES EMELŐMAGASSÁG MEGHATÁROZÁSA

A strand és a fűtőmű közötti geodéziai magasságkülönbség elhanyagolható, így a nyomásveszteség számítása a következő módon, kizárólag súrlódási veszteség alapján

történt. A lehetséges térfogatáramot figyelembe véve két különböző csőátmérőjű esetet is megvizsgáltam, melyek szóba jöhetnek áramlási sebesség és nyomásvesztés szempontjából. A víz dinamikai viszkozitása 30 °C-on 798 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ =0,0008 Pa·s, 10°C-on 1306 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ =0,0013 Pa·s.

A maximális térfogatáram hozzávetőlegesen 125 m³/h, mert egy teljes nap alatt 1500 m³/h folyik le, ha ez egyenletes lenne, akkor 62,5 m³/h lenne, viszont medenceürítéskor ennek a duplája is lehetséges.

Egyenes szakasz nyomásvesztése:

$$h'_{cső} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{c^2}{2g} \quad 9.$$

Idomdarabok nyomásvesztése:

$$h'_{idom} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \quad 10.$$

1. DN150-es csőméret

Áramlási sebesség kiszámítása:

$$v = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{A[\text{m}^2]} = \frac{Q}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{0,0347 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{0,15^2 \pi}{4}} = 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad 11.$$

- Előremenő ág:

A csősurlódási tényező meghatározásához szükség van a Reynolds számra:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 1000}{0,0008} = 375000 \quad 12.$$

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=150 mm

k/D=0.000047

λ =0,014

$$h'_{cső,előre} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,014 \cdot \frac{850}{0,15} \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 16,2 \text{ m. v. o.} \quad 13.$$

- Visszatérő ág:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 1000}{0,0013} = 230769 \quad 14.$$

$k=0,007 \text{ mm}$

$D=150 \text{ mm}$

$k/D=0,000047$

$\lambda=0,0156$

$$h'_{cső,vissza} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,0156 \cdot \frac{850}{0,15} \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 18 \text{ m. v. o.} \quad 15.$$

• Idomdarabok:

$\zeta_{könyök}=1,3 \text{ (33)}$

$$h'_{idom} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{1,3 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,27 \text{ m. v. o.} \quad 16.$$

Legfeljebb 20 könyökre lesz szükségünk a 18. ábrán bemutatott nyomvonal alapján, ezek nyomásesése 5,3m.

$$\begin{aligned} h' &= h'_{cső,előre} + h'_{cső,vissza} + h'_{idom} = 16,2 \text{ m. v. o.} + 18 \text{ m. v. o.} + 5,3 \text{ m. v. o.} \\ &= 39,5 \text{ m. v. o.} \end{aligned} \quad 17.$$

Az egyenes szakaszok és csőidomok nyomásesése összesen tehát nagyjából 40 méter vízoszlop.

2. DN200-as csőméret

A maximális térfogatáram megegyezik a DN150-es átmérővel számolt esettel.

Áramlási sebesség kiszámítása:

$$v = \frac{Q \left[\frac{m^3}{s} \right]}{A[m^2]} = \frac{Q}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{0,0347}{\frac{0,2^2 \pi}{4}} = 1,1 \frac{m}{s} \quad 18.$$

• Előremenő ág egyenes szakasza:

A csősurlódási tényező meghatározásához szükség van a Reynolds számra:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 1000}{0,0008} = 275000 \quad 19.$$

Mivel a Reynolds szám magasabb 2300-nál az áramlás nem lamináris, és mivel 10^5 -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

$\lambda=0,015$

$$h'_{cső,előre} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,015 \cdot \frac{850}{0,2} \cdot \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 3,93 \text{ m.v.o.} \quad 20.$$

- Visszatérő egyenes szakaszra:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 1000}{0,0013} = 169231 \quad 21.$$

k=0,007 mm

D=200 mm

k/D=0,000035

$\lambda=0,016$

$$h'_{cső,vissza} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,016 \cdot \frac{850}{0,2} \cdot \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 4,19 \text{ m.v.o.} \quad 22.$$

- Idomdarabokra:

$\zeta_{könyök}=1,3$ (33)

$$h'_{idom} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{1,3 \cdot 1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,08 \text{ m.v.o.} \quad 23.$$

Legfeljebb 20 könyökre lesz szükségünk a 18. ábrán látható nyomvonal alapján, ezek nyomásesése 5,3 m.v.o.

$$h' = h'_{cső,előre} + h'_{cső,vissza} + h'_{idom} = 3,93 \text{ m.v.o.} + 4,19 \text{ m.v.o.} + 5,3 \text{ m.v.o.} = 13,42 \text{ m.v.o.} \quad 24.$$

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

5.5.2. CSŐMÉRET KIVÁLASZTÁSA

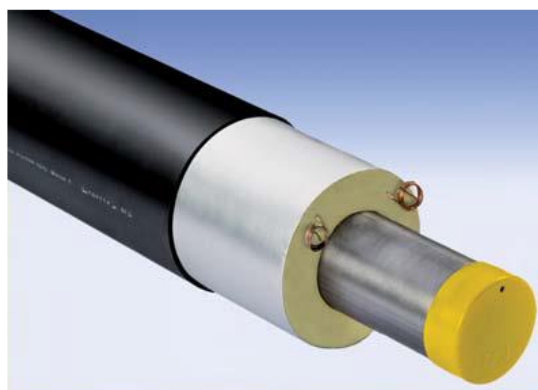
A két különböző átmérőjű vezeték nyomásvesztesége között (40 m.v.o. és 14 m.v.o.) jelentős különbség van, ezt, továbbá a jövőbeni esetleges bővítést figyelembe véve a nagyobb átmérőjű, DN200-as távvezeték lenne jobb választás. Ekkora átmérőnél

adódó nyomásvesztés (hozzávetőlegesen 1,4 bar) leküzdésére megfelelő a strandon jelenleg üzemelő 2 darab búvárszivattyú.

5.5.3. HŐVESZTESÉG MEGHATÁROZÁSA

DN200-as műanyag haszoncsöves rendszer adatainak hiányában az előszigetelt vezeték hőtechnikai jellemzőit isopolus acél haszoncsöves vezeték adataiból számoltam.

A 32. ábrán látható előszigetelt csövet az alábbi rétegek alkotják: Egy vízhatlan KPE köpeny gondoskodik a külső mechanikai védelemről, ezen belül helyezkedik el szigetelőréteggel borított haszoncső.



32. ábra: előszigetelt csővezeték felépítése (34)

Az isopolus a rendszereik szigetelésére EN 253 szerint bevizsgált PUR-habot használ, amely 2 komponensből áll. 100%-ban freonmentes és cyclopentánnal hajtott, tehát jó hőszigetelőképesége mellett ózon bontó hatása (ODP=0) és globális felmelegedési potenciálja is nagyon alacsony (34). A csővezeték termékkatalógusában a gyártó mellékelte annak hőveszteségeit, ez a 33. ábrán látható.

Típus	Hővesztés q Középhőmérséklet $T_M = 100\text{ K}$ W/m			Hővesztés q Középhőmérséklet $T_M = 70\text{ K}$ W/m			Hővesztés q Középhőmérséklet $T_M = 50\text{ K}$ W/m		
	Szigetelési vastagság			Szigetelési vastagság			Szigetelési vastagság		
	Standard	1x erős	2x erős	Standard	1x erős	2x erős	Standard	1x erős	2x erős
KRE-25	-	12,191	11,023	-	8,533	7,716	-	6,095	5,512
KRE-32	14,970	13,247	12,028	10,479	9,273	8,419	7,485	6,624	6,014
KRE-40	17,194	14,959	13,422	12,036	10,472	9,396	8,597	7,480	6,711
KRE-50	19,182	16,726	14,585	13,428	11,708	10,209	9,591	8,363	7,292
KRE-65	22,546	18,821	16,389	15,782	13,175	11,472	11,273	9,411	8,195
KRE-80	23,353	19,721	17,360	16,347	13,805	12,152	11,676	9,861	8,680
KRE-100	24,428	20,549	17,996	17,099	14,384	12,597	12,214	10,274	8,998
KRE-125	28,282	23,663	20,237	19,798	16,564	14,166	14,141	11,832	10,119
KRE-150	33,436	26,982	22,317	23,405	18,887	15,622	16,718	13,491	11,158
KRE-200	36,607	28,485	-	25,625	19,940	-	18,304	14,243	-

33. ábra: Merev csövek hőveszteségei (34)

Ez alapján DN200-as méret, 0,8 m földtakarás esetén a vezeték hővesztesége mindössze 20,1 W/m. Ez a teljes előremenő csőszakaszra nézve:

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

25.

Ez a hőveszteség a hőszivattyú teljesítményéhez képest elhanyagolható.

5.6. 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 (35).

5.6.1. HŰTŐKÖZEG

Az alkalmazott hűtőközegnek számos követelménynek kell megfelelnie. Lehetőség szerint alacsony forráspontú, kicsi fajlagos gőztérfogató 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.

5.7. Hőtároló

Az ingadozások kiküszöbölésére a mellékágon szükséges hőtárolót elhelyezni. Fontos rendszerelem, 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.

5.8. 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 szigetetlen hőszivattyút és az osztót összekötő távvezetéken jut el.

6. A TERVEZETT RENDSZER ÜZEMBEÁLLÍTÁSÁNAK KÖRNYEZETRE GYAKOROLT HATÁSAI

6.1. Lokális emissziócsökkentés

Az ellátási területet jelenleg ellátó kondenzációs kazánok kiváltása a környék fűtésével járó összes lokális üvegházhatású gáz kibocsátást megszüntetné. A földgáz elégetésekor ugyan keletkezik NO_x és CO is, de ezek mennyisége elhanyagolható.

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 keletkezik, ez a következőképp játszódik le:



1 mol CH_4 elégetésekor 1 mol CO_2 keletkezik. A 26. egyenlet moláris tömegekkel kifejezve:

$$(12 + 1 \cdot 4) \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 2 \cdot 2 \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = (12 + 2 \cdot 16) \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 2 \cdot (1 \cdot 2 + 16) \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad 27.$$

A 27. 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:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad 28.$$

Ebből kifejezve a tömeg:

$$m = \rho \cdot V = 0,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 223399 \text{ Nm}^3 = 151911,32 \text{ kg} = 151911,32 \text{ g} \quad 29.$$

Ha 16 g CH_4 elégetése 44 g CO_2 -t eredményez, akkor 1 g 44/16 grammot, tehát:

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{44}{16} \cdot 151911,32 \text{ g} = 417756,13 \text{ g} = 417,756 \text{ t} \quad 30.$$

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

6.2. Rendszerek villamos energia felhasználása

Az elhasznált villamos áram környezetre gyakorolt hatása a mindenkori villamosenergia termelészerkezetétől függ. A megújuló energiaforrások terjedésével az egy kilowattóra eső károsanyag-kibocsátás évről évre csökken, ennek értéke jelenleg kb. 350 g CO₂/kWh (36).

6.2.1. VILLAMOS ENERGIA MEGTAKARÍTÁS

A kazánok leállításával kazánégők áramfelvétele is megszűnik. Az égők egyenként 2,2 kW villamos teljesítményűek, két kazánnál 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:

$$W = P \cdot t \quad 31.$$

$$W = 275 \text{ nap} \cdot 24 \text{ h} \cdot 2,2 \text{ kW} + 90 \text{ nap} \cdot 24 \text{ h} \cdot 4,4 \text{ kW} = 24024 \text{ kWh} = 24 \text{ MWh} \quad 32.$$

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

$$m_{\text{CO}_2} = 24024 \text{ kWh} \cdot 350 \text{ g} \frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}} = 8408400 \text{ g} = 8408 \text{ kg} \quad 33.$$

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

6.2.2. 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 hőtelsítményének 3,4 MW-ot vettem fel a 3.5. fejezetben részletezett számítások eredményeképpen. Víz-víz hőszivattyúk teljesítménytényezője 4 és 6 körüli, átlagosan 4,9 (37), a mi esetünkben a víz hőmérsékletét figyelembe véve COP=5 teljesen reális.

$$P = \frac{q}{COP} = \frac{3,4 \text{ MW}}{5} = 0,68 \text{ MW} \quad 34.$$

A hőszivattyú kompresszora által felvett villamos teljesítmény tehát kb. 680 kW. Ha bár ez a villamos teljesítmény a mindennapi életben igen nagyban tűnik, ilyen kategóriájú hőszivattyúk esetében azonban nem meglepő. Összehasonlításként az 1.5. fejezetben bemutatott lundi hőszivattyú kompresszorát hajtó villamos gépének adattábláját a 34. ábra: 6500 kW-os motor³⁴. ábra mutatja, igaz kicsit homályosan, de a rajta szereplő érték $P=6500$ kW.



34. ábra: 6500 kW-os motor. Forrás: Nemes Sándor

Ahhoz, hogy 1 GJ hőenergiát nyerjünk ki a termálvízből:

$$P = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{P}$$

$$\frac{1GJ}{3,4MW} = \frac{1000000kJ}{3400kJ/s} = 294,1s \quad 35.$$

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

$$W = P \cdot t = 0,68MW \cdot 294,1s = 680kW \cdot 0,0817h = 55,56kWh \quad 36.$$

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:

$$7108GJ \cdot 55,56 \frac{kWh}{GJ} = 394920,5kWh \quad 37.$$

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

$$m_{CO_2} = 394920,5kWh \cdot 350 \frac{g}{kWh} = 138222175g = 138222kg. \quad 38.$$

6.3. Hulladékhőhasznosítás környezeti mérlege

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

$$m_{CO_2, megtak} = m_{CO_2, kazán} + m_{CO_2, égő} - m_{CO_2, hőszivattyú} = 417,8t + 8,4t - 138,2t \quad 39. \\ = 288t$$

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.

7. GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁSOK

7.1. 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:

$$22,2mFt + 15mFt + 8mFt + 9,2mFt + 126mFt + 20mFt + 22mFt + 16,1mFt + 8mFt = 246,1mFt \quad 40.$$

A beruházás teljes becsült költsége tehát 246 millió forint.

7.2. Fejlesztés várható megtérülése

A beruházás megtérülési ideje döntő mértékben függ az elnyerhető támogatástól. Tudjuk, hogy energetikai beruházásokra, ezen belül kiemelten megújuló energiahajtók hasznosítására a jövőben is magas intenzitású támogatások érhetőek el (50-80%), a projekt megtérülését mindenképpen ezt figyelembe kell kiszámolni.

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

7.2.1. 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:

$$V = \frac{Q}{H} = \frac{1000MJ}{34MJ/m^3} = 29,4m^3. \quad 41.$$

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

1 GJ hő előállításának földgáz költsége:

$$K_{földgáz} = k_{földgáz} \cdot V = 89 \text{ Ft/m}^3 \cdot 29,4 \text{ m}^3 = 2616,6 \text{ Ft} \quad 42.$$

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

Mint fentebb már említésre került, a kazánok égőei jelentős áramfelvétellel rendelkeznek, így a fajlagos költség számításába a felhasznált villamosenergia árát is szükséges belevenni. A Komtávhő jelenleg 39,4 forintot fizet kilowattóránként. A 32. számítás szerint az egy éves villamosenergia felhasználás megközelítőleg 24 MWh = 24 000 kWh. Ebből az égők által használt villamos energia éves költsége:

$$K_{vill.,éves} = k_{vill} \cdot W = 39,4 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} \cdot 24000 \text{ kWh} = 945600 \text{ Ft} \quad 43.$$

2019-ben Csillag fűtőmű által megtermelt hő:

$$4580 \text{ GJ} + 2528 \text{ GJ} = 7108 \text{ GJ} \quad 44.$$

Ez alapján 1GJ előállításához felhasznált villamosenergia ára:

$$\frac{945600 \text{ Ft}}{7108 \text{ GJ}} = 133 \frac{\text{Ft}}{\text{GJ}} \quad 45.$$

Ezek alapján a hőtermelés fajlagos költsége jelenleg:

$$2616 \frac{\text{Ft}}{\text{GJ}} + 133 \frac{\text{Ft}}{\text{GJ}} = 2749 \frac{\text{Ft}}{\text{GJ}} \quad 46.$$

7.2.2. ELŐÁLLÍTÁS KÖLTSÉGE HULLADÉKHŐBŐL

A hőszivattyús rendszerrel megtermelt hőenergia előállításának árát a kompresszor 6.2.2 fejezetben részletezett áramfelvétele határozza meg. Eszerint 1 GJ hő előállításához 55,56 kWh villamosenergia szükséges. Ennek költsége:

$$55,56 \frac{\text{kWh}}{\text{GJ}} \cdot 39,4 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 2189 \frac{\text{Ft}}{\text{GJ}} \quad 47.$$

7.2.3. ÉRTÉKESÍTÉS

Az ügyfelek által fizetendő összeg 3098,268Ft/GJ (38). 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:

$$2749 \frac{Ft}{GJ} - 2189 \frac{Ft}{GJ} = 560 \frac{Ft}{GJ} \quad 48.$$

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

$$7108 \frac{GJ}{év} \cdot 560 \frac{Ft}{GJ} = 3980480 \frac{Ft}{év} \quad 49.$$

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 7.2.-ben említett két változatot mutatja be az 1. Táblázat.

1. Táblázat

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

8. 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 találkoztam hasonló távhős alkalmazásokkal, az ottani tapasztalatokat felhasználva alapoztam meg munkámat a helyi környezeti adottságokra a komáromi távhő rendszerre specifikusan. Ez a dolgozat 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 rendelkezésre 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.

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 segítettek a mérések elvégzésében.

9. 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. Jadwiszczaka, B. P. Axcell, E. Niemierka, K. Brys, H. Jouhara. Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating. *Elsevier*. 2018.
6. *An EU Strategy on Heating and Cooling*. Comission, EU. Brussels, Belgium : s.n., 2016. EU Commission.
7. 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.
8. Tanács, Európai. Az EU Tanácsának és az Európai Tanácsnak a hivatalos honlapja. [Online] 2020. <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/>.
9. Agency, European Environment. *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2018 and inventory report 2020*. Copenhagen : European Environment Agency, 2020.
10. *A state of art review on the district heating systems*. Abdur Rehman Mazhar, Shuli Liu, Ashish Shukla. 2018, Elsevier.
11. *Contracts, Business Models and Barriers to Investing in Low Temperature District Heating Projects*. Kristina Lygnerud, Edward Wheatcroft, Henry Wynn. 2019, Applied sciences.
12. *Heat Roadmap Europe: Heat distribution costs*. Urban Persson, Eva Wiechers, Bernd Möller, Sven Werner. 2019, Elsevier.
13. *District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements*. Behnaz Rezaie, Marc A. Rosen. 2012, Elsevier.
14. 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.
15. *District Heating and Cooling*. S Frederiksen, S Werner. 2013, Studentlitteratur AB.
16. *International review of district heating and cooling*. Werner, Sven. 2017, Elsevier.
17. *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.

18. *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.
19. *Potential for balancing wind and solar power using heat pump heating and cooling systems.* Fischer D, Lindberg KB, Mueller S, Wiemken E, Wille-Haussmann B. Proceedings of the 4th solar integration workshop, Berlin, Germany : s.n.
20. *Multi-objectives, multi-period optimization of district energy systems: II – Daily thermal storage.* SamiraFazlollahi, Gwenaelle Becker, François Maréchal. 2013, Elsevier.
21. Power, EuroHeat and. *Guidelines for district heating substations & countrywise survey.* Brussels : EuroHeat and Power, 2008.
22. Zrt., Főtv. Főtv Budapest. [Online] <http://www.fotav.hu/szolgatlatasunkrol/a-tavfutesrol/a-tavfutes-tortenete>.
23. Nagyné Sári Aliz Imola, Szilassi Andrea. *Helytörténeti séta Bánhida erőműi lakótelepén.* 2020.
24. T-szol. Sajtóközlemény – Fél évszázada a tatabányaiak szolgálatában. [Online] 2017. 08 28. <https://tszol.hu/2017/08/28/sajtokozlemenye-fel-evszazada-tatabanyaiak-szolgalataban/>.
25. 2005. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról. 2005.
26. *Kapcsolt energiatermelés Magyarországon.* Viktor, Rudolf. 2010., e-villamos.hu.
27. Kft., Mannvit. *Előzetes szakmai megalapozó tanulmány intézmények geotermikus fűtésére Komárom város területén.* Komárom : Mannvit Kft., 2016.
28. Komárom, Brigetio Gyógyfürdő. Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Online] Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Hivatkozva: 2020. 11 29.] <http://www.komthermal.hu/szolgáltatások/gyógyászat>.
29. —. Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Online] Brigetio Gyógyfürdő Komárom. [Hivatkozva: 2020. 11 29.] <http://www.komthermal.hu/furdo/medencek>.
30. Barabás Enikő, dr. Bíró Ildikó, dr. Galambos Ildikó. *Elfolyó termálvíz elhelyezési kérdései.* hely nélk. : Pannon Egyetem Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ.
31. István, Erdei. Matászs Online Akadémia. [Online] <http://tavho.org/uploads/learning/5/e82d633ad29d9ac446ca211ca3fd520e.pdf>.
32. Ltd., Amiad Filtration Systems. *"EBS" Filter Series Brochure.* s.l. : Amiad Filtration Systems Ltd.
33. *Épületechnikai Tudástár.*
34. Kft., Isoplus Távhővezetékgyártó. *Merev vezetékekrendszerek.* hely nélk. : Isoplus Távhővezetékgyártó Kft.
35. Termoeconomi. [Online] <http://www.termoeconomi.se/en/referenser/>.
36. Zsolt, Rác. 1kWh villamos energia = 0,35 kg széndioxid kibocsátás. [Online] <https://www.mnnsz.hu/1kwh-villamos-energia-05-kg-szendioxid-kibocsatas/>.

37. 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.
38. Kft., Komáromi Távhőszolgáltató. [Online] <https://www.komaromitavho.hu/>.
39. Urteaga, Diego. EU agrees to reduce its CO2 emissions by 55% by 2030. 11 12 2020.
40. *Új termálvíz távfűtés lehetősége*. Dr. Garbai László, Dr. Kontra Jenő, Varga János. 2019., Magyar Installateur.
41. István, Sarkadi. Rómaikor. [Online] http://www.romaikor.hu/romai_epiteszet/romai_epiteszeti_technologiak/futesi_rendszerek/cikk/hypocaustum_%E2%80%93_a_kozponti_futes.
42. „A DEKARBONIZÁCIÓ KÖLTSÉGEI” TANULMÁNY VILÁGPREMIERJE BUDAPESTEN. Pál, Kovács. 2019., ENERGIAforrás.
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](https://www.nkmenergia.hu/foldgaz/Egyetemes-Szolgaltatas/Ugyintezes/Arak-dijszabasok/A-gaz-ararol). [Online] NKM Zrt. <https://www.nkmenergia.hu/foldgaz/Egyetemes-Szolgaltatas/Ugyintezes/Arak-dijszabasok/A-gaz-ararol>.
45. Zrt., Tigáz. mindent a földgázról. [Online] <http://www.mindentafoldgazrol.hu/ellatasbiztonsag/mi-a-foldgaz/kornyezetvedelem>.

10. SUMMARY

Heating sector is responsible for approximately 50% of our pollutant emissions. The reason for this is the combination of our high heating demands and the use of fossil fuels. Therefore, we need to reduce both. There has been an improvement in the building stock (mostly in district heating areas) since majority of our buildings are equipped with insulation. Although buildings' heat demand may seem to decrease, notwithstanding that 80% of the heat generation is from fossil fuels.

In my paper I introduced an environmentally friendly and sustainable heat generation system, which can supply a whole district with zero local emission. I designed a viable scheme, that could be realized in a few years. I investigated for several existing district heating systems that utilize eco-friendly heat sources. Based on these experiences I elaborated a method specified for the local environmental parameters and the district heating system of Komárom.

The effluent thermal water of the Brigetio Thermal Spa could be exploited using a water source heat pump. I performed measurements on the temperature and volume of the effluent water. Using this data, I determined the amount of energy available for the heat pump. I also suggested more favourable operating conditions for the existing immersible pumps.

Hence the heat pump would not be installed next to the spa, I defined a path for a double pipe network. I also determined an appropriate diameter considering the necessary pumping energy. An automatic self-cleaning filter should be installed as well.

I requested a price for all the elements, however for a few items I had to make an estimation using data of existing installations. To calculate an estimated rate of return on investment costs taking account the value of non-refundable assistance.

I described the emission savings available when replacing the condensing gas boilers with this thermal water utilising system, and the benefits of connecting other consumers to the district heating grid.

Keywords: district heating, thermal effluent water utilisation, heat pump