



AVDH SIGN

MUCSI MIHÁLY
DIPLOMATERV

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



DIPLOMATERVEK

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

MUCSI MIHÁLY
DIPLOMATERV

Geotermikus hőforrások integrálása távhőellátó rendszerekbe

Konzulens:

Dr. Bozsó Gábor
Igazgatási és üzemfenntartási
vezető – Szegedi Távfűtő Kft.

Témavezető:

Dr. Bokor Balázs
Egyetemi adjunktus

Budapest, 2023

Szerzői jog © Mucsi Mihály, 2023.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

<https://epget.bme.hu/>

DIPLOMAMUNKA-FELADAT

NYILVÁNOS

AZONOSÍTÁS	Név: Mucsi Mihály		Azonosító: 77824409087	
	Képzéskód: 2N-MP0		Specializáció kódja:	Feladatkiírás azonosítója:
	Szak: Épületgépészeti és eljárás technikai gépészmérnöki mesterképzési szak		2N-MP0-KF	GEÉE:2023-1:2N-MP0:D6XM9U
	Diplomamunka-feladatot kiadó tanszék: Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék		Zárvizsgát szervező tanszék: Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék	
	Témavezető: Bokor Balázs (79471671680), adjunktus			

FELADAT	Cím	Geotermikus hőforrások integrálása távhőellátó rendszerekbe Geothermal District Heating System Study
	Részletes feladatok	1. Ismertesse a távhőellátó rendszerek fejlődésének folyamatát, különös tekintettel a megújuló alapú energiaellátás integrálhatóságára! 2. Ismertesse a geotermikus hőforrások alkalmazásának gyakorlatát a magyarországi távhőellátó rendszerekben! 3. Mutassa be Szeged távhőellátó rendszerét és az alkalmazott geotermikus rendszereket! 4. Ismertesse a konzulense által rendelkezésére bocsátott alrendszert és adjon javaslatot a hatékony hőhasznosítás megvalósítására! 5. Foglalja össze a munkáját magyar és idegen nyelven!
	Hely	A diplomamunka készítés helye: SZETÁV Szegedi Távfűtő Kft. 6724 Szeged, Vág utca 4 Konzulens: Dr. Bozsó Gábor, igazgatási és üzemfenntartási vezető

ZÁRÓVIZSGA	1. zárvizsga tantárgy(csoport)	2. zárvizsga tantárgy(csoport)	3. zárvizsga tantárgy(csoport)
	ZVEGEÉENPKT Klímatechnika	ZVEGEÉENPHE Hőellátás és energiahatékonyság	ZVEGEÉENP22 Kömfűtőművelés

HITELESÍTÉS	Feladat kiadása: 2022. szeptember 5.		Beadási határidő: 2022. december 9.	
	Összeállította: Bokor Balázs (79471671680) témavezető		Ellenőrizte: Dr. Csoknyai Tamás s.k. tanszékvezető	Jóváhagyta: Dr. Györke Gábor s.k. dékánhelyettes
	Alulírott, a feladatkiírás átvételével egyúttal kijelentem, hogy a Diplomamunka-készítés c. tantárgy előkövetelményeit maradéktalanul teljesítettem. Tudomásul veszem, hogy jogosulatlan tantárgyfelvétel esetén a jelen feladatkiírás hatálytalan. Mucsi Mihály			

NYILATKOZAT AZ ÖNÁLLÓ MUNKÁRÓL

Alulírott, *Mucsi Mihály* (D6XM9U), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023. január 10.

Mucsi Mihály s.k.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	4
1.1. Célkitűzések.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés	6
2.1. Távhőrendszerek fejlődésének folyamata	6
2.1.1. Első generációs távhő	6
2.1.2. Második generációs távhő	6
2.1.3. Harmadik generációs távhő	6
2.1.4. Negyedik generációs távhő	7
2.1.5. Ötödik generációs távhő	8
2.2. Megújuló alapú hőforrások integrálhatósága távhőellátó rendszerekbe	8
2.2.1. Hulladékhő	8
2.2.2. Napkollektor.....	9
2.2.3. Geotermikus hőszivattyús rendszerek (GSHP).....	10
2.3. Geotermikus hőforrások távhőellátó rendszerekben, hazai példák.....	12
2.4. Magyarország geotermikus távhőellátása	12
2.4.1. Szentes	14
2.4.2. Kistelek	14
2.4.3. Veresegyház.....	14
2.4.4. Hódmezővásárhely.....	14
2.4.5. Miskolc	15
2.4.6. Győr	16
3. Szeged távhőellátó rendszere	17
4. A vizsgált alrendszerek ismertetése.....	19
4.1. Közös jellemzők	19
4.1.1. A hőközpontok.....	19
4.1.2. Elosztóhálózatok.....	20
4.2. A mélygeotermikus termálvíz csatlakozása	21
5. A modell.....	22
5.1. A modellalkotás célja.....	22
5.2. A modell felépítése	22
5.3. Hőtéljesítmény-igény számítás.....	25
5.4. Áramköri előremenő, visszatérő hőmérséklet menetrend és tömegáram meghatározása.....	26
5.4.1. Tömegáram osztás	28

5.5. HMV termelés	29
5.6. Mellékszámítások.....	29
5.7. Szivattyú menetrendek	30
5.8. Hőcserélők.....	31
5.9. A számítás menete	34
5.9.1. Fűtési körök	35
5.9.2. HMV körök.....	38
5.9.3. Geotermikus kör	39
5.10. Alkalmazott egyszerűsítések.....	41
5.10.1. Hővesztések elhanyagolása.....	41
5.10.2. HMV előállítás.....	41
5.10.3. Azonos áramköri menetrendek alkalmazása	41
5.10.4. Hidraulika elhagyása	41
5.10.5. Statikus állapot.....	42
5.10.6. Kazántelepek	42
5.11. A modellt tartalmazó Microsoft Excel file felépítése	42
5.12. Modell validáció.....	43
5.13. Optimális üzemelési paraméterek keresése	46
5.13.1. Az optimalizáció	46
5.14. Általános diagramok vizsgálata	49
6. Felújítási koncepciók	52
6.1. Áramkörök teljes épületállományának szigetelése.....	52
6.1.1. Az épületek energetikai tulajdonságai	52
6.1.2. Új teljesítmény menetrendek.....	54
6.1.3. Energetikai korszerűsítés eredménye	56
6.1.4. ÁK-i előremenő menetrend csökkentés, eredmény	57
6.1.5. ÁK-i „alákaszkádolás”, eredmény	60
6.2. Geotermikus hőcserélők párhuzamosítása	61
7. Energiamegtakarítás.....	64
7.1. Kiértékelés, eredmények.....	64
7.2. Megjegyzések az energiamegtakarítás számításához.....	66
8. Összefoglalás.....	67
9. Summary.....	69
10. Felhasznált források	70

Köszönetnyilvánítás

* * *

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Bokor Balázs egyetemi adjunktusnak a diplomatervezet elkészítésében nyújtott segítségéért. Időt és fáradságot nem kímélve kérdéseim esetén azonnal rendelkezésre állt, megkönnyítve a munkám. Továbbá szeretnék köszönetet mondani Dr. Bozsó Gábor egyetemi adjunktusnak és Kalmár Lászlónak a Szegedi Távfűtő Kft. munkatársának, akik szintén rengeteg segítséget biztosítottak számomra. Köszönet illeti még azon személyeket, akik valamilyen egyéb formában hozzájárultak a dolgozat megírásához.

Budapest, 2023. január 09.

Mucsi Mihály

1. BEVEZETÉS

Az Európai Unió megújuló energiaforrásokból előállított energia használatának előmozdításáról szóló irányelve szerint [1] 2030-ra a felhasznált energia 30%-a megújuló energiaforrásból kell, hogy származzon, valamint 2050-re 80-95%-al kell csökkenteni az üvegházhatású gázkibocsátás mértékét az 1990-es szinthez képest.

Mivel az EU-ban felhasznált energia csaknem 50%-a az épületek fűtésére fordítódik [2], ezért elkerülhetetlen az ezen a területen történő fejlesztés. Urban Persson és Sven Werner cikke szerint [3], mely a távhő jövőbeli versenyképességét vizsgálja, megállapítható, hogy a sűrűn lakott területek fűtésére szinte az egyetlen elérhető megoldás a távhőellátásban rejlik, ugyanis a kialakulni látszó 4. generációs távhőrendszerek alacsony hőmérsékletű hőforrásai nagyrészt megújuló alapúak, valamint alacsony üvegházhatású gázkibocsátással rendelkeznek [3].

Az említett negyedik generációs távhőrendszerek Magyarországon jelenleg még kevésbé elterjedtek, ennek több oka van, melyek közül az egyik legfőbb, hogy a ma üzemelő hálózatok nagy része több évtizedes, és a létesítésükkor a gyakorlatban alkalmazott üzemelési hőmérsékletek számottevően magasabbak voltak, feltételezve a magas hőmérsékletű hőforrás rendelkezésre állását. Ez önmagában megnehezíti a zömével alacsony hőmérsékletű megújuló hőforrások csatlakoztatását. A hazai geológiai adottságok azonban lehetőséget kínálnak ezen problémák áthidalására, hiszen a Kárpát-medencére jellemző, átlagosnál nagyobb geotermikus gradiens miatt magas hőfokú termálvíz áll rendelkezésre. A földhő mellett, hogy a megújuló hőforrás kategóriájába tartozik, viszonylag magas hőmérsékleten, akár 90°C-on is elérhető, mely kedvez a kevésbé korszerű rendszerekhez való csatlakozásnak.

1.1. Célkitűzések

A körülbelül 162 ezer lakossal rendelkező Szeged város 27 256 lakását látja el fűtővízzel és használati melegvízzel a helyi távhőszolgáltató. A 2018-tól létesített új geotermikus kutak segítségével hatalmas lépést tettek a megújuló energiaforrások alkalmazása felé, és kimutatták, hogy a projekt befejezésével 60%-al kevesebb lesz a károsanyag kibocsátás, megtartva a korábbi szolgáltatás minőségét. Korábban a 100%-ban import földgáz felhasználó, összesen 224 MW-os rendszer a környék legnagyobb széndioxid emitterévé tette a szolgáltatót. A geotermikus energia kihasználására törekvő átalakítás európai viszonylatban a legnagyobbinak számít. [4]

Jelen dolgozat témája kettő összetartozó távhő alrendszer vizsgálata, melyek egy új, közös kút 90°C-os termálvizével kiváltják a meglévő gáztüzelésű kazánok teljesítményének jelentős hányadát. A tervek szerint a korábban 4 millió m³/év [5] földgáz felhasználást kevesebb mint a felére képesek csökkenteni. A ténylegesen megtakarítható fosszilis tüzelőanyag mennyiség sok tényezőtől függ, a teljesség igénye nélkül felso-

rolva ilyenek például az épületek hőszigetelési állapotai, az azokban található fűtőtestek típusai, az alkalmazott áramköri előremenő és visszatérő hőmérsékletek, az elosztóvezetékek hőveszteségei, a kitermelt termálvíz hőmérséklete és tömegárama, a beépített hőcserélők hatásfoka stb. A körülbelül 50 éves távhőhálózat és a hozzáillesztett új hőforrás egysége vizsgálatokkal, optimalizációval és átalakításokkal hatékonyabban képes üzemelni, a jelenlegi megtakarításokat tovább növelve. A dolgozat célkitűzései közé tartozik ilyen jellegű elemzések végzése és átalakítási javaslatok tétele.

A dolgozat célja tehát az új hőforrás rendszerbe integrálásának vizsgálata, annak elemzése számítási modell segítségével, valamint a számítások eredményeire épülő módosítási javaslatok adása, szem előtt tartva a megújuló energiahányad maximalizálását. Ennek megoldása Microsoft Excel szoftverben, részben Visual Basic for Applications (VBA) környezetben történt.

A két vizsgált fűtőmű elnevezése Észak 1/A és Észak 1/B. Összesen körülbelül 160 épületet tartalmazó rendszert látnak el fűtési és használati melegvízzel, melyek között nem ritka például a tíz emeletes panelház, tehát könnyen belátható, hogy rengeteg energia kerül felhasználásra akár csak egy napot tekintve is. Ebből egyenesen következik, hogy ha valamilyen beruházás vagy átalakítás során csupán 1%-ban sikerül a gázfelhasználást a megújuló energia javára csökkenteni, akkor annak jelentős anyagi vonzata van, nem beszélve a környezetre gyakorolt pozitív hatásról.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Távhőrendszerek fejlődésének folyamata

2.1.1. ELSŐ GENERÁCIÓS TÁVHŐ

Az első távfűtési rendszert Birdsill Holly alakította ki az Amerikai Egyesült Államokban, gőz hőhordozó közeg felhasználásával 1876-1877 között. Az alkalmazott előremenő fűtési gőzhőmérséklet 100°C és 200°C közötti, rendszerkialakításonként eltérő jellemző volt. Hátránya, hogy ilyen magas hőmérsékletek mellett óriási hálózati hőveszteségekkel kell számolni. Ezen fűtési megoldás technológiája egészen a 1920-as évekig elterjedt volt, azonban van, ahol még ma is használják, elsősorban nagyon sűrűn lakott területeken, például New York Manhattan városrészében, Párizsban, vagy éppen Budapesten a Műszaki Egyetem néhány épületét ellátva. Ma már idejét múlt technológia. [6]

2.1.2. MÁSODIK GENERÁCIÓS TÁVHŐ

A második generációs távhő alatt már a víz hőhordozó közeggel rendelkező rendszereket értjük, melyek az 1920-as években kezdtek felbukkanni Németországban, a nagyobb rendszerhatékonyság miatt és egészen 1980-ig számítottak korszerű technológiának. Az alacsonyabb előremenő hőmérsékletnek (bár még mindig 100°C feletti) köszönhetően már kisebbek voltak az elosztó vezetékek hőveszteségei. További újítás, hogy a 2. generációs távhőben alkalmazott nagyobb hőfoklépcső miatt kialakuló tömegáram igény csökkenés sokkal kisebb csőátmérők alkalmazását is lehetővé tette. A magas előremenő és visszatérő hőmérsékleti értékek miatt napjainkban már a 2. generációs távhőrendszerek is meghaladott technológiának számítanak. [6]

2.1.3. HARMADIK GENERÁCIÓS TÁVHŐ

A harmadik generációs távhőrendszerek kialakulása elsősorban energiapolitikai szempontokhoz köthető. Az 1970-es évekbeli nemzetközi olajválságok arra késztették az észak-európai országokat, hogy olyan fűtési megoldásokat alkossanak meg, amelyek hatékonyabban használják fel a befektetett energiát, csökkentve az olaj és földgáz exportőr országoktól való függést. Így jutottak el Dániában, Svédországban és Finnországban a 3. generációs távhőig, amelyet már előre szigetelt csővezetékek, kompakt hőközpontok jellemeznek és 100°C alatti előremenő hőmérsékletek melynek köszönhetően számos új, a korábbiaknál alacsonyabb hőmérsékletű hőforrás alkalmazása megoldhatóvá vált. Ilyen például az ipari hulladékhő. A mai napig világszerte

elterjedt kialakítási elveket tartalmaz, azonban rengeteg tanulmány foglalkozik a 4. generációs távhőrendszer bevezetésével. A magyar távhőrendszerek jelentős része is a harmadik generációba sorolható. [6] [7]

2.1.4. NEGYEDIK GENERÁCIÓS TÁVHŐ

Elsősorban környezetvédelmi megfontolások, valamint a folyamatosan hatályba lépő szabályozások serkentik a fosszilis tüzelőanyagokról a megújuló energiaforrásokra való áttérést. Ez a távhőrendszerek tekintetében alacsonyabb hőmérsékletű hőforrásokat jelent (geotermikus energia, hőszivattyúk stb.), amiből adódik, hogy a visszatérő hőmérsékletek is csökkennek, mivel a megfelelő hőfoklépcsőt biztosítani kell. A 4. generáció esetében 50-60°C-os előremenő és 25-30°C visszatérő hőmérsékletek elérése a cél, amely már hőleadói oldalon is jelentős kihívást jelent, hiszen ilyen paraméterek mellett a megfelelő helyiségfűtés elsősorban felületfűtések telepítésével oldható meg. [6]

A 4. generációs távhőrendszerekkel foglalkozó szakemberek számára már a szezonális energiatárolás lehetősége is felmerült, amit szintén az alacsonyabb hőmérsékletek és ezáltal az alacsonyabb hőveszteségek tesznek lehetővé [7]. Ez az időszakosan rendelkezésre álló hő magasabb fokú kihasználtságára rendkívül jó opció lehet. Ugyanakkor a hőtárolás problémakörébe tartozik az egyre széleskörűbben alkalmazott földhő hőszivattyúk alkalmazása is. Ezek általában néhány tíz, de maximum néhány száz méter mélyről képesek hőt elvonni télen. Előfordulhat, hogy az évek során az adott földréteg kihűl, és már nem képes biztosítani a szükséges hőfokot, emiatt megfontolandó a talajszondás hőszivattyúkat hűtő-fűtő üzemre tervezni. Ez azt is jelenti, hogy már léteznek olyan távhőrendszerek, amelyek mindkét említett funkciót (hűtés, fűtés) képesek ellátni.

A 4. generációs távfűtő rendszerek további jellemzője a „okos rendszerbe” („smart grid”-be) való integrálás, azaz a hatékony szabályozás mellett, a folyamatos monitorozás és esetlegesen más rendszerekkel való összehangolt működés is megvalósítható. Például az okos rendszer üzemelés során egy adott épületbeli teljesítményigény növekedés esetén mérlegeli, hogy melyik hőforrásnak érdemes fokozni a teljesítményét, figyelembe véve a keletkezett többletigény helyét, a hőtermelő hatásfokát és az éppen aktuális energia árfolyamot (a szempontokat a teljesség igénye nélkül felsorolva). [6]

A 4. generációs távhőrendszerek fontos eleme még, hogy a hőtermelők decentralizálása egészen háztartási méretekig is eljuthat, azaz a korszerű rendszer lehetővé teszi, hogy bizonyos időszakokban a fogyasztó már hőtermelőként is jelen lehessen. Ez azt jelenti, hogy amikor egy fogyasztó többlet hőt termel (pl.: napkollektorral, hőszivattyúval), akkor lehetősége van ezt a rendszerbe táplálnia. Az angol nyelvű szakirodalom az ily módon bővült szerepkörrel rendelkező fogyasztót „prosumer”-nek nevezi. [6]

2.1.5. ÖTÖDIK GENERÁCIÓS TÁVHŐ

A szakirodalomban már létező fogalom az 5. generációs távhőrendszer is, mely mindenképpen hűtő-fűtő szolgáltatást foglal magába. Talán nem meglepő módon a korábbi generációkhoz képest ebben az esetben még tovább csökkentik a hőhordozó közeg hőmérsékletét, a talaj hőmérsékletéhez közeli szintig, azaz 15-20°C-ig. Ebből a már- már hideg közegből a helyi igényeknek megfelelően, decentralizált módon hőszivattyúval termelik meg a szükséges használati melegvíz vagy fűtési víz mennyiséget. Ez a rendszerfelépítés jelenleg azonban viszonylag távlati, egyelőre mintaprojekt szinten van csak jelen a világban, így jelen dolgozatban nem is kerül bővebb kifejtésre.

2.2. *Megújuló alapú hőforrások integrálhatósága távhőellátó rendszerekbe*

Számos különböző hőforrást tekintünk megújulónak, melyek integrálhatók meglévő távhőrendszerekbe. Az égetés alapú technológiák a legkompatibilisebbek a világon legelterjedtebb 3. generációs távhőrendszerekkel, hiszen a folyamat során kellően magas hőmérsékletet tudnak biztosítani. Ilyen energiaforrásnak számít a biomassza (fapellet, faapríték stb.), a mezőgazdasági vagy más forrásból keletkező biogáz és a hulladékégetés. Előnyük, hogy segítségükkel a nagy hatásfokú kapcsolt energiatermelés is megvalósítható, mivel az égetés hőmérséklete lehetővé teszi a villamosenergia termelést is. A fosszilis fűtőművek/hőerőművekhez viszonyítva jelentős hátrány, hogy a tüzelőanyag sokszor ingadozó mennyiségben áll rendelkezésre, ezért az energiatermelés is sztochasztikus jellegű. Ennek eredményeképpen viszonylag ritkán alkalmazzák őket, de léteznek jól működő nagyméretű projektek is, például Florida államban, Kínában, Németországban. [2]

Mivel az égetés alapú megújuló energiatermelés nagy mértékben hasonlít a fosszilis energiatermeléshez, ezért a dolgozat elsősorban más típusú energiaforrásokat helyez a fókuszba, hiszen ezek távhőrendszerekbe való integrálhatósága is új kihívásokat rejt magában. Ilyenek a napsugárzást hasznosító napkollektorok, a hulladékhő és a hőszivattyús geotermikus hőforrások, melyeket a következő alfejezetek mutatnak be részletesebben. A dolgozat fő témájával, a mély geotermikus (200-3000 m) energiaforrás bemutatásával a 2.3-as alfejezet foglalkozik.

2.2.1. HULLADÉKHŐ

Az ipari hulladékhő távfűtési célra való alkalmazása már sok helyen bevált, kiforrott technológiának számít. A felhasznált energiamennyiséget tekintve a néhány kWh-tól a GWh-s nagyságrendig vannak már rá telepítési példák. Kialakításukkor gyakran nehézséget okoz, hogy a hőforrás sokszor távol helyezkedik el egy adott, sűrűbben lakott településtől, és a kettő között létesített vezeték hő-és villamosenergia vesztesé-

gei már túl nagyok a gazdasági megtérüléshez. Hasonlóan megnehezíti a távhőrendszerhez való csatlakoztatást, ha az viszonylag magas hőmérsékletű vizet igényel, amit a technológiai folyamatok fűtési vize nem minden esetben tud biztosítani. Ekkor nagy jelentősége van a 4. generációs távhőrendszernek, hiszen az számos alacsony hőmérsékletű hőforrás csatlakoztatását teszi lehetővé, azonban egy régi rendszer felújításával az erre való átállás hosszadalmas folyamat, hiszen a távhőrendszer mellett általában az egész épületállomány energetikai felújítása szükséges hozzá. A felhasználni kívánt hulladékhővel szemben további kritérium, hogy az viszonylag kiszámíthatóan, tervezhetően álljon rendelkezésre, ami bizonyos esetekben nem áll elő. [2]

Továbbra is óriási potenciál van a hulladékhő alkalmazásában, mivel becslések szerint kizárólag ezzel az energiaforrással Európa 90%-ának a fűtési hőigényét lehetne fedezni, azonban a tanulmányok azt mutatják, hogy a kihasználásukra való szándék jogszabályok formájában hiányzik, pedig elsősorban a jövőbeni tudatos tervezéssel lehetne ezen a téren a legtöbbet elérni. [8]–[10]

2.2.2. NAPKOLLEKTOR

A főként kis és közepes méretben alkalmazott napkollektoros hőforrás mára már szintén érett technológiának számít. A legtöbb vele kapcsolatos tanulmány a hatásfoknöveléssel és a hőtároló integrálásával foglalkozik. Több telepítési példát láthatunk, a dán Silkeborg településen van a világon a legnagyobb beépített teljesítménnyel (110 MW) rendelkező napkollektoros rendszer, melyet mintegy 156 694 m² nagyságú mezőgazdasági területre telepítettek 2016-tól kezdődően, és amely a város téli hőszükségletének 20%-át, a nyárinak 100%-át képes fedezni szezonális hőtároló nélkül. [2]

A napenergia fűtési célú hasznosítása az ingadozó időjárási körülmények ingadozása miatt nagyon nehezen elképzelhető hőtároló alkalmazása nélkül, mellyel időben kiegyenlítettebben rendelkezésre álló hőforrássá lehet alakítani. Léteznek szezonális, napi, esetleg néhány napi tárolók; közeget tekintve a forró- vagy melegvizet a legelterjedtebb, de néhány tanulmány a fázisváltó közeges tárolókat is vizsgálja az alacsonyabb tárolási hőmérsékletek miatt, amely hőveszteség szempontjából kedvezőbb. [11]

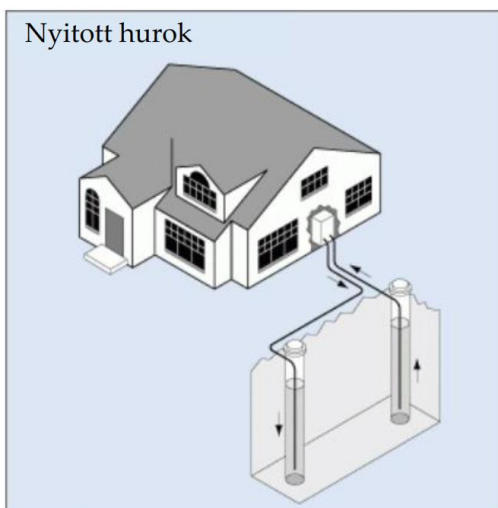
A fejlett szabályozási rendszer is elengedhetetlen, különösen az olyan decentralizált, általában kisméretű hálózatok esetén, ahol a fogyasztók időszakonként már termelői szerepkört is felvesznek.

Továbbá a távhőrendszerbe való integrálás során kompatibilitási problémák léphetnek fel a rendszerek hőmérsékletére vonatkozóan, hiszen jelenleg a napkollektorok által előállított hőhordozó közeg hőmérséklete leginkább a 4. generációs hálózatok fűtésére alkalmas.

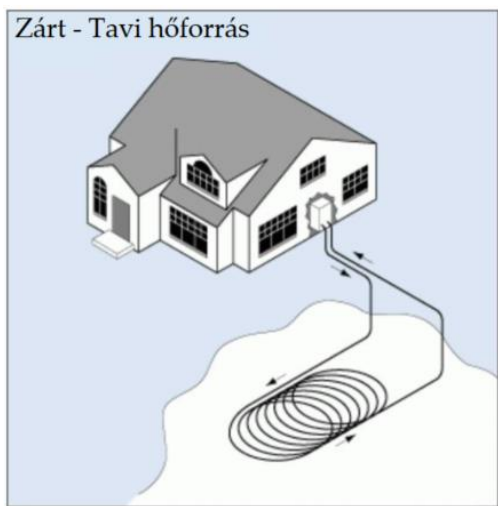
A jövőbeli kilátásokat tekintve nagy potenciállal rendelkezik a napenergia fűtési célú alkalmazása, amennyiben sikerül áthidalni az rendelkezésre álló energia és az

igény keletkezésének időbeli eltérését. Ennek megoldására a korábban említett szezonális hőtárolók alkalmazása nyújthat megoldást, de nem elvetendő a más hőforrással való hibrid üzem sem, mellyel a csúcsteljesítményt például gázkazánnal vagy hőszivattyúval lehetne fedezni. [2]

2.2.3. GEOTERMIKUS HŐSZIVATTYÚS RENDSZEREK (GSHP)



1. ábra: Nyitott rendszerű hőszivattyú [13]



2. ábra: Zárt rendszer, tavi hőforrás [13]

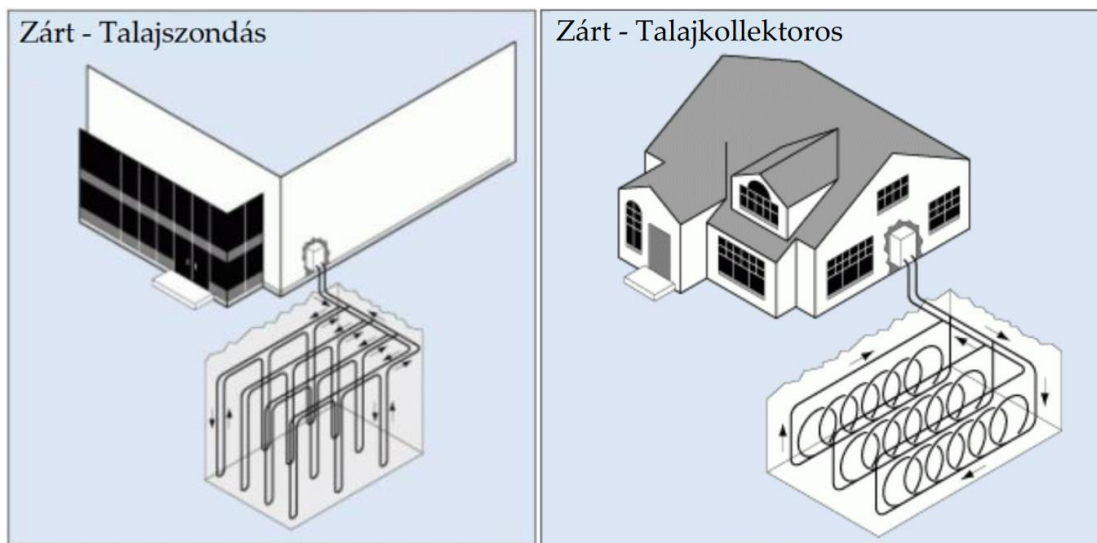
A geotermikus kitermelésben világ szinten a legtöbb energiát hőszivattyúk segítségével hasznosítják, mely után sorban következnek a balneológiai, helyiség fűtési, agrár és ipari felhasználások [12]. A hőszivattyúk általában kis mélységekre telepítettek (körülbelüli maximum: 200 m), alkalmazásuknak korlátot szabnak a helyszíni környezeti adottságok. Többféle kialakítás létezik, melyek az alábbiakban kerülnek bemutatásra. Nyitottnak nevezzük az olyan rendszereket, amelyekben közvetlenül a talajvizet mozgatjuk a szivattyú segítségével. A talajvíz kinyerésére és a

földfelszín alá való visszajuttatásra három megoldás létezik, a legkézenfekvőbb a két kutas, melyek közül az egyik a termelő, a másik a visszajuttató. Egyszerű de sokszor nem engedélyezett megoldás a már felhasznált vizet a környezetbe kiengedni. Harmadik alternatíva a kitermelővel megegyező kúton visszajuttatni a vizet.

Zárt rendszerek esetében a telepítéskor a rendszerbe töltött hőhordozó közeg (víz vagy glikolvíz keverék) kering, az üzemelés során nincs a környezettel anyagcsere. A zárt rendszerek között megkülönböztetünk függőleges (talajszonda) és vízszintes (talajkollektor) kiterjedésű

köröket, melyeknek kiválasztása a rendelkezésre álló terület nagysága és a megengedhető fúrás mélység függvénye.

A zárt rendszerek közé tartoznak még azok a hőszivattyúk, amelyek a hőt csőkígyón keresztül valamilyen nyílt vízből, tóból nyerik.



3. ábra: Zárt rendszerek: talajszondás (bal), talajkollektoros (jobb) [13]

A hőszivattyúk legfontosabb tulajdonságai közé tartoznak a környezeti paramérektől függő hatékonysági mutatók: COP, SCOP, EER, SEER. Minél inkább változik üzem közben a hőt biztosító közeg hőmérséklete vagy a megkívánt előállítandó fűtési/HMV víz hőmérséklete, annál alacsonyabb szezonális mutatókkal fog rendelkezni a berendezés, nem beszélve arról, hogy ugyanezen értékek függvényében a maximálisan kinyerhető teljesítmény is csökkenhet. A geotermikus hőszivattyúk előnye ezen a területen jól megfigyelhető például a levegő-víz hőszivattyúkkal szemben, mivel a talajhőmérséklet már néhány méter mélyen is nagyon kis tartományban mozog az év egésze alatt. A hőszivattyúk jellemzői között általánosságban az is elmondható, hogy minél magasabb az előállítani kívánt közeg hőmérséklet, annál kisebb hatásfokon, kisebb teljesítményen fog tudni üzemelni, illetve annál nagyobb lesz a beruházási költség is, ezért a konkrét távhőrendszerbe való integrálás során is csak azok a hálózatok jöhetnek szóba, amelyek hőleadói már kellően alacsony hőmérséklettel tudnak üzemelni, ami általában a 4. generációra jellemző. (Az elvi szintű 5. generációs távfűtési rendszer hűtési-fűtési szükséglete miatt már nagyban támaszkodik a hőszivattyúkra mint hőforrásra.)

A távhőrendszerekre egyre inkább jellemző decentralizáltság elvéhez jól kapcsolhatók a hőszivattyúk, akár más típusú hőforrással, akár több, például hőközpontként telepített hőszivattyúkkal is jól összehangoltan működtethetők, amennyiben a fogyasztók hőmérséklet igények az előző bekezdés szerint megfelelően alacsony.

2.3. Geotermikus hőforrások távhőellátó rendszerekben, hazai példák

A megújuló hőenergiaforrások közül a mélygeotermia a legkiforrottabb technológia, vannak olyan országok, amelyek a rendelkezésre álló geotermikus hőforrás potenciáljukat ma már teljes mértékben kihasználják. Méretet tekintve 2-50 MW-os maximális kitermelési teljesítményű rendszerek a leggyakoribbak. [2]

A kitermelt termálvíz felhasználási köre viszonylag széles. A hőmérsékletétől függően 175 °C felett villamosenergia termelésre, 100...150°C között ipari fogyasztók fűtésének biztosítására, 60...100°C között helyiségfűtésre, 30...60°C között üvegházak fűtésére és balneológiai célokra, 5...30°C között hőszivattyúk segítségével fűtési célra szokás felhasználni [12].

A geotermikus hőforrás hátrányai közé tartozik, hogy a mélyből kinyert közegnek rendkívül magas oldottanyag tartalma van, melynek a fűtési rendszerekben való kiválását mindenképpen el kell kerülni. A kezdetben létesített rendszerek esetén a direkt kialakítás volt a jellemző, mára már minden esetben hőcserélővel választják le a kitermelt közeget az elosztóhálózat és a felhasználói oldaltól [14]. Ennek hozadéka az üzembiztonság növekedése, hátránya a csökkenő hatékonyság, hiszen nem létezik olyan hőcserélő, amely a direkt rendszernek megfelelő teljesítménnyel lenne képes átadni a hőt. A termálvizek sótartalma eltérő Magyarország különböző helyein továbbá általában metánt és szén-dioxidot is tartalmaznak, az előbbi miatt korábban több robbanás is előfordult a kitermelés során. 5 Nl/m³ felett a metántartalmat a víztől el kell szeparálni [14].

A gazdaságossági oldalt tekintve elmondható, hogy sok energiaforráshoz képest a geotermikus rendelkezik az egyik legnagyobb beruházási költséggel, hiszen a több száz méter mély kutak fúrása rendkívüli szaktudást, körültekintést és technológiai felszereltséget igényel. A Békés megyei Nagyszénás településen van példa meglévő, régi szénhidrogén lelőhely geotermikus kúttá történő alakítására is, azonban ez sem feltétlenül jelent nagy beruházási költségcsökkentést [15]. Ennek eredményképpen a legtöbb hazai geotermikus projekt EU-s támogatással valósul meg.

A további költségeket tekintve fontos még a kitermelő és visszasajtoló szivattyúk villamosenergia fogyasztása, a rendszeres geotermikus oldali hálózat szennyeződéseinek eltávolítása, karbantartása. A geotermika óriási előnye azonban, hogy gazdasági és politikai helyzettől függetlenül mindig rendelkezésre áll, feltéve, ha a szivattyúkhöz és a szabályozáshoz szükséges villamosenergiamennyiség biztosítva van.

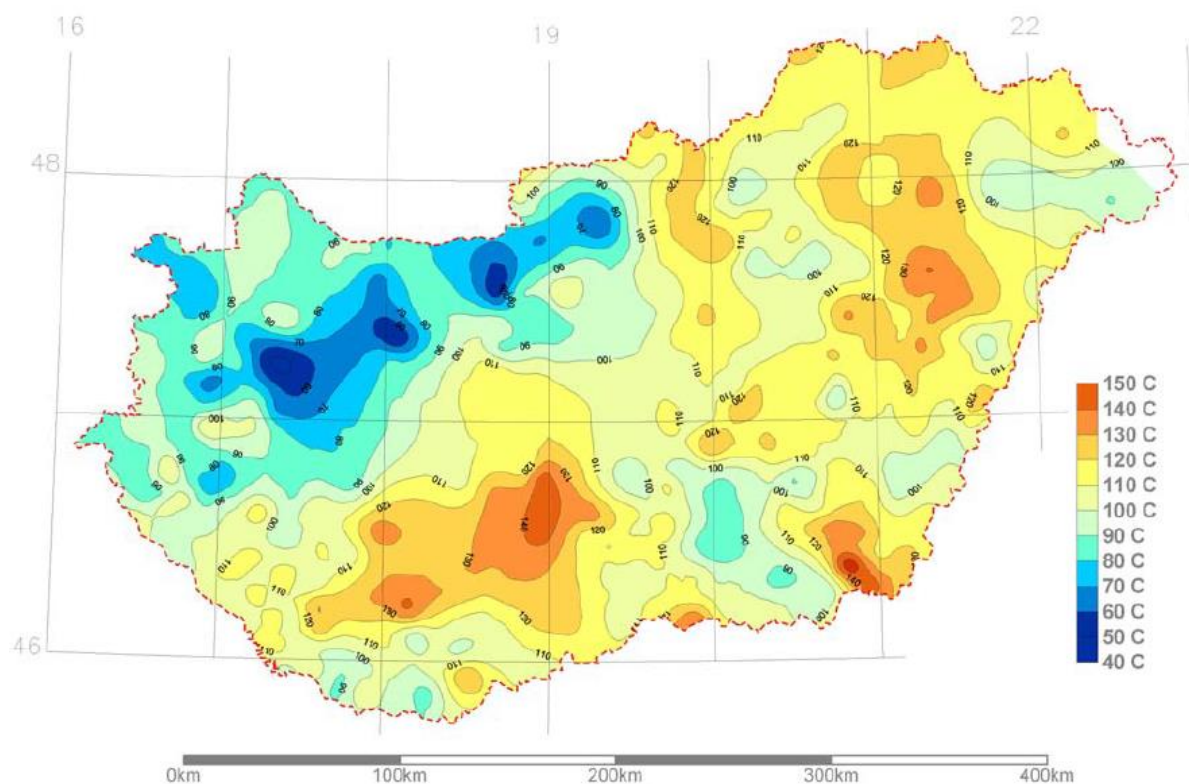
2.4. Magyarország geotermikus távhőellátása

Hazai tekintetben Zsigmondy Vilmos nevéhez fűződik az első mélyebb geotermikus kút fúrása, amelyet 1878-cal bezárólag tíz év alatt 970 méteres mélységbe sikerült süllyeszteni a Városligetben. Kialakítása óta 74 °C-os vizet szolgáltat. Hőellátásra az

1920-30-as években kezdték alkalmazni a termálvizet Budapesten a Szent István parkban, a Szabolcs utcai Kórházban és az Állatkertben, akkoriban még artézi kutak segítségével [16]. 1957-58-tól Szeged és Szentes vezetésével újabb lendületet vettek a termálvíz hőhasznosítására történő fejlesztések, majd a következő 10-15 évben az állam jelentősen támogatta a hévízkutak fúrását, így akkoriban országszerte jelentősen megnőtt a hőhasznosítás célú beruházások száma [16].

Egy 2019 -es cikk [17] szerint a Magyarországon található 2809 településből összesen csak 27 helyiségben hasznosítják a hévizet fűtési célra, és csak 21 település hasznosítja távfűtési energiaforrásként. Sok cikkben említésre kerül, hogy gyógyfürdők termálvizének energetikai felhasználása kis mértékben valósul meg, holott nagy fűtési potenciál rejtőzik benne.

Magyarország kiváló geotermikus adottságokkal rendelkezik, az átlagos geotermikus gradiens $45^{\circ}\text{C}/\text{km}$ [16]. A 30°C feletti termálvíz az ország területének több mint 70%-án jelen van. A 4. ábra a 2000 m mélységben található rétegek hőmérsékletét mutatja. A dolgozatban vizsgált, Szeged területén fúrt kút is körülbelül ilyen talpmélységgel rendelkezik, és a térkép alapján igazolható, hogy körülbelül 90°C -os vizet lehet a régióból kinyerni.



4. ábra: „A hőmérséklet-eloszlás 2000 m mélységben a felszín alatt” [18]

A hazai hévízkutak száma közel 1700, melyből körülbelül 600 balneológiai, 500 kút mezőgazdasági célú [17]. Törökország, Japán, Oroszország és az Egyesült Államok mellett Magyarország élen jár a helyiségfűtés céljára beépített geotermikus kapacitás

tekintetében, mely az utóbbi évtizedben fűrt számos kútnak köszönhető. Ezek nagyrészt a meglévő távhőellátó rendszereket látják el hővel a gázkazánok mellett. A termálvízzel biztosított energiahányad rendszerenként eltérő, jellemzően 30-100% közötti érték. [19]

2.4.1. SZENTES

Magyarországon legrégebbi kaszkád jellegű, geotermikus hőfelhasználáson alapuló távfűtő rendszer Szentesen építették 1958-ban. A kaszkád rendszer jellemzője, hogy a földfelszín alól kinyert vízből több lépcsőben kerül elvonásra a hő, különböző felhasználási célokra, így maximalizálva a kinyert hő mennyiségét. Szentesen a fűtési, használati melegvíz előállítás, balneológiai (pl. fürdők vize), mezőgazdasági felhasználás a legjelentősebb [20]. 2015-re a város 34 termálkúttal rendelkezett, ebből négyet távfűtési célra használtak [21].

2.4.2. KISTELEK

Kisteleken 2007 óta üzemel geotermikus közműrendszer, mellyel kilenc közintézmény fűtését és használati melegvíz ellátását oldják meg körülbelül 2 MW teljesítménnyel. Az egy kútból kinyert 90°C-os, 90m³/h hozamú termálvíz teljesítményét csúcsidőszakban gázkazánokkal pótolják. Az ellátott épületek költségei a beruházás óta körülbelül 10%-al csökkentek. Jelentősége, hogy az itt felhasznált éves szinten 31,25 TJ-al megemelkedett megújuló energiamennyiség országos szinten 0,1%-os növekedésnek felelt meg.[16]

2.4.3. VERESEGYHÁZ

Veresegyházán 1993-óta használják a termálvizet fűtési célra, az azóta végbement fejlesztéseknek köszönhetően ma már 3 kitermelő és egy visszasajtoló kúttal 12,1 MW hőteljesítményre képes [22]. Az ellátott épületek közé tartozik Mézesvölgyi Általános Iskola, különböző közintézmények, a Sanofi gyógyszergyár, a General Electric két gyára, valamint egy ruhaüzem is [23].

2.4.4. HÓDMEZŐVÁSÁRHELY

Hódmezővásárhelyen 1994-ben kezdődött meg a geotermikus közműrendszer megvalósítása, mely kezdetben két HMV kitermelő kútra (1106 m és 1273 m mélységű) és egy fűtési (2014 m mélységű) kitermelő kútra épült. A beruházás célja a korábbi gázkazán hőforrás kiváltása volt, melyet sikeresen meg is valósítottak. A fejlesztés eredményeképpen a távhőrendszer hőforrása ekkorra nagyobb részt geotermikus

energia, így az aktuális külső politikai és gazdasági helyzettől nagyrészt függetlenül képes működni. Évente 2,5 millió köbméter [24] földgázt takarítanak meg, csökkentve a környezetvédelmi szennyezés mértékét, és az energiaköltséget is. A projekt megtérülési idejét 6 évre becsülték, 50-100 éves várható élettartam mellett [16]. 2008-ra további 2 fűtési célú kúttal és 5 ipari felhasználásra szánt kúttal bővült a korábbi mennyiség [24]. Az új hőforrás négy különálló, szigetüzemű rendszert köt össze, melyek lakóépületeket, közintézményeket, fürdőt és egy fedett uszodát tartalmaznak [16].



5. ábra: A Hódmezővásárhelyi termálkutak elhelyezkedése [16]

A hódmezővásárhelyi távhőrendszer a komplex kaszkád kapcsolás és a homokkőbe történő fenntartható visszasajtolás technológiai megvalósításában alkotott újat [20]. Az évek során megvalósított fejlesztéseknek köszönhetően mára már a távhőrendszer több részét is szinte kizárólag geotermikus hővel látják el, például az 1993-as évhez viszonyítva a Mátyás utcai hőközpontban közel 94%-al csökkent a gázfelhasználás 2013-ra [25].

2.4.5. MISKOLC

A miskolci termálvíz kitermelés 2 db 1500-2300 méter mély rétegbe fúrt kúton keresztül történik, a visszasajtolást 3 db kúttal végzik. A kinyert termálvíz 87-102°C hőmérsékletű. A föld hőjét többek között az Avaz városrészben található panelépületek,

a belvárosi épületek, a Joyson Safety System Hungary Kft. ipari épületeinek, valamint a Miskolci Egyetem fűtésére és HMV előállítására használják. Szeged után Miskolc rendelkezik a legnagyobb kapacitású (55 MW) geotermikus távhőrendszerrel.[19], [20]

2.4.6. GYŐR

A győri kutak részben az Audi Hungária Zrt. ipari fogyasztónak, részben a városi távhőrendszernek szolgáltatnak hőt a maximálisan kitermelhető 52 MW-os teljesítménnyel, 101-102°C-os kitermelési hőmérséklettel. A távfűtőrendszerükkel összesen mintegy 24 266 lakást látnak el fűtési hővel. A GYŐR-SZOL Győri Közszolgáltató és Vagyongazdálkodó Zrt. egyben látja el a távhőtermelés és szolgáltatás, valamint a villamosenergia termelés feladatait. Győrben található Magyarország harmadik legnagyobb hőteljesítményű (52 MW) geotermikus távhőrendszere. [19], [20]

Az ország számos további településére indítottak geotermikus távhőellátó rendszer fejlesztésére szóló pályázatot, a teljes igénye nélkül felsorolva: Mátészalka, Kaba, Léta-
távértes, Kiskunhalas, Tótkomlós stb. [26].

3. SZEGED TÁVHŐELLÁTÓ RENDSZERE

Szeged távhőszolgáltatása 1972 óta tart, legdinamikusabb fejlődésének korszaka 1972-1989 között, a tömeges lakásépítés program idején volt. Ebben az időszakban 3 352-ről 27 359-re nőtt a távfűtött lakások száma, amely új fűtőművek, hőközpontok, elosztóhálózatok építését is eredményezte [27]. Ezen lakások zömével 4-10 emeletes panelházakhoz tartoznak. 1989 óta is csatlakoztak épületek a szolgáltatóhoz, mint például a 2022 áprilisában átadott Cédrus Liget lakópark a 600 [28] lakásával. Körülbelül 430 köz- vagy kereskedelmi épület [5] is a távhővel ellátott objektumok közé tartozik.

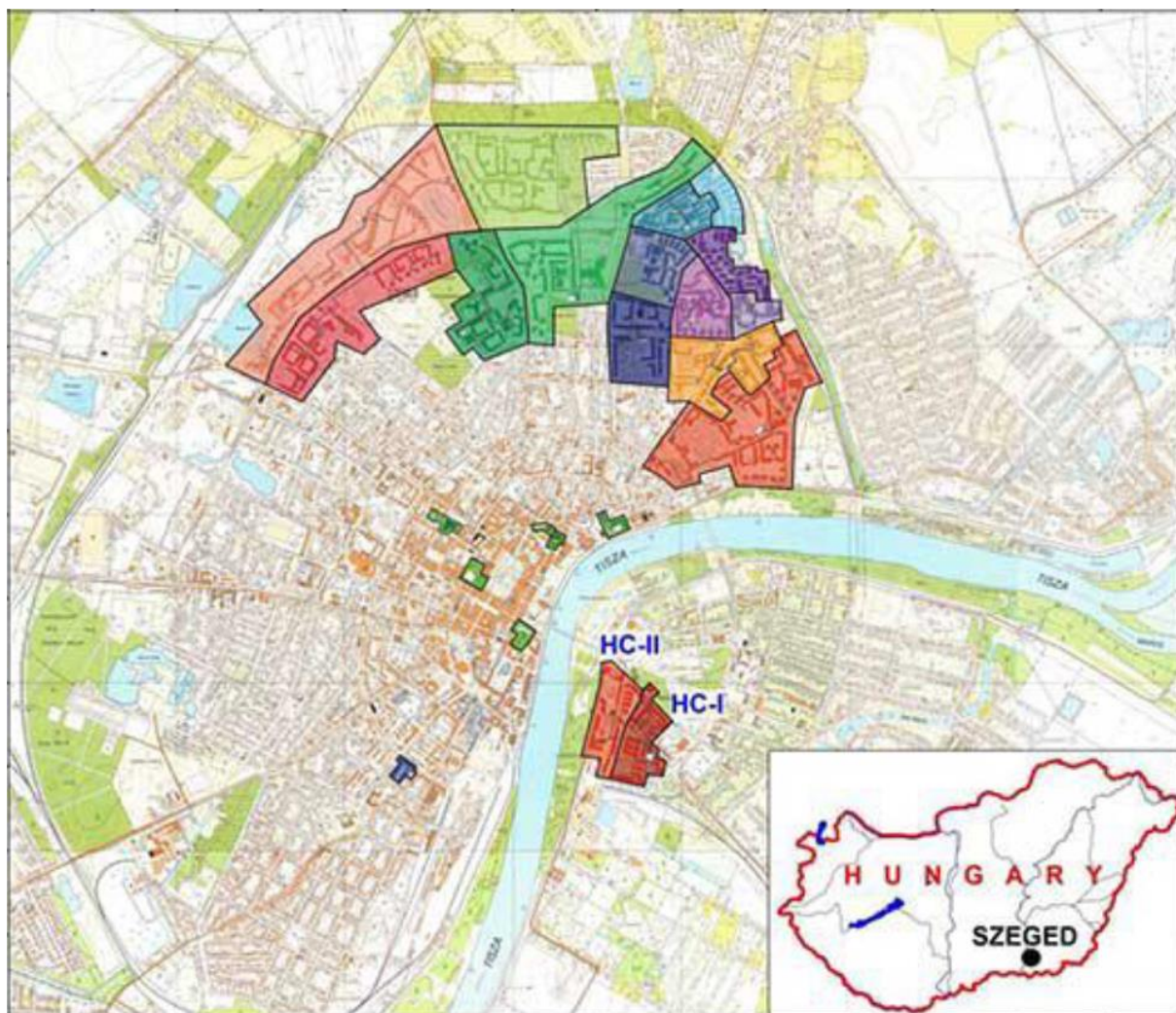
Jelenleg 23 fűtőmű [27] üzemel fűtés és használati melegvíz termelésére, melyet kezdetben elsősorban 1-12 MW-os gázkazánok segítségével oldottak meg. A robosztus rendszer éves hőtermelése körülbelül 843 700 GJ/év, melyet 239 hőközponton keresztül összesen 215 km hosszú – leggyakrabban beton védőcsatornába helyezett, föld alatti - csővezetékkel juttatják el a fogyasztókhoz [5].

Szegeden több mint hatvan éves múltja van a geotermikus hőellátásnak, azonban csak 2015 óta nevezhető fenntarthatónak, amikor üzembe helyezték az újszegedi és a belvárosi termálrendszereket, összesen kettő termelő és négy visszasajtoló kúttal. A termelő kutak 90°C-os vizet szolgáltatnak, a kinyerhető teljesítmény mindkét rendszer esetében 4,5 MW [29].

2018-ban SZETÁV Kft. a Geo Hőterm Kft. és a Nemzeti Fejlesztési Programiroda Kft. konzorciumában a távhőszolgáltató 9 db 1700-2000 m mély geotermikus kút fúrására nyert pályázatot, melyből az idei évben (2022) már 6 db üzemel, jövőre a maradék három termelését is elindítják [28]. Ennek eredményeképpen az összesen 28 000 lakást és 500 középületet ellátó távhőrendszer éves hőigényének 40-50%-át geotermikus hőforrásból lesz képes fedezni, amely arány az épületállomány teljes energetikai korszerűsítése esetén akár 90%-ot is elérheti [30].

A kilenc kitermelő kút kilenc fűtőműhöz csatlakozik, összesen 30 km hosszú előszigetelt távfűtési vezeték segítségével. Ott minden esetben hőcserélővel választják le a magas oldottanyagtartalmú termálvizet a távfűtési vízről, ezzel biztosítva a berendezések hosszú élettartamát és a hőtranszportot egyaránt.

Az említett 2018-as beruházás a legnagyobb geotermikus fejlesztésnek számít Közép-Európában, 2023-ra Reykjavík után a második legnagyobb geotermikus távhőrendszere lesz a kontinensen [26]. Évente 600 TJ-nak megfelelő mennyiségű földgáz kiváltását és 35 000 t szén-dioxid kibocsátás elkerülését teszi lehetővé [5].



6. ábra: Szeged távfűtőhálózatai [30]

A 6. ábrán látható Szeged távfűtési körzeteinek elhelyezkedése. Bal felülről kezdve a rózsaszínnel jelölt Rókus, alatta a pirossal jelölt Rókus 2, az amellet sötétzölddel jelölt Észak 1/A, a mellette szintén zölddel jelölt Észak 1/B, az afelett halványzölddel jelölt Makkosháza, a felül halványkékkel jelölt Szilléri, a balra mellette sötétebb kékkel jelölt Tarján, a közvetlen a Tisza vízszintes szakasza felett található piros színnel jelzett Felsőváros, a HC-II-vel jelölt Odessza, valamint a belvárosban két kisebb zöld területet tartalmazó Belváros nevű rendszerek kapnak geotermikus hőellátást a projekt keretén belül. Dolgozatomban az Észak 1/A és Észak 1/B fűtőművekhez tartozó távhőellátó alrendszereket vizsgálom.

4. A VIZSGÁLT ALRENDSZEREK ISMERTETÉSE

4.1. Közös jellemzők

A két vizsgált alrendszer elnevezése Észak 1/A és Észak 1/B, melyek a hozzájuk kapcsolódó távfűtőhálózattal együtt az 1970-80-as években épültek. Elsősorban lakóépületek fűtését és használati melegvízellátását (HMV) biztosítják, de a fogyasztók között található óvodák, iskolák és egyéb intézmények is. A rendszerekhez tartozó épületek legnagyobb arányban panelházak, melyek különféle energiamegtakarítást célzó felújításon estek át:

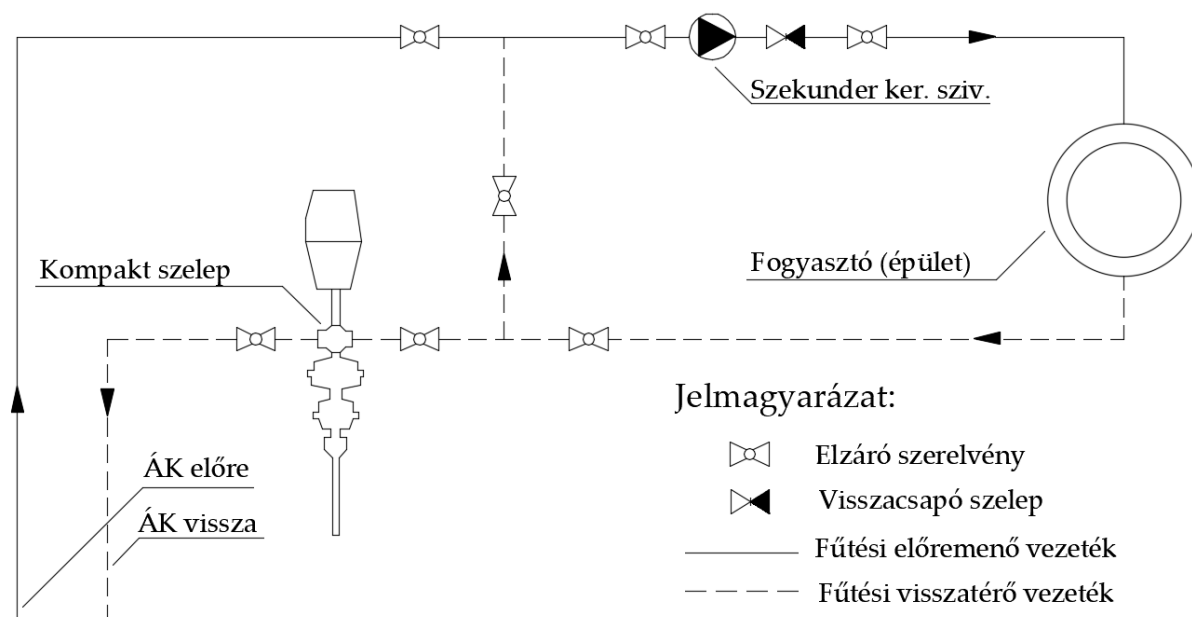
- teljes hőszigetelés,
- részleges hőszigetelés,
- ablakcsere,
- költségosztó beszerelése,
- termosztatikus radiátor szelep beépítése.

Ezen felújítások opciók meglétének hatása egyértelműen kimutatható az épületek fűtött alapterületére vonatkozó fajlagos hőfogyasztások vizsgálatával. Azon épületek fajlagos fogyasztása, melyek semmilyen vagy a felsoroltak közül maximum egy felújításon estek át $0,54 - 0,65 \text{ GJ/lm}^2/\text{év}$; amelyeknél 2-3 felújítás megvalósult, azok $0,32 - 0,54 \text{ GJ/lm}^2/\text{év}$; és amelyek esetében minden opció megvalósult nagyjából $0,2 - 0,32 \text{ GJ/lm}^2/\text{év}$ a jellemző érték.

A hőszigetelési munkálatok energiateljesítmény és gazdasági megtérülés szempontjából is akkor a legeredményesebbek, ha az épületek hőszigetelése mellett teljes épületgépészeti korszerűsítés is történik, azonban ez - tulajdonjogi problémák miatt - egy vizsgált épület esetében sem történt meg.

4.1.1. A HŐKÖZPONTOK

A hőközpontok (HKP) minden esetben direkt kialakításúak, a primer és a szekunder oldal nincs hidraulikailag szétválasztva egymástól. Az ez esetben primernek nevezett oldal vezetékeit szokás áramköri (ÁK) vezetékeknek is nevezni. Minden HKP saját fűtési menetrenddel rendelkezik. Az vizsgált rendszerekre általánosan jellemző hőközponti kapcsolás az 7. ábrán látható.



7. ábra: Általános hőközponti kapcsolás (saját szerkesztés)

A hőközpontban egyidejű mennyiségi és minőségi szabályozás történik. A szabályzási kör alapjele a HKP menetrendje alapján meghatározandó külső hőmérséklet függő szekunder előremenő hőmérséklet. A tömegáram az előremenő és a visszatérő hőmérsékletek különbsége alapján kerül szabályozásra. Az 7. ábrán látható kompakt szelep egyben látja el a nyomáskülönbség-szabályozási illetve a tömegáram-szabályozási funkciókat.

4.1.2. ELOSZTÓHÁLÓZATOK

A vizsgált rendszerek elosztóhálózataira a négycsöves kialakítás a jellemző, melyből kettő a fűtési előre- és visszatérő vezetékpáros, egy a HMV előremenő, egy pedig a HMV cirkulációs vezeték. Ennek előnye, hogy azokban az időszakokban (pl.: nyáron, átmeneti időszakban), amikor az áramköri előremenő vezeték alacsonyabb hőmérsékletű, mint a melegvíz vezeték, akkor elegendő csak a kisebb átmérőjű HMV vezetéken keringtetni a magas hőmérsékletű szükséges vízmennyiséget.

Alapvetően a beton védőcsatornába fektetett kialakítás az elterjedt, melynek előnye, hogy a vastag beton védőfal a tapasztalatok szerint a mechanikai behatásoktól rendkívül jól véd. Ugyanakkor már nem feltétlenül hasznos jelenség, hogy a hőszigetelések öregedése az előremenő és visszatérő vezetékek közötti intenzívebb hőátadást eredményez, mely különösen a téli időszakban megemelkedő HMV cirkulációs vezeték hőmérsékletet tekintve is megfigyelhető.

A rendszer működtetésének fontos eleme a kiépített informatikai hálózat is, mely a hőközpontok és a fűtőművek között biztosít két irányú kommunikációs lehetőséget.

4.2. A mélygeotermikus termálvíz csatlakozása

Az Észak 1/A fűtőműben a hő előállítását alapvetően 4 db párhuzamosan kapcsolt, gáztüzelésű nagyvízterű kazánnal tervezték. Az épületek folyamatos, energetikai szempontból fontos fejlesztése (homlokzati hőszigetelés, ablakcsere, termosztatikus szelep, költségosztó) a kazánok teljesítményigényének csökkenéséhez vezetett. A négyből egyet lecseréltek, mely immár az egész éves HMV termelés feladatát látja el. Az évek során a villamosenergia hálózatra áramot termelő gázmotor hulladékhőjét is bevonták az energiatermelők közé, a meglévőkkel szintén párhuzamosan kapcsolva. Az Észak 1/A fűtőmű 6000 kW az Észak 1/B fűtőmű 20 000 kW fűtési teljesítményre képes.

A 2018-as elnyert pályázat során fűrt egyik kitermelő kút mindkét fűtőműveknek képes megújuló energiát biztosítani. A lehető legnagyobb felhasznált geotermikus energiahányad megvalósítása érdekében az új energiaforrás a meglévő hőtermelőkhöz képest előnyt élvez, azokkal sorosan - és közvetlenül a fogyasztóktól érkező vezetékek gyűjtője után - történt bekapcsolásra. A geotermikus hőforrás kivételével minden hőtermelő közvetlenül (hőcserélő nélkül) van csatlakoztatva.

A vizsgált Észak 1/A fűtőmű közelében létesített geotermikus termelőkút tervezési állapotban 120 m³/h térfogatáramú, 90°C-os hőmérsékletű víz kitermelésére alkalmas, visszasajtolási problémák miatt azonban valójában jelenleg ennél valamivel kevesebb a ténylegesen felszínre hozott vízmennyiség, körülbelül 50 ... 90 m³/h. A visszasajtolás térfogatárama megegyezik a kitermelésével, hőmérséklete függ a lehűtés mértékétől.

A kitermelést a Geotermikus Szolgáltató Kft. végzi, melytől a SZETÁV Kft. sorban először az Észak 1/A, majd az Észak 1/B fűtőművek melletti gépházakban veheti át a hőt, mely 3-3 hőcserélőn keresztül történhet: 1 db HMV utófűtő, 1 db fűtési és 1 db HMV előfűtő hőcserélő található gépházanként. A hőcserélők hidraulikailag sorosan kapcsoltak, de a kiépített, egyutú motoros szeleppel ellátott bypass vezetékekkel bármely hőcserélőn átfolyó térfogatáram tetszőlegesen csökkenthető. Ez lehetőséget biztosít akár arra is, hogy a kettő közül az egyik fűtőművet teljesen kizárjuk a hőátvételből, és azt csak a másikon keresztül valósítsuk meg, ahogy ez a gyakorlatban elő is fordul.

5. A MODELL

5.1. A modellalkotás célja

Jelen dolgozat egy, a vizsgált rendszerek főbb tulajdonságait és működési paramétereit megtartva egy energetikai modell megalkotására törekszik. A modell létrehozásának célja a vizsgált rendszerek - elsősorban energetikai szemszögből való - leképezése, figyelembe véve a hőközponti kapcsolásokat, a szabályozási lehetőségeket, a geotermikus hőátvitelre szolgáló berendezések tulajdonságait, az elosztóhálózat, valamint a hőfogyasztók jellemzőit.

A modell kibővítésével, módosításával lehetőség nyílik különböző felújítási koncepciók hatásának vizsgálatára is. Ezek lehetnek a fogyasztókat, az elosztóhálózatot, vagy a fűtőművet érintő különböző felújítások, de lehetnek a meglévő berendezések változtatása nélküli, szabályozástechnikát górcső alá vevő javaslatok is.

5.2. A modell felépítése

A modellben alkalmazott egyszerűsített kapcsolat a 8. ábrán található. A modell felépítése a rendszer két oldal felőli megközelítése alapján történt. Az egyik kiindulási pont a hőfogyasztók (H-pontok) oldala, a másik a geotermikus hőtermelés oldala (K pont).

A felhasználási oldal vizsgálatával határozható meg az, hogy adott külső hőmérséklet mellett mennyi energiát (Q), mekkora teljesítményt ($\dot{Q}$), milyen hőmérsékletet (t) kell biztosítani ahhoz, hogy a lakások kifűthetők legyenek. Minden fogyasztó elégedettsége fontos, azonban egy ekkora méretű távhőellátó rendszer esetében célszerű valamilyen szempontok szerint csoportosítva venni figyelembe a fogyasztókat, ennek fényében – és mivel elsősorban épületszinten álltak rendelkezésre historikus hőfogyasztási adatok – a legkisebb vizsgált egység egy épület volt.

Minden épület esetében kiszámítható a hőteljesítmény igény (az 5.3-as pontban kerül bővebb kifejtésre), amely segítségével és a hálózat topológiáját vizsgálva visszafelé haladva meghatározható, hogy az adott hőközpont, ezután az adott elágazási pont stb. mekkora teljesítmény-igénnyel rendelkezik, megérkezve egészen a fűtőmű fűtési előremenő vezetékcsomkjáig.

Ezek alapján tehát az igény oldal teljesítményben kiszámításra került, azonban a geotermikus energia maximális kihasználhatósága szempontjából elengedhetetlen kérdés az is, hogy milyenek az áramkörök távozó és visszatérő hőmérsékletei, hiszen hőtermelői oldalon ezeket kell biztosítani, illetve ezek rendelkeznek rendkívüli korlátozó képességgel. Ezen paraméterek számítására szintén rendelkezésre álltak mérési adatok, melyek az egyes fűtőműből induló áramkörök külső hőmérséklet függő előre-menő hőmérséklet menetrendjét tartalmazzák (5.4-es pont). Egy egyszerű példával

élve a korlátozásra: ha a fűtőműbe a fogyasztók felől 60°C-os víz érkezik, akkor törvényszerűen ezt csak 60°C fölötti geotermikus vízzel lehet csak melegíteni.

Mivel a termálvíz visszasajtolásig történő kihűlésének mértéke elsődleges indikátora a megújuló részarány nagyságának az energiafelhasználásban, ezért szükséges a modell minden pontjában ismerni a hőmérséklet és tömegáram értékeket. Ez elérhető a rendszerre jellemző néhány kiindulási adat, valamint a hálózatot, kapcsolást jellemző csomópontok felvételével.

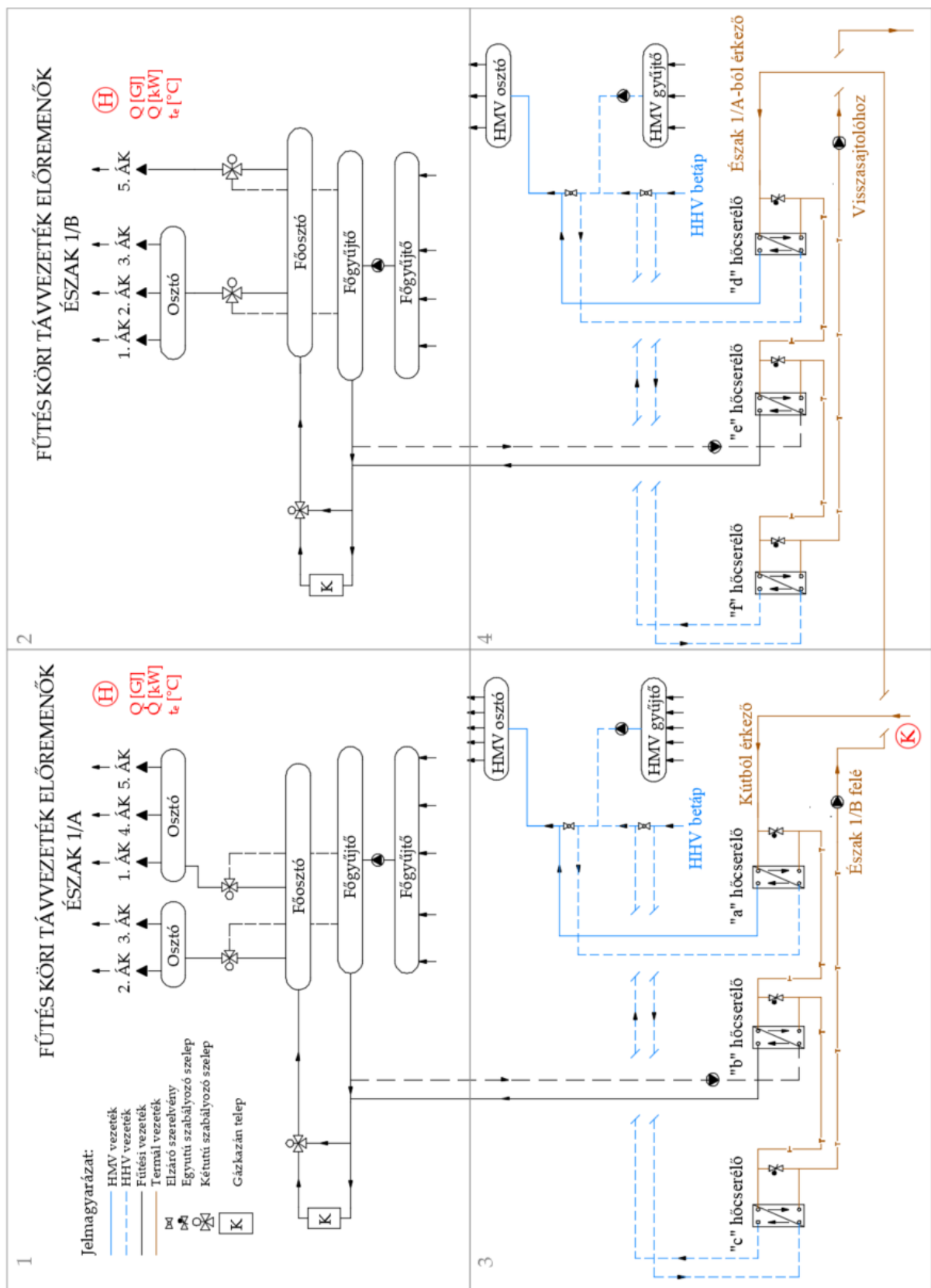
Az előremenő és visszatérő hőmérsékletek számítására tehát szintén rendelkezésre álltak mérési adatok, melyek az egyes fűtőműből induló áramkörök külső hőmérséklet függő előremenő hőmérséklet menetrendjét tartalmazzák (5.4-es pont).

Az adott áramkörre értelmezett hőtéljesítmény-igény, az előremenő hőmérséklet és a tömegáram ismeretében számíthatók az áramköri visszatérő hőmérsékletek is. Mivel az áramkörök mind az Észak 1/A, mind az Észak 1/B esetében közös gyűjtőre csatlakoznak, ezért egy keveredési pontot felvéve a modellben megkapjuk, hogy milyen hőmérsékletű vizet kell geotermikus hővel, vagy gázkazánnal (hideg időben a kettő soros üzemével) felfűteni.

Az Észak 1/A fűtőmű áramköri fűtőközeg keringtetéséről 4 db párhuzamosan kapcsolt szivattyú (továbbiakban: szivattyútelep) gondoskodik. Az 1., 4. és 5. áramköröknek közös, valamint a 2., 3. áramköröknek is közös osztójuk van. Mindkét osztó hőmérsékletét egy-egy, a gyűjtőre kapcsolt kétutú szelep szabályozza. Valamennyi áramköri visszatérő vezeték 1 db közös osztóra csatlakozik.

Mindkét rendszer esetében a HMV termelés a fűtőműben történik 2 db párhuzamosan kapcsolt hőcserélővel. Az osztó-gyűjtős rendszerben két szivattyú keringteti a melegvizet. A fűtéshez hasonlóan a geotermikus hőforrás a HMV előállításban is előnyt élvez a hőcserélővel (kazánokkal) szemben.

Az Észak 1/B fűtőmű áramköri fűtőközeg keringtetéséről szintén egy szivattyútelep gondoskodik. Ebben a kialakításban az 1., 2., és 3. áramkörök találhatók ugyanazon az osztón, míg az 5. áramkörben külön hőmérséklet szabályozás van. A leírtakat a 8. ábra mutatja be részletesen.



8. ábra: Észak 1/A és Észak 1/B hőközponti kapcsolások a modellben (saját szerkesztés)

5.3. Hőteljesítmény-igény számítás

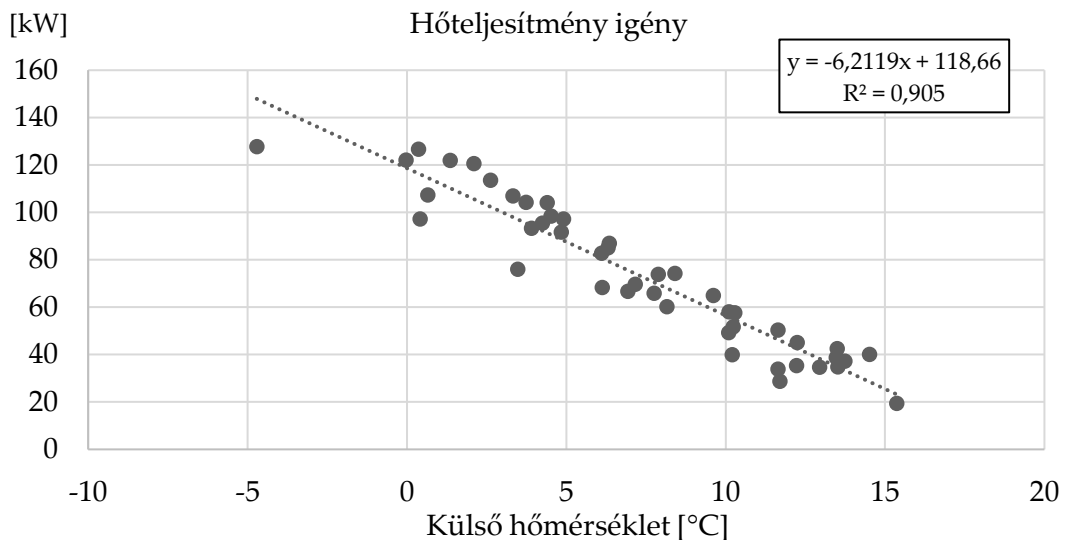
A hőteljesítmény-igény számítása épületszinten történt. A rendszer minden épületének hőfogyasztása közvetlenül mért adat és a 2015-16-os fűtési szezon óta rögzítésre került, havi bontásban. A hőfelhasználás mellett az ismert adatok között szerepel még az adott hónaphoz tartozó átlagos külső hőmérséklet és a fűtött napok száma is. A külső hőmérséklet függő, adott épületre általánosan vonatkozó hőteljesítmény-igény meghatározása az alábbiak szerint történik:

1. Az i -edik hónapban történt hőfelhasználás ($Q_{i,\text{hónap}}$), fűtött napok számának ($N_{i,\text{fűtött}}$) és az átlagos külső hőmérséklet ismeretében (t_k) hőteljesítmény igény meghatározása, az 1-es összefüggés segítségével:

$$\dot{Q}_i(t_k)[\text{kW}] = \frac{Q_{i,\text{hónap}}[\text{GJ}/\text{hónap}] \cdot 10^9 \left[\frac{\text{J}}{\text{GJ}} \right]}{N_{i,\text{fűtött}} \left[\frac{\text{nap}}{\text{hónap}} \right] \cdot 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{nap}} \right] \cdot 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right] \cdot 1000 \left[\frac{\text{W}}{\text{kW}} \right]} \quad (1.)$$

2. Az 1. lépés ismétlése minden fűtési szezon minden hónapjára.
3. Az előállt $\dot{Q}_i(t_k)$ pontok ábrázolása $\dot{Q}_i - t_k$ diagramon.
4. A pontok közelítése lineáris egyenlettel. Az így kapott egyenlet jellemzi a továbbiakban az adott épület hőteljesítmény igényének a külső hőmérséklet függését.

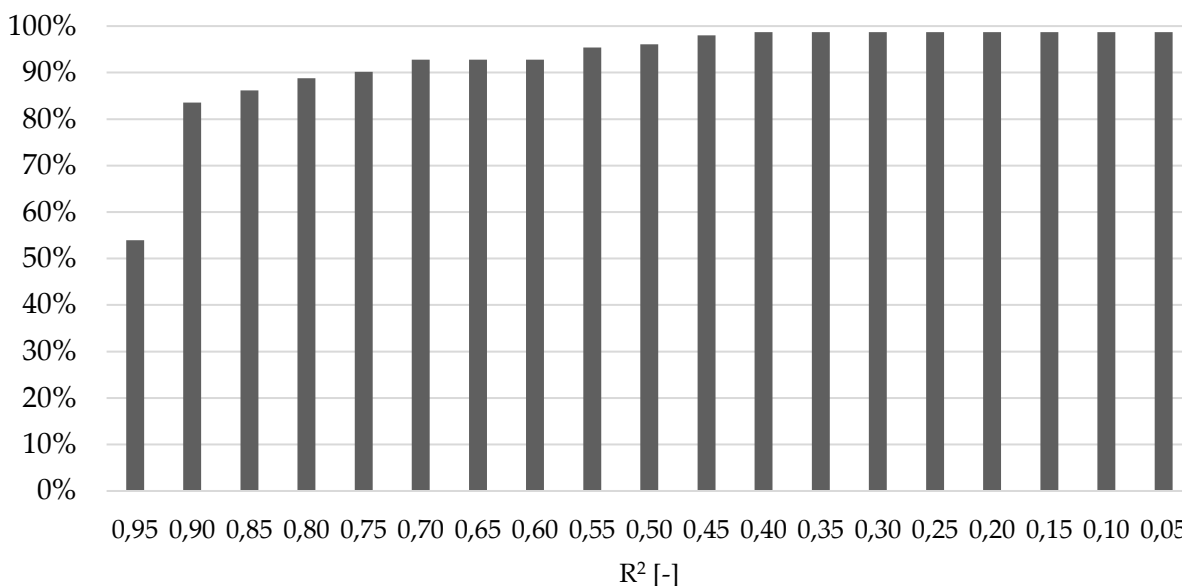
Példaként az 1. diagram szolgál.



1. diagram: Az Észak 1/A távfűtő rendszer egy épületének teljesítmény igény menetrendje

Minden épület esetében leolvasásra került az R^2 értéke is, mely az egyenes és a pontok közötti korreláció mértékét számszerűsíti. Általánosságban elmondható, hogy a két rendszerben vizsgált összesen 152 épület esetében a korreláció 54%-ban 95% feletti,

84%-ban 90% feletti, 89%-ban 80% feletti, 96%-ban 50% feletti érték, a korreláció pontos mértékét a 2. diagram szemlélteti.



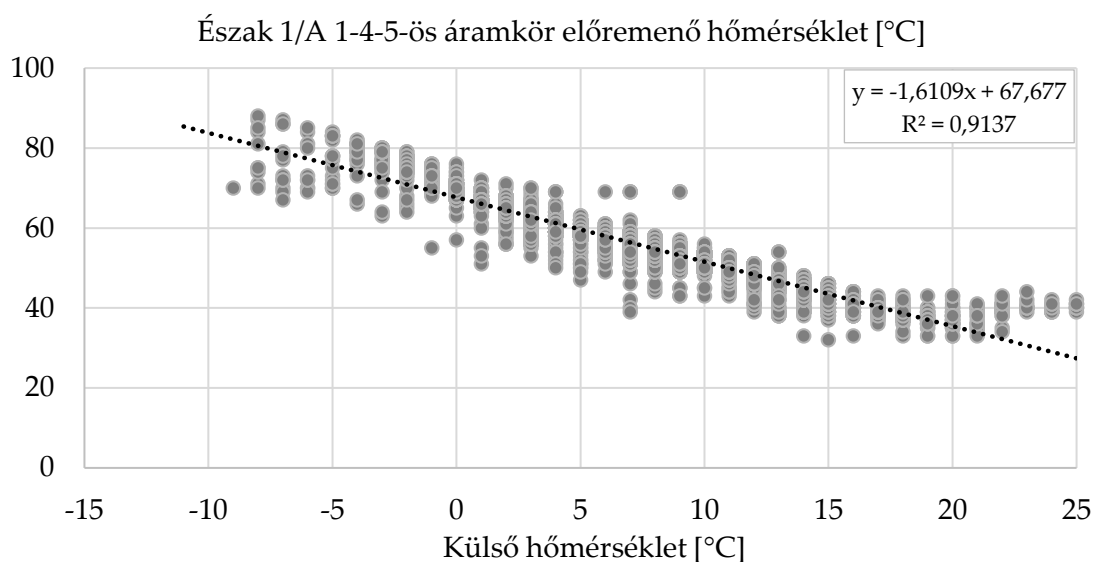
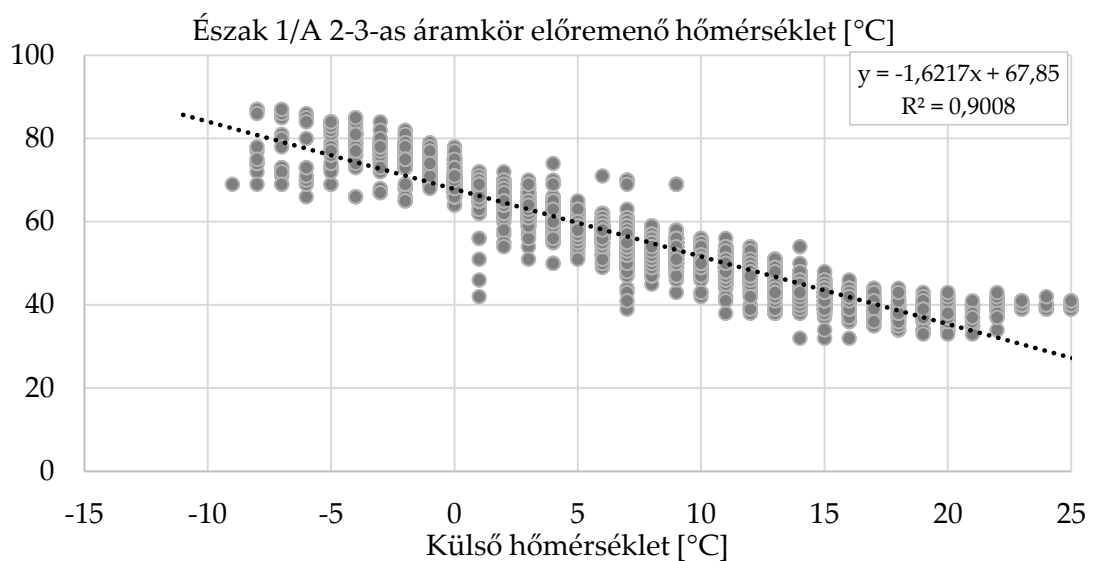
2. diagram: Adott korrelációs értéket meghaladó épületek százalékos aránya

5.4. Áramköri előremenő, visszatérő hőmérséklet menetrend és tömegáram meghatározása

Az áramköri előremenő és visszatérő hőmérséklet menetrendek meghatározására a 2020-2021-es fűtési szezon mérési adatai álltak rendelkezésre. Az áramlás irányát tekintve közvetlenül a beszabályozó szelepek utáni pontokban mérték az előremenő közeg hőmérsékletét. Fontos megjegyezni, hogy az Észak 1/A esetében a 2-es és 3-as, valamint az 1-es, 4-es és 5-ös áramkörök, az Észak 1/B esetében az 1-es, 2-es és 3-as áramkörök közös osztóval rendelkeznek (9. ábra), ennek megfelelően a kiindulási hőfokuk is azonos.

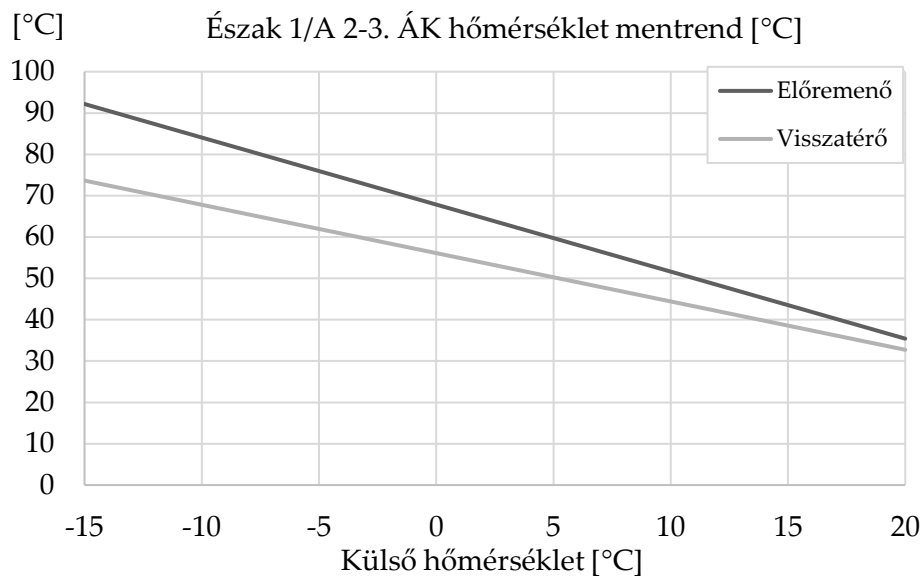
Az áramköri mérési adatok a külső hőmérséklet függvényében ábrázolva a 3. diagramban találhatók. A pontokra illesztett egyenesek egyenletei adták a fűtési körök előremenő hőmérsékleteit a modellben. Észrevehető, hogy az épületek nagy száma miatt a két egyenlet között elhanyagolható az eltérés, így a továbbiakban a 2-3-as áramkörökre vonatkozó adatok szolgálnak kiindulási alapként minden áramkörre. A menetrend startpontja minden esetben 15°C, végpontja -15 °C fok, azaz az egyenlet értelmezési tartománya a modellben:

$$-15 \text{ [}^{\circ}\text{C]} < t_{\text{külső}} < 15 \text{ [}^{\circ}\text{C]}. \quad (2.)$$



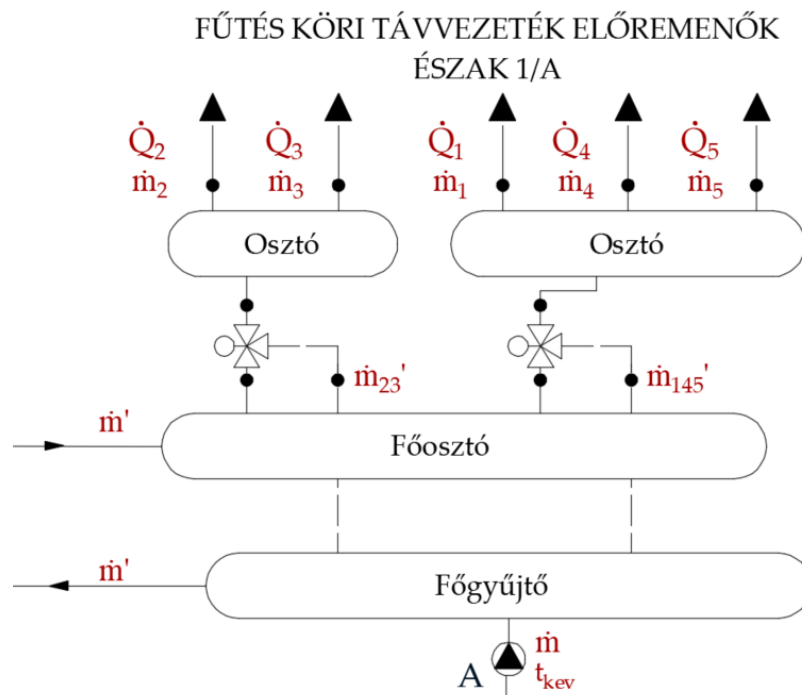
3. diagram: Észak 1/A 2-es, 3-as áramkörök (fent); Észak 1/A 1-es, 4-es, 5-ös áramkörök (lent) mért előremenő hőmérsékletei

Az áramkörökön egyidejű minőségi és mennyiségi szabályzás történik. A minőségi szabályzás meghatározására tehát a fentiek alapján létrejövő előremenő menetrendek kerültek felhasználásra. Az áramköri visszatérő hőmérsékleteket is a 2-3. diagramhoz hasonló módon állapítottam meg. A mérési pontokat tartalmazó diagram jellegre ezekkel egybevágh, így külön nem illusztráltam, de a 4. diagram látható az eredmény.



4. diagram: Észak 1/A 2-3. ÁK hőmérséklet mentrend

5.4.1. TÖMEGÁRAM OSZTÁS



9. ábra: Áramköri előremenő hőmérséklet beállítására szolgáló kapcsolás (saját szerkesztés)

Ebben a bekezdésben tekintsük a 9. ábrát. A fő fűtőköri keringtető szivattyú (A) tömegáramát ($\dot{m}_{FA}$) a modellnek valamilyen összefüggés szerint szét kell osztania az egyes áramkörök részére. Ez az áramköri hőteljesítmény igények arányában történik meg, az alábbi összefüggés szerint, a 2-es áramkört példának választva.

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}' \cdot \dot{Q}_2}{\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5} \quad (3.)$$

5.5. HMV termelés

A használati melegvíz fogyasztás becslése is mérési adatok alapján történt, melyre az elmúlt 4 évben összesen egy-egy, perces felbontású napi adatsor állt rendelkezésre minden évszaktól. Mivel a feladat elsősorban energiafogyasztás becslésére alkalmas modell létrehozásáról szól, ezért egyszerűsítésképpen a napi HMV fogyasztás ingadozását teljesen kiegyenlített módon egy napi átlagfogyasztás meghatározásával vettem figyelembe. Ez azt jelenti, hogy a számításban például az Észak 1/A fűtőműben található két HMV előállításért felelős hőcserélő összteljesítménye az egyéb paraméterek változásától függetlenül állandó. Az évszakokra jellemző fogyasztást fűtőművenként az 1. táblázat tartalmazza.

1. Táblázat: Napi HMV fogyasztás (hidegvíz mérésből)

Átlagos napi HMV fogyasztás [m³/nap]	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz	Éves átlag
Észak 1/A	139,3	130,0	100,1	130,2	124,9
Észak 1/B	168,6	157,3	121,1	157,5	151,1

5.6. Mellékszámítások

A modell számos alkalommal végez mértékegység átváltást, leggyakrabban térfogatáram (m³/h) és tömegáram (kg/s) között, melyhez elengedhetetlenül szükséges a sűrűség-hőmérséklet függvény ismerete, illetve hasonló módon sokszor előkerül a szintén hőmérsékletfüggő fajhő meghatározása is. Az anyagmegmaradás értelmében a modellben minden esetben tömegárammal számoltam, elkerülve ezzel a hőmérsékletkülönbségekből adódó térfogatáram változások miatti hibákat.

A számítás automatizáláshoz a szükséges fajhő és tömegáram átváltásokat a program önállóan hajtja végre az alábbi beépített polinomfüggvények segítségével:

Fajhő:

$$C_p = -1,525 \cdot 10^{-7} \cdot t_{\text{közeg}}^3 + 3,734 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{közeg}}^2 - 2,243 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{közeg}}^1 + 4,2173 \quad (4.)$$

$$[C_p] = \text{kJ/kg}$$

Sűrűség:

$$\rho = 1001.1 - 0.0867 \cdot t_{\text{közeg}}^1 - 0.0035 \cdot t_{\text{közeg}}^2 \quad (5.)$$

$$[\rho] = \text{kg/m}^3$$

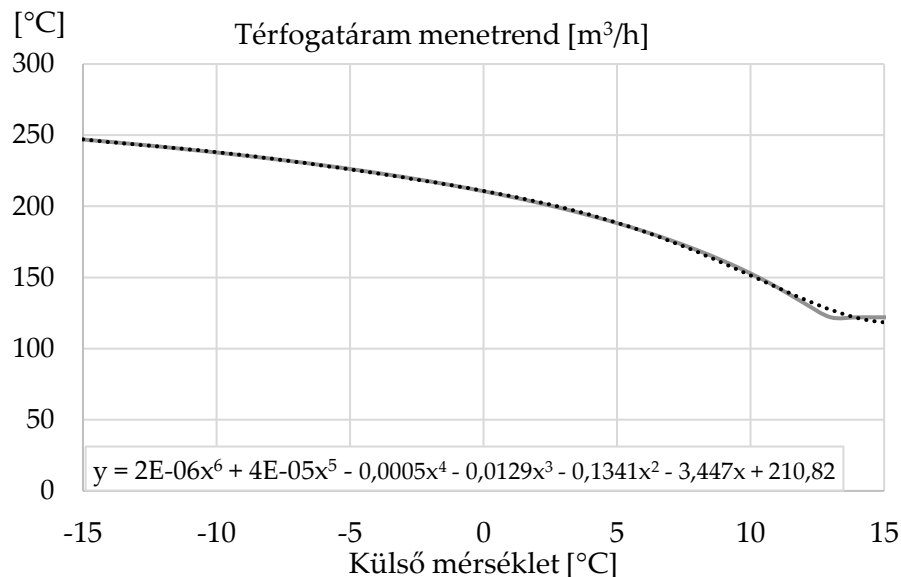
Mindkét függvény jól közelíti a keresett jellemzőket modellben előforduló közeghőmérsékletek (10-100 °C) között.

5.7. Szivattyú menetrendek

Az Észak 1/A fűtőmű áramköreinek keringtetéséről egy Grundfos NK 150-315/295 típusú szivattyú gondoskodik. Frekvenciaváltó segítségével 122-300 m³/h között képes a térfogatáramát modulálni, egyébként állandó végponti nyomástartásra van szabályozva. Az Észak 1/B fűtőműben 3 db SEVER N125/32-30/4 típusú szivattyú hivatott ugyanezen feladat ellátására. Működési paramétereik ismeretlenek, a számításokban frekvenciaváltóval rendelkező, a térfogatáramot az igényeknek megfelelően (120-400 m³/h) változtatni képes szivattyútelepnek feltételeztem.

A szivattyú tömegáram menetrendjét számításos úton határoztam meg, melyhez kiindulási adatként vettem a mért áramköri előremenő és visszatérő hőmérséklet menetrendeket, valamint az áramköri teljesítmény menetrendeket, melyeket az 5.3-as és az 5.4-es pontokban számoltam ki. A számításhoz felhasznált összefüggés:

$$\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot (t_{\text{AK,el,mért}} - t_{\text{A,v,mért}}). \quad (6.)$$



5. diagram: A modellben alkalmazott térfogatáram menetrend

További két szivattyút vettem fel a számítási modellben, melyek a két fűtőmű fűtési termál hőcserélő szekunder (fűtőművi) oldalán található (a 8. ábrán az SZ5, SZ6 jelűek). Ezek beépített fordulatszám szabályozóval rendelkeznek, azonban a 5.8-es alfejezetben kifejtett hőcserélők munkapontjainak felvételekor az esetszám lecsökkentése érdekében egyszerűsítésképpen a névleges üzemállapotuk szerint a modellben állandó (120 m³/h) a térfogatáramuk.

Ez a fixált érték a feladat megoldása során egy kisebb problémát okozott. Az 5. diagram térfogatáram menetrendje -15°C-tól haladva folyamatosan csökken, szép tendenciát mutat, egészen a körülbelül 13°C külső hőmérséklet értékig, ott ugyanis eléri a 122 m³/h határt, amelyet az előző bekezdésben fixált tömegáram határoz meg. Mivel erre a hibára csak a nagy esetszámú hőcserélő adatbázis létrehozása (5.8. alfejezet) után

jöttem rá, így annak módosítása helyett a keringtetési tömegáramot módosítottam inkább. A későbbiekben a számítások elemzésekor a legtöbb diagramon meredekségváltás figyelhető meg ezen az enyhe 13...15°C külső hőmérsékleti tartományon, amelyet a felvázolt torzítás okoz.

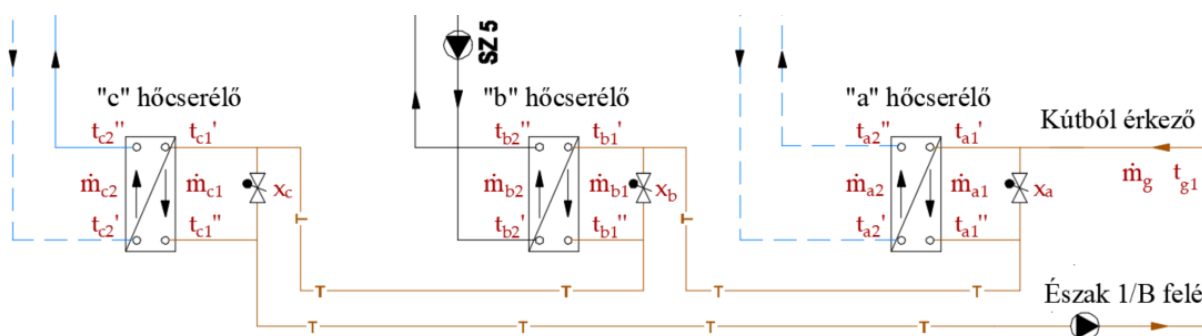
5.8. Hőcserélők

Az Észak 1/A és Észak 1/B fűtőmű melletti geotermikus hőátvételi gépházakba 3-3 Alfa Laval gyártmányú hőcserélő került beépítésre, melyek névleges adatai a 2. táblázatban láthatók:

2. táblázat: Hőcserélők adatai

Hőcserélő jele	Hely	Feladat	Valós névleges teljesítmény [kW]	Modell névleges teljesítmény [kW]
"a"	Észak 1/A	HMV készrefűtés	1130	1130
"b"	Észak 1/A	Fűtési kör melegítése	4400	4400
"c"	Észak 1/A	HMV előfűtés	1130	1130
"d"	Észak 1/B	HMV készrefűtés	1200	1130
"e"	Észak 1/B	Fűtési kör melegítése	4400	4400
"f"	Észak 1/B	HMV előfűtés	1200	1130

A termálvíz útját tekintve mindkét fűtőmű esetében hasonló módon követik egymást az azonos funkciójú hőcserélők. Kitermelés után először a HMV utófűtő (vagy készrefűtő), majd a fűtési, végül a HMV előfűtő hőcserélő hűti a geotermikus vizet, ezután kerül átszivattyúzásra az Észak 1/B fűtőműhöz, ahol a hőcserélők sorrendje az imént felsorolttal azonos.



10. ábra: Észak 1/A termálvíz hőátvétel hőcserélő kapcsolás (saját szerkesztés)

A hőcserélőkön átadott teljesítmény szabályzásáért a primer (termál) oldalon található együtű szabályozószelepek felelnek. Amennyiben növelni szeretnénk az adott berendezés teljesítményét, a by-pass ágba található x_i -vel jelölt szelep zár, rákényszerítve a közeget, hogy inkább az egyébként korábban nagyobb ellenállású hőcserélő felé vegye az irányt. A szelep nyitásával pedig pont az előzővel ellentétes módon az átadott hőteljesítmény csökkenthető.

A feladat megoldása során természetesen a hőcserélők modellezése is elkerülhetetlen volt. Ennek során a legtöbb esetben az említett berendezések hat üzemviteli paramétere közül négy állt rendelkezésre. Ezen paraméterek általános jelölésekkel:

- 1) $\dot{m}_1$ 1-es közeg tömegárama,
- 2) $\dot{m}_2$ 2-es közeg tömegárama,
- 3) t_1' 1-es közeg belépő hőmérséklete,
- 4) t_1'' 1-es közeg kilépő hőmérséklete,
- 5) t_2' 2-es közeg belépő hőmérséklete,
- 6) t_2'' 2-es közeg kilépő hőmérséklete.

A 3. táblázat szemlélteti a rendelkezésre álló és a számítandó paramétereket az egyes hőcserélők esetében.

3. táblázat: Hőcserélő paraméterek

Hőcserélő jele	Ismert paraméterek	Meghatározandó paraméterek
"a"	$t_{a1}', t_{a2}', t_{a2}'', \dot{m}_{a2}$	$t_{a1}'', \dot{m}_{a1}$
"b"	$t_{b1}', t_{b2}', \dot{m}_{b1}, \dot{m}_{b2}$	t_{b1}'', t_{b2}''
"c"	$t_{c1}', t_{c2}', \dot{m}_{c1}, \dot{m}_{c2}$	t_{c1}'', t_{c2}''
"d"	$t_{d1}', t_{d2}', \dot{m}_{d1}, \dot{m}_{d2}$	t_{d1}'', t_{d2}''
"e"	$t_{e1}', t_{e2}', \dot{m}_{e1}, \dot{m}_{e2}$	t_{e1}'', t_{e2}''
"f"	$t_{f1}', t_{f2}', \dot{m}_{f1}, \dot{m}_{f2}$	t_{f1}'', t_{f2}''

A hiányzó paraméterek kiszámításra rendelkezésre álló összefüggések:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot |t_1'' - t_1'| \quad (7.)$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot |t_2'' - t_2'| \quad (8.)$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 \quad (9.)$$

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta t_{\text{nagy}} - \Delta t_{\text{kicsi}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{nagy}}}{\Delta t_{\text{kicsi}}}\right)} = k \cdot A \cdot \Delta t_{\text{ln}} \quad (10.)$$

A megoldás során fennáll a probléma, hogy a Δt_{ln} miatt sajnos nem lehet a hőmérsékleti adatokat explicit módon kifejezni, ezért csak iteráció segítségével lehet közelíteni a megoldást. Továbbá nem elhanyagolandó az a tény sem, hogy a hőátbocsátási tényező értéke nagyban függ többek között a hőhordozó közegek tömegáramától: $k = f(\dot{m}_1, \dot{m}_2)$, így a névleges üzemállapotra meghatározott hőátbocsátási tényező más paraméterek esetén már nem használható fel állandóként. További akadály a számításban, hogy egy adott gyártó termékein belül is rengeteg különböző kialakítású hőcserélő létezik, ezek az eltérések pedig jelentősen befolyásolják a berendezés adott bemeneti paramétereinek megváltoztatásához tartozó kimeneti értékeket.

Ezen problémák kiküszöbölésére egy, az Alfa Laval Kft. alkalmazásában álló mérnökkel egyeztetve a legjobb megoldásnak az bizonyult, ha a hőcserélő modellhez szükséges üzemviteli értékei egy erre kitalált szoftver segítségével kerülnek meghatározásra. A szoftver azért alkalmas a feladatra, mivel az általuk legyártható hőcserélők mindegyike felvehető benne, így a vizsgált távfűtőhálózatok 3 különböző hőcserélője is. Működését tekintve először az adott berendezés fizikai tulajdonságait kell megadni (hőátadó lemezek száma, vastagsága, anyaga stb.), majd az áramló közegek jellemzőit (víz, hőmérsékleti és nyomás tartományok stb.) ezek után pedig következhet a tényleges számítás.

A számítás során a 3. táblázat szerinti ismert paraméterek betáplálása után a szoftver kiszámítja és kimeneti adatként megadja a keresett értékeket. Megbecsültem, hogy körülbelül milyen tartományon lehet üzem közben az adott, hőcserélőt jellemző hőmérséklet vagy tömegáram érték és ezek alapján felvettem a tipikusan előforduló üzemviteli tartományokat. A tartományokat és az adatok felbontásának sűrűségét részletesen a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A hőcserélők input paraméter tartományai

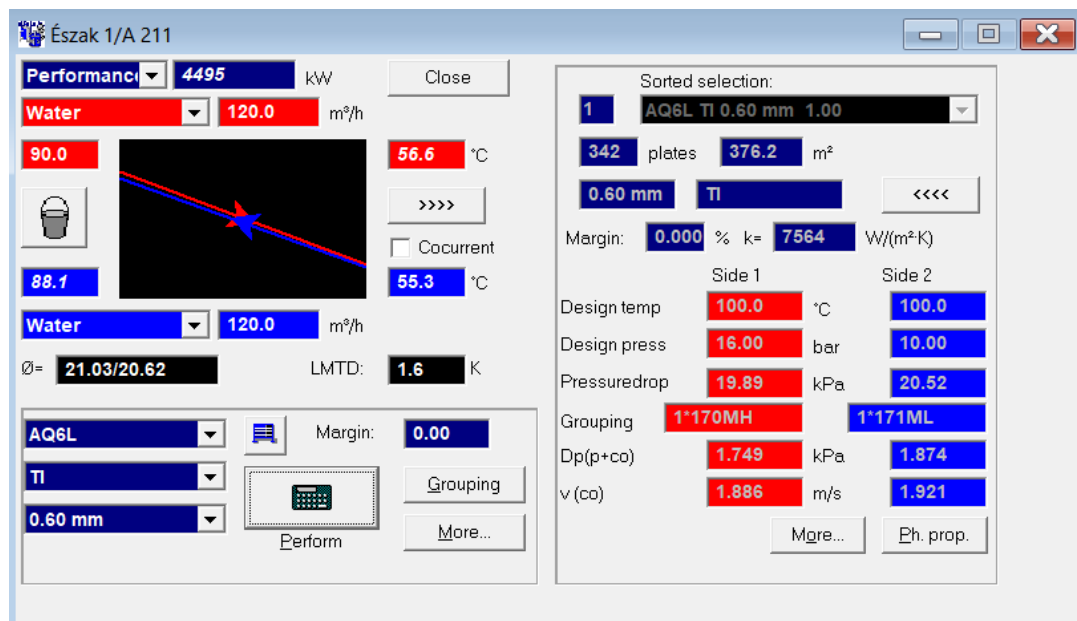
Hőcserélő jele	$\dot{V}_1$ [m ³ /h]	F.s. [m ³ /h]	t ₁ ' [°C]	F.s. [°C]	t ₁ '' [°C]	$\dot{V}_2$ [m ³ /h]	t ₂ ' [°C]	F.s. [°C]	t ₂ '' [°C]	Összes esetszám
"a"	0-26	1	90	-	Sz.é.	38	Sz.é.	-	50	26
"b"	0-120	10	50-90	5	Sz.é.	120	35-80	5	Sz.é.	1170
"c"	0-120	5	30-90	5	Sz.é.	6,3	10	-	Sz.é.	169
"d"	Sz.é.	-	50-90	5	Sz.é.	46	36-44	4	50	27
"e"	0-120	10	50-90	5	Sz.é.	120	35-80	5	Sz.é.	-
"f"	0-120	5	30-90	5	Sz.é.	6,3	10	-	Sz.é.	-

Jelmagyarázat a 4. táblázathoz:

- F.s.: felbontás sűrűsége,
- Sz.é.: számított érték,
- „-”: nem értelmezhető adat.

A tartományban található, köztes adatokat lineáris interpolációval határoztam meg, és ezeket az erre kijelölt munkalapokon adatbázisként tartalmazza a számításra létrehozott excel fájl. Ennek a módszernek az eredményeképpen a vizsgált hőcserélők üzemviteli paraméterei már meghatározhatók, bizonyos hibával terhelt módon. A hiba az adatok alapvetően nem-lineáris jellegéből és a lineáris interpoláció, mint egyszerűsített számítási mód alkalmazásából fakad. Ennek eredményeképpen a modell valósághűsége csökken, azonban a rendszer különböző üzemviteli állapotainak és különböző felújítási opcióinak összehasonlítására továbbra is alkalmas marad.

Mivel az adatok kinyerése meglehetősen hosszadalmas folyamat, ezért az esetszámok lecsökkentése érdekében, az „a” és „d”, a „b” és „e”, valamint a „c” és „f” hőcserélőket páronként ugyanolyannak feltételeztem. A 2. táblázat teljesítmény adatai alapján ez egy megfontolt egyszerűsítés.



11. ábra: Alfa Laval szoftver: hőcserélő üzemi paramétereinek meghatározására

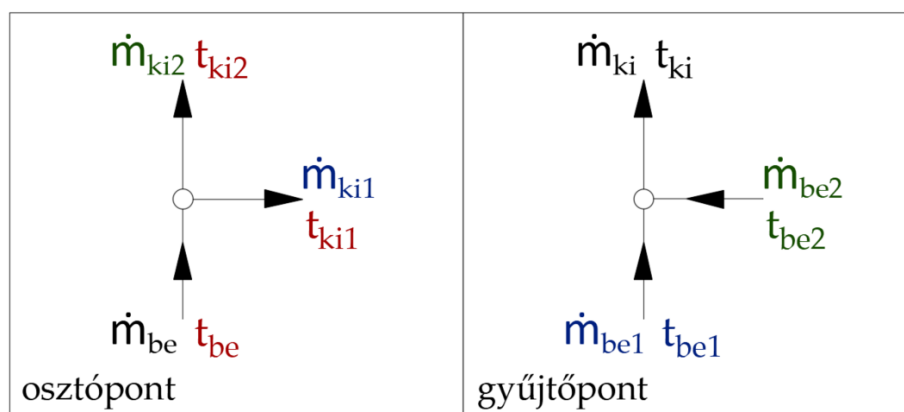
Egy példa a szoftver használatára: az Észak 1/A-ban található fűtési hőcserélő tömegáramainak és belépő hőmérsékleteinek ismeretében szeretnénk meghatározni a kilépő közegek hőmérsékleteit. Tehát ismert: $\dot{m}_1, \dot{m}_2, t_1', t_2'$; meghatározandó: t_1'', t_2'' . Az ismert adataink a 4. táblázat alapján egy adott tartományon belül vehetnek fel különböző értékeket a modell többi paramétere és a külső hőmérséklet függvényében, az esetünkben $50^\circ\text{C} \leq t_1' \leq 90^\circ\text{C}$; $0 \text{ m}^3/\text{h} \leq \dot{V}_1 \leq 120 \text{ m}^3/\text{h}$; $\dot{V}_2 = 120 \text{ m}^3/\text{h}$; $35^\circ\text{C} \leq t_2' \leq 80^\circ\text{C}$. Ezeket a tartományokat a felbontás sűrűségük szerint diszkrét értékekre felbontva, azokat egymással permutálva minden lehetséges variációt egyesével a szoftverbe betáplálva kinyerhetők voltak a keresett kilépő hőmérsékletek.

Az 11. ábra a bemutatott fűtési hőcserélőre szemléltet egy esetet. Piros színnel a primer, kék színnel a szekunder közeg adatait jelzi, dőlt betűvel a számított hőmérsékleteket. Az ábra jobb oldalán további számított adatok találhatóak, melyek közül a felület, a hőátbocsátási tényező, a nyomásesések, valamint a teljesítmény került még kigyűjtésre minden esetben.

5.9. A számítás menete

Ebben a fejezetben a számítás részletes bemutatása következik. Mivel a vizsgált rendszerben három különböző hidraulikai kör található, ezért a bemutatás módja is hasonlóan, ezeket különválasztva történik, kezdve a fűtési körökkel, majd a HMV előállításával folytatva és végül a geotermikus körrel fejezve be.

A rendszer topológiáját és energetikai tulajdonságait számítani legegyszerűbb módon csomópontokkal lehet, melyek minden kör esetében jelen vannak. Léteznek gyűjtő- és osztópontok, attól függően, hogy hány vezeték érkezik, illetve távozik belőlük. A 12. ábra a két legegyszerűbb ilyen csomópontot mutatja be.



12. ábra: Két alapvető csomópont jelöléseikkel (saját szerkesztés)

A 12. ábra osztópontjaira vonatkozó összefüggések a következők:

$$\dot{m}_{be} = \dot{m}_{ki1} + \dot{m}_{ki2} \quad (11.)$$

$$t_{be} = t_{ki1} = t_{ki2} \quad (12.)$$

A gyűjtőpontokra vonatkozó összefüggések az alábbiak.

$$\dot{m}_{ki} = \dot{m}_{be1} + \dot{m}_{be2} \quad (13.)$$

$$t_{ki} = \frac{t_{be2} \cdot \dot{m}_{be2} + t_{be1} \cdot \dot{m}_{be1}}{\dot{m}_{ki}} \quad (14.)$$

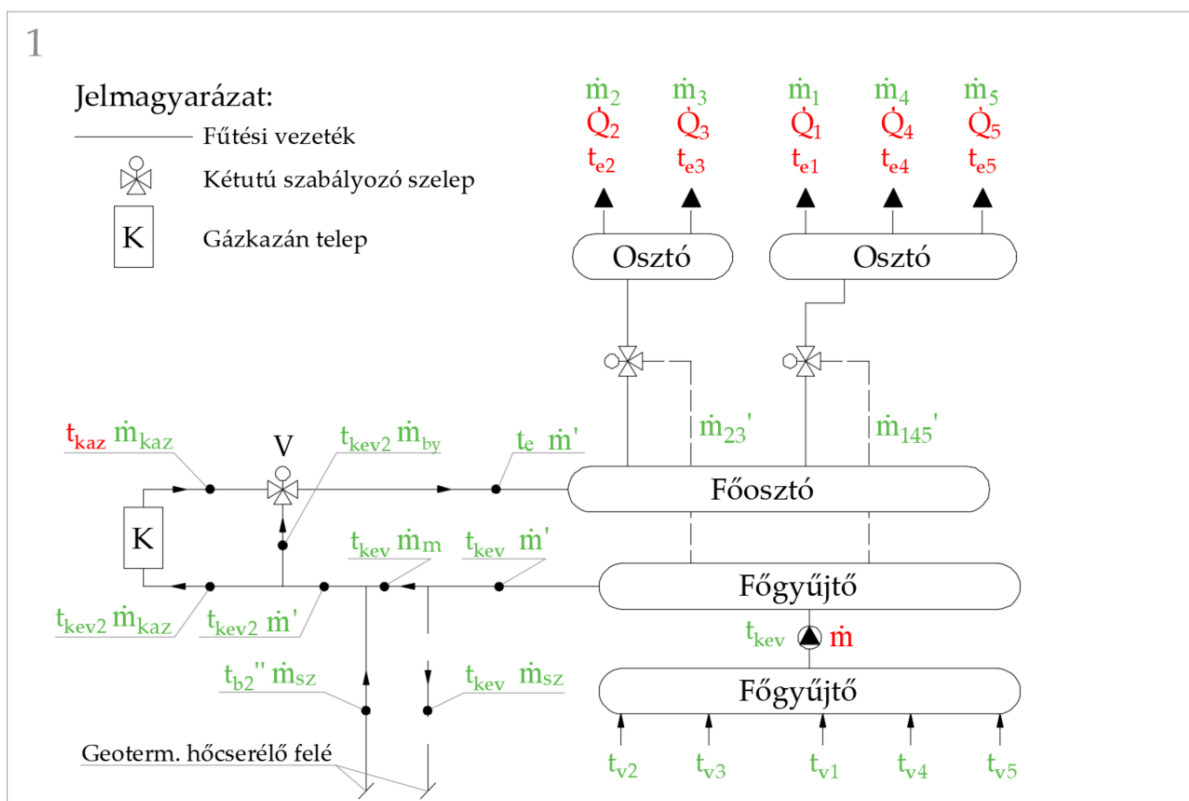
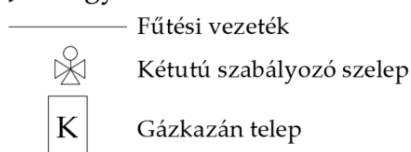
A bonyolultabb csomópontok közé tartoznak az áramköri gyűjtők és osztók, amelyek háromnál több vezeték kereszteződéséből állnak, az ezekkel kapcsolatos számítási összefüggések a későbbiekben kerülnek bemutatásra.

5.9.1. FŰTÉSI KÖRÖK

A fűtési körök közé tartoznak az épületeket ellátó áramkörök, melyekből az Észak 1/A öttel, az Észak 1/B fűtőmű négygel rendelkezik, továbbá az ezeket ellátó kazánház vezetékek és különböző berendezések (szivattyútelep, hőcserélő(k), kazánok, keverőszelepek stb.). A modellben a két vizsgált fűtőmű hasonló felépítésű, ezért az Észak 1/A fűtőművet mutatom be részletesen. A megértést a 13. ábra segíti.

1

Jelmagyarázat:



13. ábra: Észak 1/A fűtési rendszer számításához szükséges pontok, jelölésekkel (saját szerkesztés)

A számítás során a korábbi fejezetekben bemutatott, mérési adatokból származó bemeneti adatokat az ábrákon pirossal, a számított adatokat zöld színnel jeleztem. Fontos még egyszer megemlíteni, hogy a teljesítmény, tömegáram, hőmérséklet menetrendek, külső környezeti hőmérséklet függő adatok, melyet a magyarázó ábrákon külön nem jelöltem. Ez egyben azt is jelenti, hogy a kalkuláció 0. lépése minden esetben a külső hőmérséklet megadása, mely után az alábbi lépések következnek.

1. Az épületek hőteljesítmény igényeinek meghatározása a 5.3. bekezdés alapján a külső hőmérséklet függvényében, majd ezek összegzése áramköri szinten, azaz a 13. ábrán $\dot{Q}_1, \dot{Q}_2, \dots, \dot{Q}_5$ meghatározása.
2. Az áramköri előremenő hőmérsékletek ($t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{e5}$) meghatározása a külső hőmérséklet függvényében. Mivel közös osztók vannak a kapcsolásban, ezért $t_{e1} = t_{e4} = t_{e5}$ és $t_{e2} = t_{e3}$.
3. Az áramköri fő keringtető szivattyú (szivattyútelep) tömegáramának ($\dot{m}$) meghatározása a külső hőmérséklet függvényében.
4. Az áramköri tömegáramok ($\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dots, \dot{m}_5$) számítása, mely hosszabb magyarázatot igényel. Az előző pontban meghatározott fő tömegáram a második főgyűjtőn három részre oszlik: $\dot{m} = \dot{m}' + \dot{m}'_{23} + \dot{m}'_{145}$, melyek közül a „23” és az „145” index-szel jelöltek az áramköri hőmérsékletek menetrend szerinti beállításáért felelősek, mennyiségük a t_e függvényében változik és $\dot{m}'$ -hez ké-

pest 0-10% között változik az értékük. Tehát az áramköri tömegáramok számítása először az $\dot{m}'$ teljesítményalapú szétosztásával történik (az 5.4.1-es pont alapján), majd ehhez még hozzáadódik a megfelelő bekeverési tömegáram teljesítménnyel arányos része.

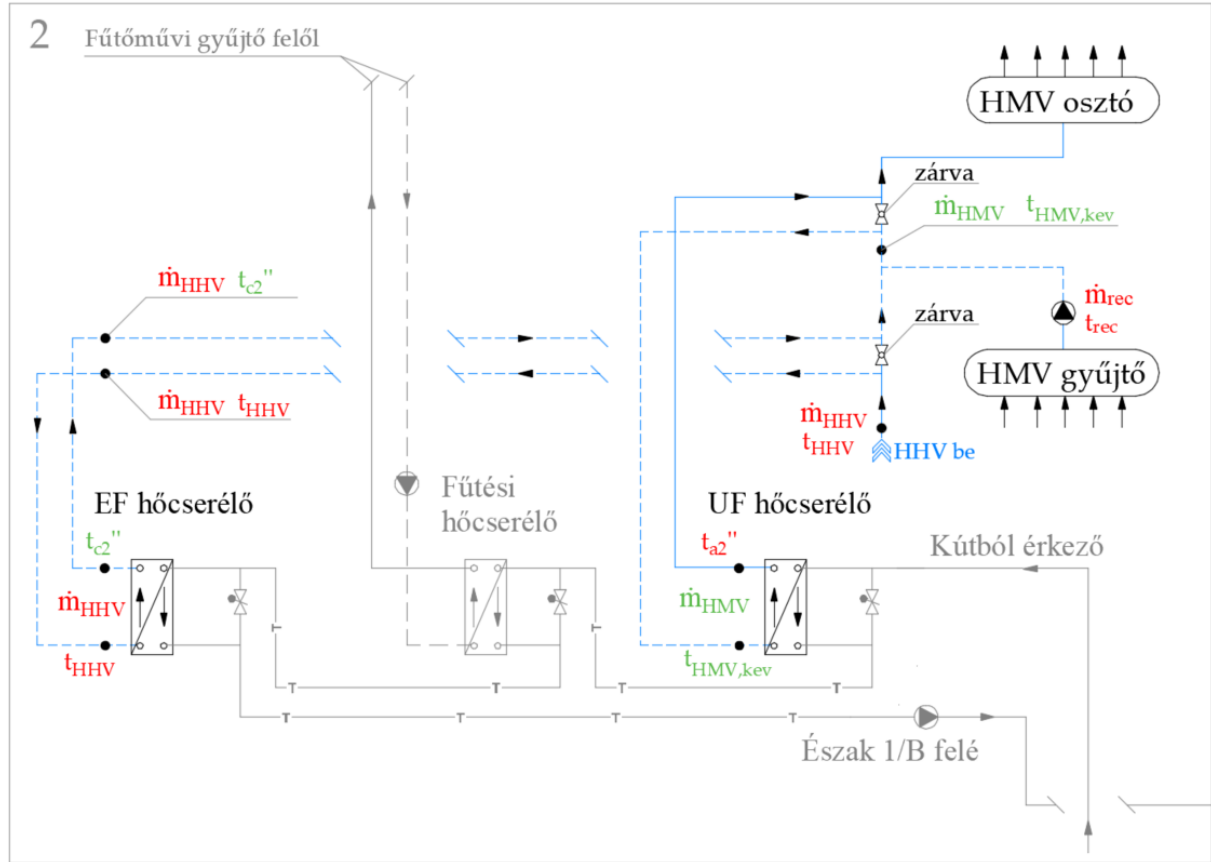
5. A visszatérő hőmérsékletek ($t_{v1}, t_{v2}, \dots, t_{v5}$) számítása áramkörönként a $\dot{Q} = c \cdot \dot{m}_i \cdot (t_{ei} - t_{vi})$ összefüggés átrendezett alakjával.
6. Az első főgyűjtőben összekeveredő víz hőmérsékletének (t_{kev}) számítása áramköri visszatérő hőmérsékletekből, tömegáram súlyozással. A geotermikus hőcserélő fűtőművi oldalán (szekunder oldalán) a fűtővíz $t_{kev} = t'_{b2}$ hőmérsékleten jelenik meg.
7. A hőcserélő kimeneti paramétereinek kiolvasása a létrehozott adatbázisból, köztük a szekunder oldali visszatérő hőmérséklet (t''_{b2}).
8. Keverési pont felvételével t_{kev2} számítása, gyűjtőponti elven.
9. Itt történik meg először az áramköri előremenő hőmérsékletek beállítása a következők szerint. Először t_{kev2} összehasonlításra kerül a 3. pontban meghatározott adatok közül a 2-es áramkör előremenő hőmérsékletével (t_{e2} -vel), és amennyiben $t_{kev2} < t_{e2}$, akkor utófűtés szükséges, tehát a kazánházi tömegáramot ($\dot{m}_{kaz}$) növelni kell. Az elérendő cél: pontosan akkora tömegáramú vizet engedni a gázkazánok felé, amit a by-pass ágra megmaradó t_{kev2} hőmérsékletű vízzel összekeverve pont t_{e2} -t kapjuk. Ez egy egyszerű egyenlettel megoldható, melyekben kezdetben ismeretlenek: $\dot{m}_{kaz}$, $\dot{m}_{by}$. Ennek a pontnak az eredményeként a V jelű szelep utáni pontban már $t_e = t_{e2}$ hőmérsékletű a fűtővíz.

Tehát a modellben a kazánok teljesítményére tömegáram szabályzást vettem fel, és fontos megjegyezni, hogy a felőlük érkező melegvíz minden esetben ($t_{kaz} =$) 90°C-os.

10. A t_e hőmérsékletű vizet a V2 és V3 jelű szelepek bekeveréssel tudják adott áramkörre speciálisan hűteni. Mivel fűtés már nem lehetséges, ezért arra van szükség, hogy a t_{e2} minden külső hőmérséklet esetében nagyobb vagy egyenlő legyen a többi áramköri hőmérsékletnél, ami a 2. pont egyenlőségei miatt fenn is áll a jelenleg bemutatott modellben.

A 10. pontban visszacsatolás történik egy korábbi lépéshez, mivel az itt kiszámolt $\dot{m}'_{23}$ és $\dot{m}'_{145}$ tömegáramokat már az 4. pontban felhasználtam az $\dot{m}'$ számítására, azaz egy iterációs kör jött létre, amelyet Excelben Solverrel lehet megoldani.

5.9.2. HMV KÖRÖK



14. ábra: Észak 1/A HMV kör paramétereinek számítása (saját szerkesztés)

A HMV előállítási kör paramétereinek számítása az alábbi lépésekből áll. A megértést a 14. ábra segíti.

1. A bemeneti adatok deklarálása, melyek állandó értékek:

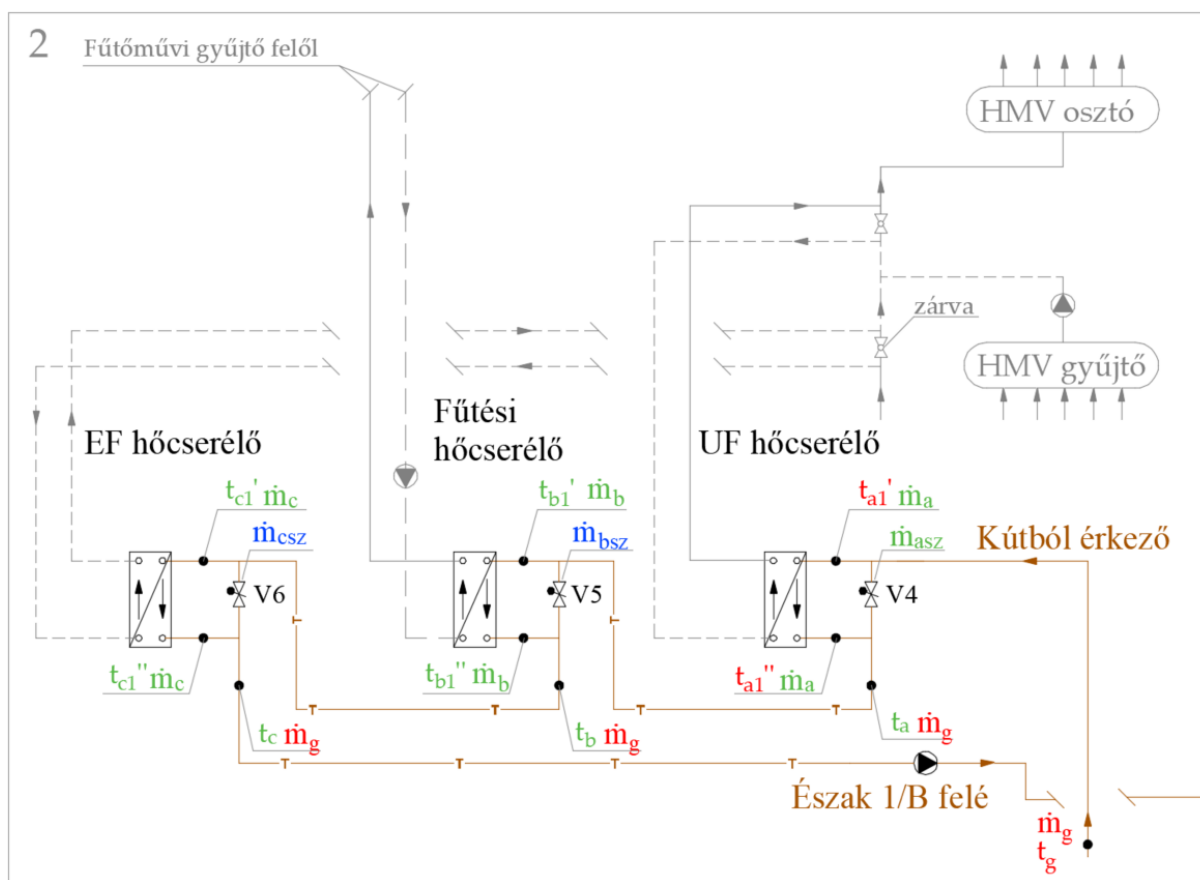
$$\dot{m}_{HHV} = 6,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}, t_{HHV} = 10^\circ\text{C}, \dot{m}_{rec,A} = 31,7 \text{ m}^3/\text{h}, \dot{m}_{rec,B} = 39,7 \text{ m}^3/\text{h}, t_{rec} = 42^\circ\text{C}.$$

2. Az előfűtő (EF) hőcserélő üzemi paramétereinek kiolvasása a létrehozott adatbázisból, köztük a szekunder visszatérő hőmérséklet : t_{c2}'' ; ($t_{c2}' = t_{HHV}$).
3. Az előmelegített használati víz és a cirkuláció vizének keveredési pontja, a keveredés során létrejövő hőmérséklet ($t_{HMV,kev}$), tömegáram ($\dot{m}_{HMV}$) meghatározása gyűjtő csomóponti egyenletekkel.
4. Az utófűtő (UF) hőcserélő üzemi paramétereinek kiolvasása a létrehozott adatbázisból. Korábban a hőcserélők esetében a meghatározandó adatok a primer és szekunder oldali kilépő hőmérsékletek voltak, az utófűtő hőcserélő esetében azonban ismert, hogy 50°C -os HMV-t szeretnénk előállítani, így meghatározandó adattá a primer oldali tömegáram és kilépő hőmérséklet válik.

A 4. lépéssel gyakorlatilag befejeződik a HMV előállítással kapcsolatos számítás, annak minden pontjában ismertté válnak a tömegáram és hőmérséklet adatok, melyek további számítások (pl. teljesítmény, energiafelhasználás) alapját képezik.

5.9.3. GEOTERMIKUS KÖR

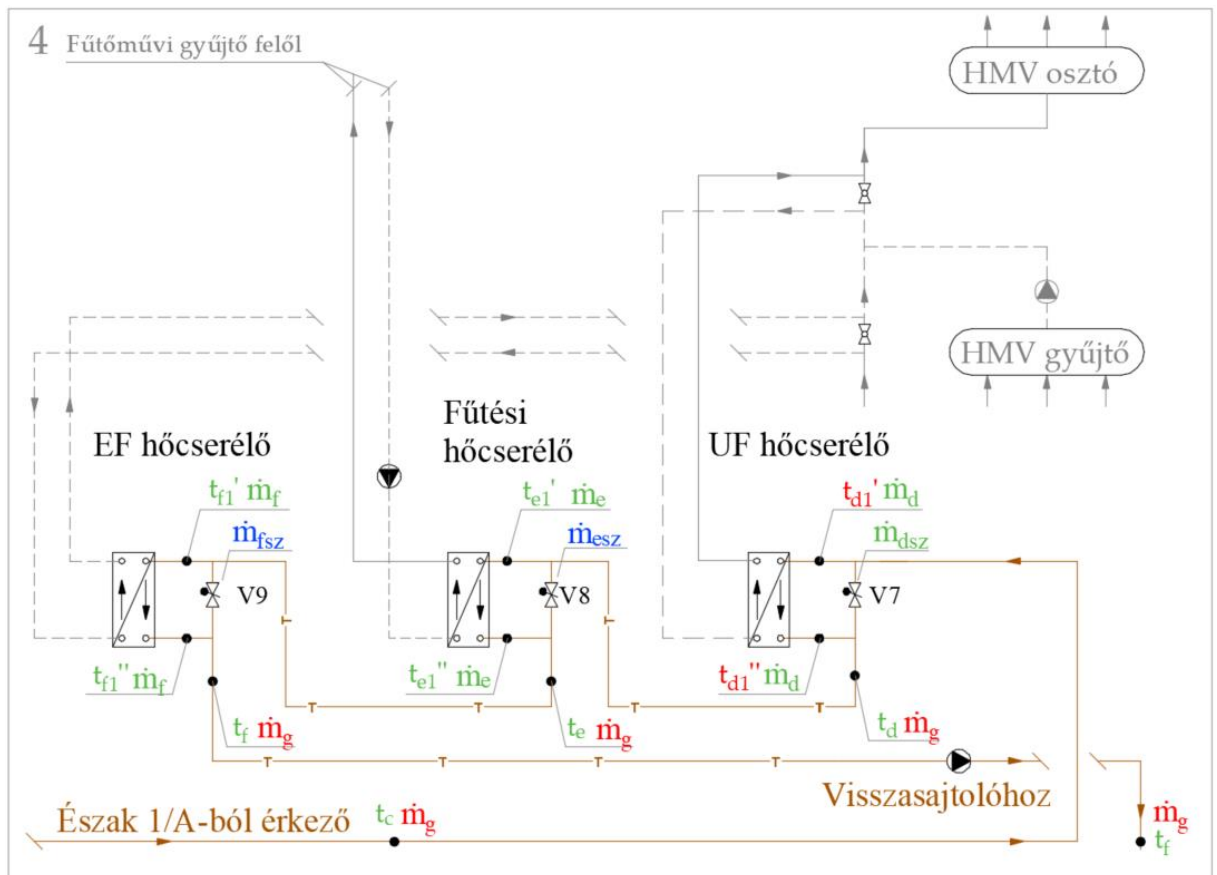
A geotermikus rendszert tekintve a víz útját követve is lehet egy hidraulikai kört definiálni, mely a kitermelő kúttal kezdődik, fűtőművek hőcserélőivel folytatódik, majd a visszasajtoló kutak után újra a felszín alatti rétegekbe kerülve záródik. A termálvíz hőmérséklete a talajszint fölé kerülése után kizárólag csökken. A kitermelés hőmérséklete a modellben 90 °C, térfogatárama 90 m³/h.



15. ábra: Észak 1/A geotermikus kör paramétereinek számítása (saját szerkesztés)

A korábbiakhoz hasonlóan a termál rendszer esetében is meghatározásra kerültek a hőmérséklet és tömegáram értékek, az alábbi pontok szerint. A megértést a 15. ábra segíti. Az eddigi jelölést használva a pirossal jelölt adatok vagy fix vagy a külső hőmérséklettől menetrendszerűen függő adatok, a zölddel jelölteket számítja a program, a 15. ábrán bevezetett kékekkel jelöltek pedig a felhasználó által bizonyos korlátok között szabadon megadható bemeneti értékek, deklarálásukkal rögtön megkapjuk a hozzájuk tartozó hőcserélőn átfolyó tömegáramot, hiszen a kettő összege a kitermelés tömegárama ($\dot{m}_g = \dot{m}_b + \dot{m}_{bsz} = \dot{m}_c + \dot{m}_{csz}$).

1. A kitermeléshez tartozó tömegáram és hőmérséklet ($t_g, \dot{m}_g$) értékek meghatározása. Minden elvégzett számítás esetére igaz: $t_g = 90^\circ\text{C}$ és $\dot{m}_g = 90\text{m}^3/\text{h}$.
2. Az $\dot{m}_g, \dot{m}_g$ tömegáramok megadása a felhasználó által. Az
3. Az utófűtő hőcserélő primer (termál) oldal tömegáramának ($\dot{m}_a$) meghatározása a hőcserélő többi paraméterének ismeretében, adatbázisból való kiolvasással. A valóságban a hőcserélőkön átfolyó tömegáramot a V4, V5, V6 jelű szelepekkel lehet szabályozni.
4. A hőcserélőből kilépő és a bypass ág keveredési pontja utáni hőmérséklet ($t_a = t'_{b1}$) számítása tömegárammal súlyozott gyűjtőponti egyenlettel.
5. A fűtési hőcserélő primer (termál) oldali kilépő hőmérséklet (t''_{b1}) meghatározása adatbázisból kiolvasva.
6. $t_b (= t'_{c1})$ keveredési hőmérséklet számítása a 4. ponthoz hasonlóan.
7. Az előző két pont alapján először t'_{c1} majd t_c számítása.
8. Az Észak 1/B fűtőműbe továbbított termálvíz hőmérséklet csökkenésének számítása. Mivel a két fűtőműhöz tartozó hőcserélők hasonlóak, a kapcsolásuk is megegyezik, ezért 3-7. pontok alapján hasonló módon jártam el a B fűtőmű esetében is.



16. ábra: Észak 1/B geotermikus kör paramétereinek számítása (saját szerkesztés)

5.10. Alkalmazott egyszerűsítések

5.10.1. HŐVESZTESÉGEK ELHANYAGOLÁSA

A modell felépítése során nem kerültek figyelembevételre a hálózat elosztási hőveszteségei, melynek oka, hogy a hálózat felújítása, hőszigetelés minőségének javítása nem szerepel a felújítási javaslatok között, így minden vizsgált esetben nagyjából hasonló mértékű a hőveszteség. További okot ad az elhanyagolásra az is, hogy az áramköri előremenő hőmérséklet menetredek tényleges mérési adatsoron alapulnak, amely így direkt módon meghatározza a szükséges értékeket.

5.10.2. HMV ELŐÁLLÍTÁS

A valós rendszerben a hidegvíz először a termálvíz hőjével, majd ha szükséges, gáztüzelésű kazán utófűtéssel melegszik fel a kívánt hőmérséklete. Mivel a gáztüzelés oldal rendelkezik megfelelő mennyiségű teljesítménnyel, ezért a valóságban előfordulhat, hogy valamilyen okból kifolyólag a geotermikus közeg nem kerül kihűtésre az adott melegvíz hőcserélőn. Ezt a lehetőséget a modellben kizártam, azaz a HMV hőcserélőkön minden esetben van hőátadás. Ezt részben az a megfontolás indokolja, hogy a HMV előfűtés rendelkezik a legalacsonyabb szekunder oldali hőmérséklettel (10°C), amely akkor is képes a termálvízből hőt kinyerni, amikor a fűtési körök már nem.

Továbbá a szolgáltatott vízminőségre való fogyasztói panasz esetén alkalmaznak egy 60°C -os fertőtlenítési eljárást, amely viszonylag ritkán fordul elő, emiatt egyszerűsítésképpen modellben nem vettem figyelembe.

5.10.3. AZONOS ÁRAMKÖRI MENETRENDEK ALKALMAZÁSA

A modellben az Észak 1/B fűtőmű áramköreinek előremenő hőmérsékletei megegyeznek az Észak 1/A fűtőműben alkalmazottakkal, ami a mérési adatok hiánya miatt állt elő. Ez a valóságtól valamekkora mértékű eltérést eredményez, melyet nehéz számszerűsíteni. Kiküszöbölésére további adatok begyűjtése és elemzése megoldásként szolgálna.

5.10.4. HIDRAULIKA ELHAGYÁSA

A vizsgált rendszerhez hasonló összetettségű hálózat esetében a megfigyelhető hőtani és hidraulikai folyamatok sokszor nehezen szétválaszthatók egymástól, azonban

mivel a számítás elsősorban az energetikai adatokra fókuszál, ezért a vezetékek, hőcserélők, szivattyúk, szelepek stb. hidraulikai jellemzői teljes mértékben elhanyagolásra kerültek.

5.10.5. STATIKUS ÁLLAPOT

A valóságban a távfűtő rendszerek két különböző időpillanatban szinte soha sincsenek teljesen ugyanabban az állapotban, azaz a hőmérsékletek, tömegáramok vagy egyéb paraméterek folyamatosan, minden pillanatban változnak. Gyakorlatilag állandóan tranziens folyamatok zajlanak, ennek ellenére a modell felépíthetőségére való törekvés miatt érdemes az időbeliséget elhagyni és csak statikus állapotban vizsgálni, hiszen így jóval egyszerűbbé válik a feladat, ám mégis értékelhető eredményeket lehet kapni.

5.10.6. KAZÁNTELEPEK

A modell szempontjából nem jelentős az a tény, hogy a valóságban a geotermikus hőforrás után az utófűtés feladatát több gázkazán látja el, ezért az egyszerűségekre való törekvés érdekében egy kazánteleppel helyettesítettem őket.

5.11. A modellt tartalmazó Microsoft Excel file felépítése

A modellt tartalmazó Excel fájl több munkalapból áll, melyek vagy adatok tárolására vagy számításra szolgálnak.

A tároló funkciót betöltő lapok adatbázisok, melyek tartalmazzák például a vizsgált fogyasztók (épületek) hőteljesítmény-igényét jellemző egyenleteket, azok hőközponti előremenő hőmérséklet menetrendjét, illetve azt, hogy milyen – energetikai szempontból releváns – korszerűsítésen estek át. A hőcserélők üzemviteli paramétereit tároló munkalapok is ide tartoznak. A program futása során ezekbe nem kerül új adat, csak bemeneti paraméterekkel szolgálnak.

A Topológia A és Topológia B elnevezésű munkalapokra makró kódok segítségével kerülnek kiírásra a két fűtőmű fogyasztóinak hőteljesítmény-igény adatai, a felhasználó által megadott külső hőmérséklet mellett. Az elosztási hálózatot követve ezeket adott csomópontokra, hőközpontokra összegzik is a munkalapok egészen áramköri szintig.

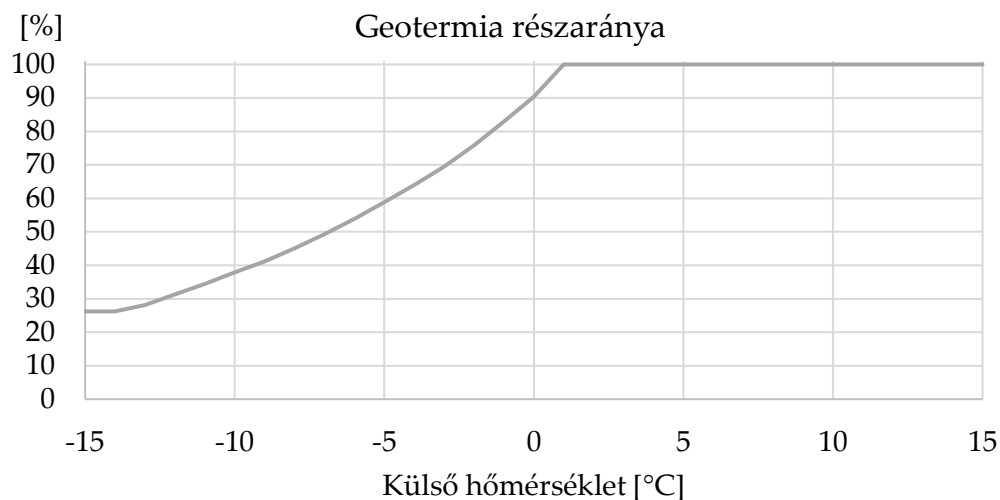
A Kapcsolás munkalap tartalmazza a legfőbb számítási összefüggéseket, itt állíthatók be a rendszer üzemét jellemző paraméterek (pl.: keringtető szivattyú térfogatáramok, geotermikus hőcserélőt megkerülő bypass szelepek nyitásának mértéke, kitermelt termálvíz térfogatárama stb.), és itt olvashatók ki a számítás eredményei is (pl.: hőcserélők hőmérsékletei, teljesítmények stb.).

Ebben a bekezdésben egy felmerült problémát és annak megoldását mutatom be. A távhőrendszer egy adott pontjáról elindulva a közeg útját követve több útvonal is van melyen keresztül a kiindulási pontba térünk vissza. Hasonló gondolatmenet mentén: egy pont adatából kiindulva (pl.: ÁK előremenő hőmérséklete), matematikai összefüggésekkel leírva az vezetékeket és a csomópontokat végül oda jutunk, hogy egy pontban már a kiindulási adatunk meghatározására kapunk összefüggést. Ezt az Excel „körkörös hivatkozás”-nak nevezi, megoldására pedig a programba épített „solver” segítségével van lehetőség, ami gyakorlatilag egy iteráció elvén alapuló közelítő eszköz. Mivel több önmagába záródó összefüggés található a modellben, ezért a számításért felelős *Kapcsolás* munkalapba több ilyen solver is beépítésre került, összesen hat darab. Alkalmazásuk eredménye, hogy a számítás már pontos adatokat biztosít, azonban jelentősen megnő a számítógép felé támasztott erőforrásigény és ezáltal a futási idő is. Egy nagyjából 8800 különböző esetet végigszámoló programkód futási ideje 6 óra.

5.12. Modell validáció

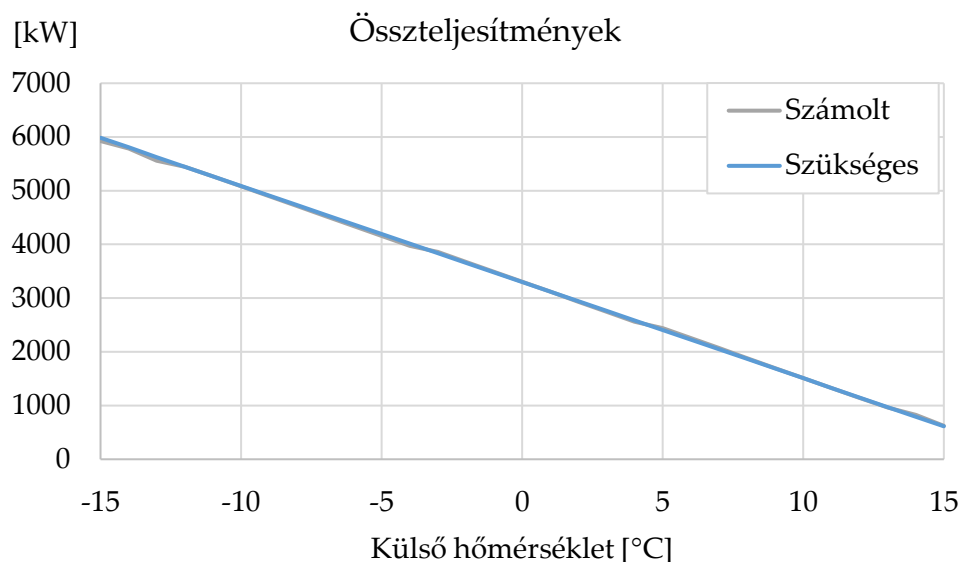
A validáció szükségességét indokolja, hogy rengeteg változó található a rendszerben, melyek közül minél több közelít a valós paraméterekhez, annál pontosabbá és megbízhatóbbá válik a számítás. A számítás helyességét első közelítésben néhány alapvető kritérium felállításával lehet ellenőrizni.

- 1) Enyhe időben (külső hőmérséklet: 0-15°C) elvárás: a teljes fűtési hőszükségletet geotermikus hőforrásból látjuk el (6. diagram).
- 2) Hidegebb időben (-15...0°C) a gázkazánok is bekapcsolódnak a hőtermelésbe (6. diagram).
- 3) Az épületek igényei által előállt teljesítményszükséglet és a modellben számított - geotermikus és gázkazán összeadásával kapott – teljesítmény megegyezik (7. diagram).



6. diagram: Észak 1/A geotermia részaránya

A 6. diagram a modell által számított értékeket tartalmaz, az látható rajta, hogy az adott külső hőmérsékletéhez tartozó Észak 1/A fűtőműre vonatkozó hőteljesítmény igény hány százalékát képes termálvíz biztosítani. Az 1-es és 2-es pont feltételeinek is megfelel, hiszen enyhe időben, (körülbelül $+2^{\circ}\text{C}$ -os külső hőmérséklet felett) már csak a termálvízzel táplálják hőt a rendszerbe, valamint hidegebb időben szükség van gázkazános utófűtésre.



7. diagram: A számolt és a szükséges Észak 1/A fűtőművi hőteljesítmény (3. kritérium ponthoz)

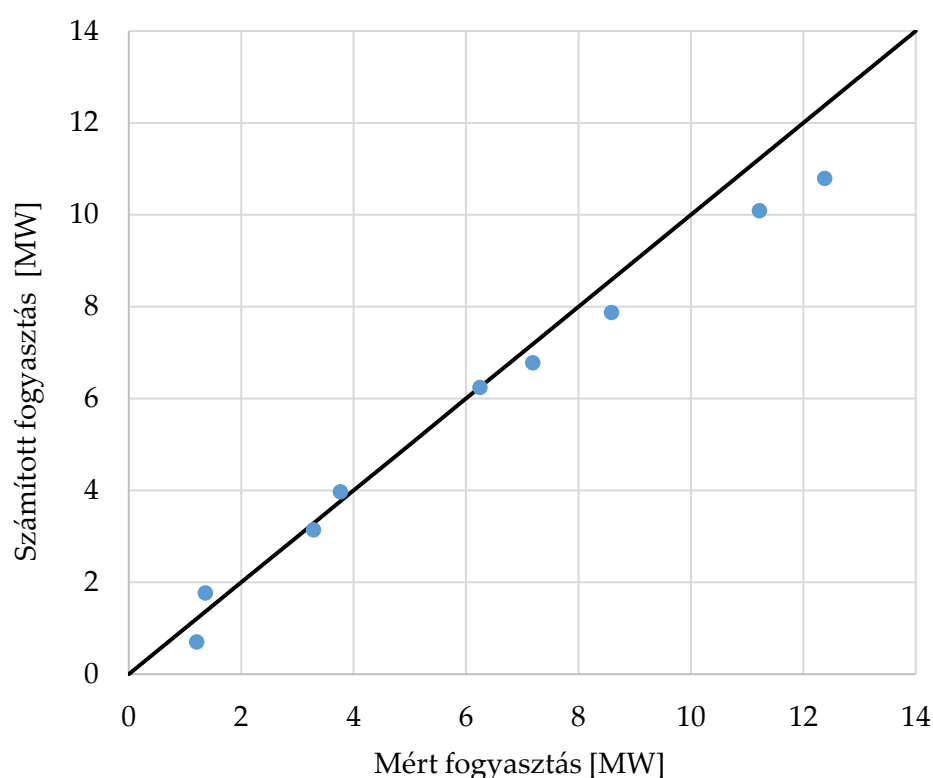
A 7. diagram mutatja, hogy a modellben a termálvízzel és gázkazánal megtermelt külső hőmérséklet függő hőteljesítmény szinte egybevághat a szükséges teljesítménnyel, azaz a 3. kritériumponthoz is megfelel a számítás.

Validáció szempontjából érdemes megvizsgálni azt is, hogy egy korábbi év adott fűtési idényében mennyi volt a vizsgált rendszerhez tartozó összes hőenergia fogyasztás és hogy ehhez képest mennyit számol a modell, felvéve az abban az időszakban jellemző külső napi átlaghőmérsékleteket. Ma már a szükséges hőt kétféle forrásból tudják biztosítani: gázkazánokkal és termálvízzel, azonban a geotermikus hőfogyasztásra nem kaptam pontos adatsort, így a vizsgálatra kijelölt év 2019, amikor még nem volt a geotermikus hőforrás a fűtőműhöz kapcsolva, azaz teljes egészében gáz égetésével történt a hőtermelés. Az időjárási adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat Meteorológiai Adattára biztosította Szeged mérőállomásra vonatkozóan, napi bontásban. Az összehasonlítás eredményeit 5. táblázat tartalmazza. Ezt megfigyelve nagy általánosságban elmondható, hogy a számítás eredményei viszonylag jól közelítik a valós mérési adatokat. A hidegebb időben 10% körüli, vagy az alatti az eltérés közöttük, míg az átmeneti időszakokban már jelentősebb különbség is előfordul, melynek oka, hogy magasabb külső hőmérsékletek esetében csak az adott hónap néhány napján szolgáltattak fűtést.

5. táblázat: 2018-19-es fűtési szezon számított és mért teljes hőfogyasztásai

2018-2019	Észak 1/A			Észak 1/B		
	Modellben szá- mított	Mért adat	Eltérés	Modellben szá- mított	Mért adat	Eltérés
Hónap	[GJ]	[GJ]	[%]	[GJ]	[GJ]	[%]
szeptember	704	1207	42	873	2132	59
október	3145	3285	4	3534	3148	12
november	6781	7186	6	7697	7754	1
december	10091	11222	10	11522	11806	2
január	10795	12379	13	12589	12660	1
február	7874	8587	8	9131	8949	2
március	6241	6249	0	7156	6958	3
április	3972	3764	6	4495	4374	3
május	1770	1361	30	2018	2925	31

Az mért és számított adatok közötti eltérések még szemléletesebben mutatja be a 8. diagram, melynek tengelyei az említett adatok, így minél közelebb helyezkedik el egy adott mérési pont a berajzolt 45°-os egyeneshez, annál nagyobb egyezést tapasztalhatunk.



8. diagram: Az 5. táblázat: adatai diagramon ábrázolva

A táblázatot és a diagramot tekintve összességében megállapítható, hogy a számítás egész jól közelíti a valós értékeket. Az eltérések nem túlzottan nagyok ahhoz, hogy a

dolgozatban kitűzött feladat elvégezhető legyen, hiszen az számítással meghatározott felújítási koncepciók ilyen validációs hiba ellenére egymással és az eredeti állapottal összehasonlíthatók lesznek, jellegre helyesen, százalékosan pontos eredményeket kapunk a későbbiekben.

5.13. Optimális üzemelési paraméterek keresése

5.13.1. AZ OPTIMALIZÁCIÓ

Az optimalizáció célja, hogy segítségével feltárássra kerüljön az adott külső hőmérséklethez tartozó, geotermikus részarány tekintetében a legjobb rendszerbeállítás. Megvalósítása bizonyos paraméterek rögzítése mellett (6. táblázat) a vizsgált paraméterek változtatásával történt (7. táblázat).

6. táblázat: Az optimalizáció rögzített paraméterei

Fix paraméterek	Mennyiség	Mértékegység
Termálvíz tömegárama	90	m ³ /h
Termálvíz hőmérséklete	90	°C
"b" és "e" hőcserélők szek. tömegárama	120	m ³ /h
Észak 1/A HMV fogyasztás értéke	6,3	m ³ /h
Észak 1/B HMV fogyasztás értéke	6,3	m ³ /h
Észak 1/A fő keringtető szivattyú	menetrend szerint változó	
Észak 1/B fő keringtető szivattyú	menetrend szerint változó	

7. táblázat: Az optimalizáció változtatott paraméterei

Változtatott paraméterek	Tartomány	Lépésköz	Mértékegység
Külső hőmérséklet	-15 ... +15	1	°C
"b" hőcserélő pr. térfogatáram	0-90	5	m ³ /h
"c" hőcserélő pr. térfogatáram	0-18	1	m ³ /h
"e" hőcserélő pr. térfogatáram	0-90	5	m ³ /h
"f" hőcserélő pr. térfogatáram	0-18	1	m ³ /h

A vizsgált paramétereket lépésközlőként változtatva minden permutációt megvizsgálva adódtak ki a legjobb beállítási értékek. A modellből történő adatkiigazítás 5 db egymásba ágyazott „for” ciklus megírásával volt lehetséges, a program futási ideje körülbelül 6 órát vett igénybe.

A számítással létrehozott adathalmaz kiértékelésekor a vizsgált paraméter a termálvíz elfolyási hőmérséklete volt, azaz az a hőfok, amelyet a két fűtőmű összesen hat hőcserélője után elér. Ez minél alacsonyabb annál több hőt ad át a rendszernek és annál kevesebbet kell gáz égetésével biztosítani. Tehát az optimalizáció során azok a rendszerbeállítási paraméterek - ebben a vizsgálatban a hőcserélők primer tömegáramai –

kerültek kiválasztásra, amelyek az adott külső hőmérséklet mellett a termálvíz elfolyási hőmérsékletének minimumát eredményezték.

Üzemeltetési értelemben az optimalizáció eredménye minden hőcserélő esetén egy olyan primer tömegáram menetrend, amelyet a termál oldali hőcserélőt megkerülő ágba épített fojtószeleppel lehet beállítani. Így gyakorlatilag a kapott adatsorok külső hőmérséklet függő szelepbeállítási menetrendek. Az eredményeket a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat: Az optimális hőcserélő térfogatáram értékek

t _{külső}	"b" hőcse- relő primer térfogat- áram	"c" hőcse- relő primer térfogat- áram	"e" hőcse- relő primer térfogat- áram	"f" hőcse- relő primer térfogat- áram	Elfolyási hőmérsék- let
°C	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	°C
-15	90	4,5	90	7,2	48,2
-14	90	3,6	90	17,1	48,8
-13	90	4,5	90	17,1	48,8
-12	90	17,1	90	17,1	48,2
-11	90	17,1	90	17,1	48,2
-10	90	4,5	90	17,1	48,2
-9	90	17,1	90	17,1	46,3
-8	90	17,1	90	17,1	46,3
-7	90	17,1	90	17,1	46,3
-6	90	17,1	90	17,1	46,3
-5	90	17,1	90	17,1	46,3
-4	86	17,1	90	17,1	46,3
-3	81	17,1	90	17,1	46,1
-2	76	17,1	90	17,1	47,1
-1	71	3,6	90	17,1	48,5
0	66	17,1	90	17,1	49,1
1	62	4,5	90	17,1	50,3
2	58	3,6	90	17,1	52,0
3	54	3,6	90	17,1	53,0
4	50	4,5	90	17,1	54,0
5	46	3,6	90	17,1	56,3
6	42	3,6	90	17,1	57,7
7	39	3,6	90	17,1	59,0
8	36	3,6	78	17,1	60,0
9	33	2,7	67	17,1	61,0
10	30	2,7	57	17,1	62,9
11	27	2,7	48	17,1	63,5
12	24	3,6	40	17,1	64,5
13	22	3,6	34	17,1	65,6
14	20	2,7	29	17,1	67,6
15	18	2,7	25	17,1	67,5

A 8. táblázatban feltüntetett „b” és „e” jelű hőcserélők a fűtési hőhordozó közegeket melegítik, melyekről tudjuk, hogy hőmérsékletük erősen külső hőmérséklet függő paraméter. Megfigyelhető, hogy a nagyjából -5°C-os külső hőmérsékletig az Észak 1/A fűtőmű „b” jelű hőcserélőjén a teljes (90 m³/h) térfogatáram átáramoltatása szükséges,

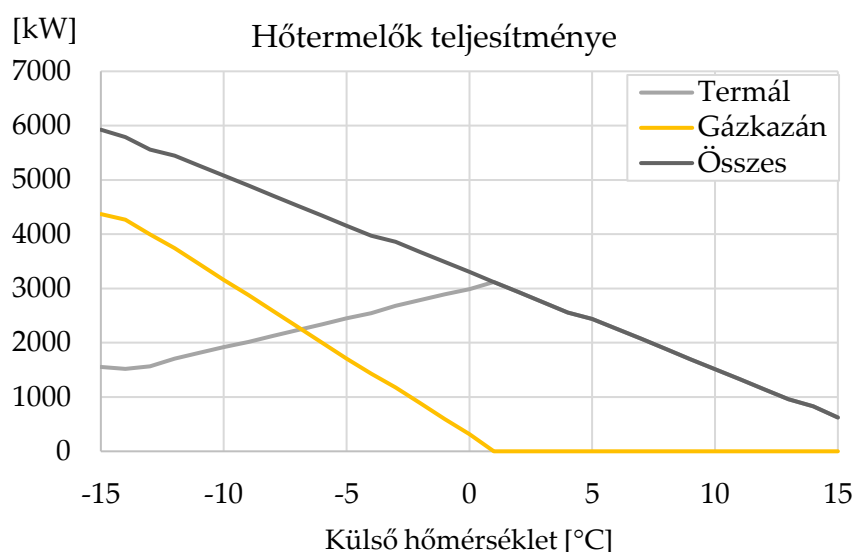
felette azonban már nincs erre szükség. Az „e” jelű hőcserélő esetében pedig azért tolódik el $+7-8^{\circ}\text{C}$ közé ez a térfogatárambeli változás, mert az oda érkező termálvíz már olyannyira kihűlt, hogy csak ettől a ponttól kezdve tudja teljes egészében geotermikus hővel ellátni a jelentkező igényeket.

5.14. Általános diagramok vizsgálata

Ebben az alfejezetben a számítások eredményeinek illusztrálására alkalmazott leggyakoribb diagramtípusok kapnak helyet, értelmezve az ábrázolt mennyiségeket, a görbék jellegét és a köztük fellelhető összefüggéseket.

Minden kiértékeléskor érdemes megvizsgálni, hogy a külső hőmérséklet függvényében hogyan alakulnak a geotermikus hőcserélők és a gázkazánok teljesítmény értékei. A hőcserélők közül elsősorban a fűtési érdekes, hiszen a HMV termelés teljesítménye nagyjából kiegyenlített az alkalmazott egyszerűsítések miatt. Erre szolgál a 9. diagram, mely tartalmazza a modell Észak 1/A fűtőművének geotermikus előfűtésének és gázkazán utófűtésének teljesítményét, valamint a kettő összegét.

Elmondható, hogy bár hideg időben van a legnagyobb fűtési teljesítmény-igény, ennek ellenére a termál hőcserélő teljesítménye a körülbelül 1°C -nál található maximum értéktől balra haladva csökken.



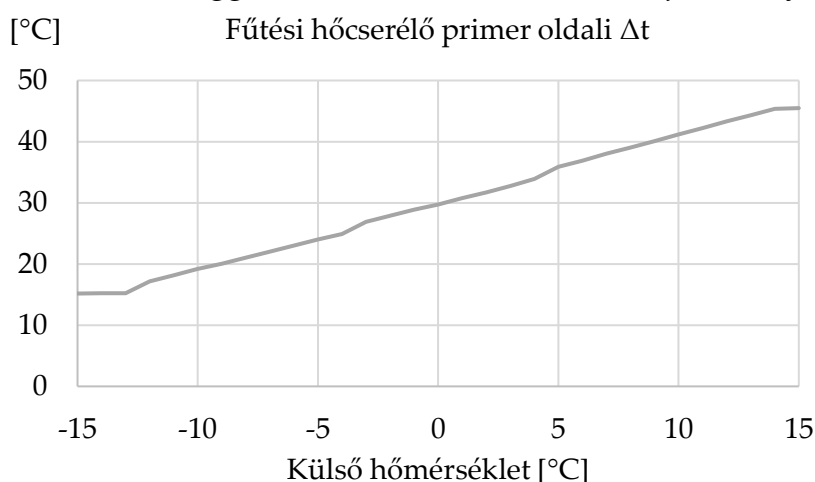
9. diagram: Észak 1/A fűtőmű fűtési termál hőcserélő és a gáz utófűtés hőteljesítményei

A maximumtól az x-tengelyen balra haladva az egyre csökkenő külső hőmérséklet-hez egyre nagyobb áramköri előremenő hőmérsékletek tartoznak, amely a visszatérő hőmérsékletek (11. diagram) növekedésében is megmutatkozik, aminek következménye, hogy csökken a hőcserélő termálvíz oldalának hőmérsékletkülönbsége (10. diagram), azaz csökken a leadott teljesítmény is. Tehát az áramköri visszatérő hőmérséklet korlátozó hatása jól megfigyelhető.

A maximumtól jobbra haladva pedig már azért mérséklődik az átadott teljesítmény, annak ellenére, hogy Δt nő, mert melegebb időben kevesebb a hőteljesítmény-igény a fogyasztói oldalon, azaz egyszerűen nincs akkora igény, mint amekkorát a hőcserélő képes lenne biztosítani.

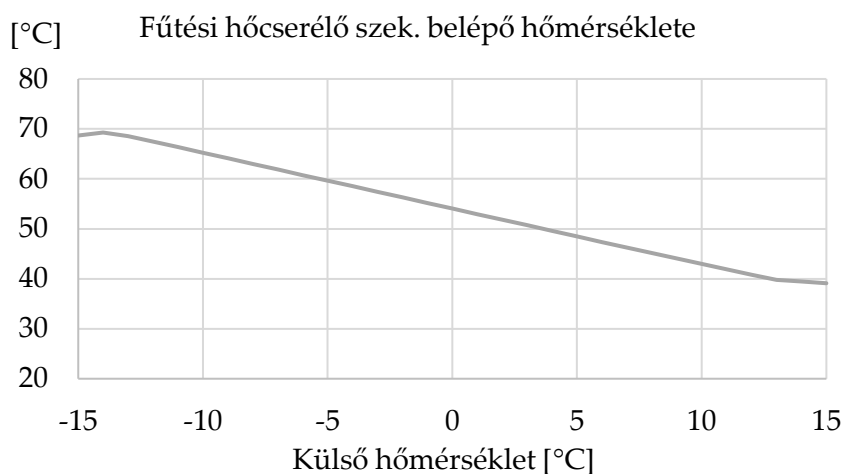
A 9. diagramon gázkazán teljesítmény görbéjén egy egyértelmű, viszonylag meredek csökkenés látható egészen a korábban megfigyelt maximumhoz tartozó 1°C -os külső hőmérsékleti értékig, amely azt támasztja alá, hogy az ennél magasabb hőmérsékletekre az elsődleges hőforrás valóban a fűtési hőcserélő termálvize.

A következő diagramtípus az adott hőcserélő primer vagy szekunder oldalának be- és kilépő hőmérsékletei közti különbséget hivatott bemutatni, ami $\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta t$ képlet értelmében szorosan összefügg a hőcserélő által átadott hőteljesítmény diagramjával.



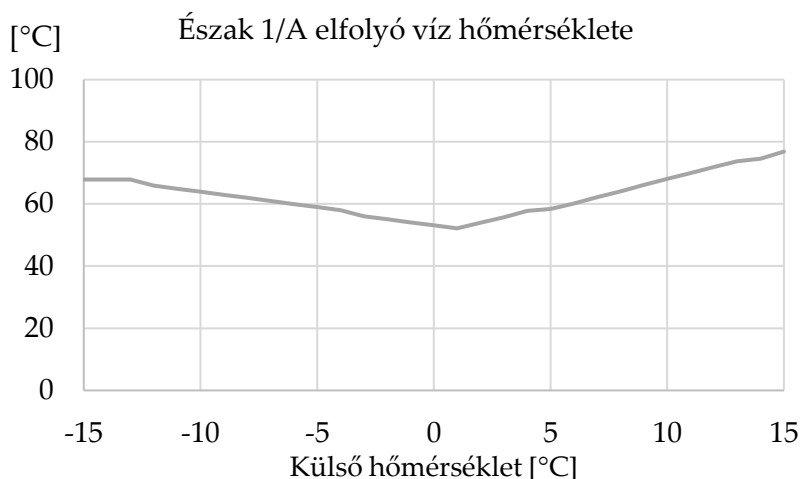
10. diagram: Észak 1/A fűtési („b” jelű) hőcserélő termál oldalának be- és kilépő pontjai közötti Δt

A 11. diagramon ábrázolt Észak 1/A fűtőművi termál hőcserélő szekunder oldali belépő hőmérséklete megegyezik az áramkörök gyűjtőjén kialakuló kevert visszatérő átlaghőmérséklettel (13. ábra: t_{kev}). A dolgozat megoldása során az egyik legfontosabb paraméter, hiszen jelenleg a termálvíz kihűtésének legnagyobb korlátja az, hogy az említett mennyiség nem alacsony kellően.



11. diagram: Észak 1/A fűtési hőcserélő szekunder belépő hőmérséklete

A másik igen fontos üzemelési paraméter a fűtőművekben történő lehűtés utáni - másnéven elfolyó - termálvíz-hőmérséklet. Némileg az előző bekezdésben bemutatott szekunder oldali belépő hőmérséklettel analóg módon akkor működik a legkedvezőbbben a rendszer, ha az elfolyó víz hőmérséklete a lehető legalacsonyabb.



12. diagram: Észak 1/A fűtőműből távozó termálvíz hőmérséklete

A bemutatott és a későbbiekben is használt diagramok görbéin megfigyelhető szinte ugrásszerű meredekségváltások – ha egyéb magyarázat nem fűződik hozzá – a két végét leszámítva, minden esetben azért figyelhetők meg, mert a számítás például a hőcserélő paraméterek esetében lineáris interpolációval számol, amely némi torzítást visz az eredményekbe. A $-15...+15^{\circ}\text{C}$ tartomány elején pedig azért változik a meredekség, mert az áramköri előremenő hőmérséklet lineáris menetrendje ezen a tartományon már konstans 90°C ; a végén pedig az Észak 1/A fő keringtető szivattyú $120\text{m}^3/\text{h}$ -s alsó korlátja miatt.

6. FELÚJÍTÁSI KONCEPCIÓK

6.1. Áramkörök teljes épületállományának szigetelése

Ebben a koncepcióban azt vizsgáltam meg, hogy ha az Észak 1/A fűtőmű 2-es és 3-as áramkörén bizonyos felújításokat, módosításokat hajtok végre, akkor hogyan változik a hőigény és a geotermikus, fosszilis energiaforrásból előállított hő aránya.

Első körben a 2-es és 3-as áramkörök épületállományának teljes energetikai korszerűsítésének hatását elemeztem, mely a modellben az áramkörök teljesítmény menetrendjének változásában érhető tetten, tehát ezt a bemeneti adatot módosítottam először. A távhővel ellátott épületek egy része 2010 körül esett át különböző, korábban említett felújításokon. Mivel nem egységesen korszerűsítették őket, ezért előfordul, hogy adott áramkörön viszonylag sok épület felújítása megtörtént, másik áramkör esetében pedig kevesebb, de elmondható, hogy olyan rendszer nincs, ahol minden fogyasztó hasonlóan kedvező energetikai tulajdonságokkal rendelkezik. A teljes korszerűsítést fogalmát ebben a részben kimeríti a termoszelep beépítés, a költségosztó felszerelés, a teljes hőszigetelés és a nyílászáró csere.

Ezek után megvizsgáltam, hogy a 2-es és 3-as immáron felújított épületekkel rendelkező áramkörök előremenő hőmérsékletének csökkentése milyen hatással van a különböző energetikai mutatókra. Harmadik lépésként pedig az úgynevezett áramköri „alákaszkádolás” lehetőségét tanulmányoztam.

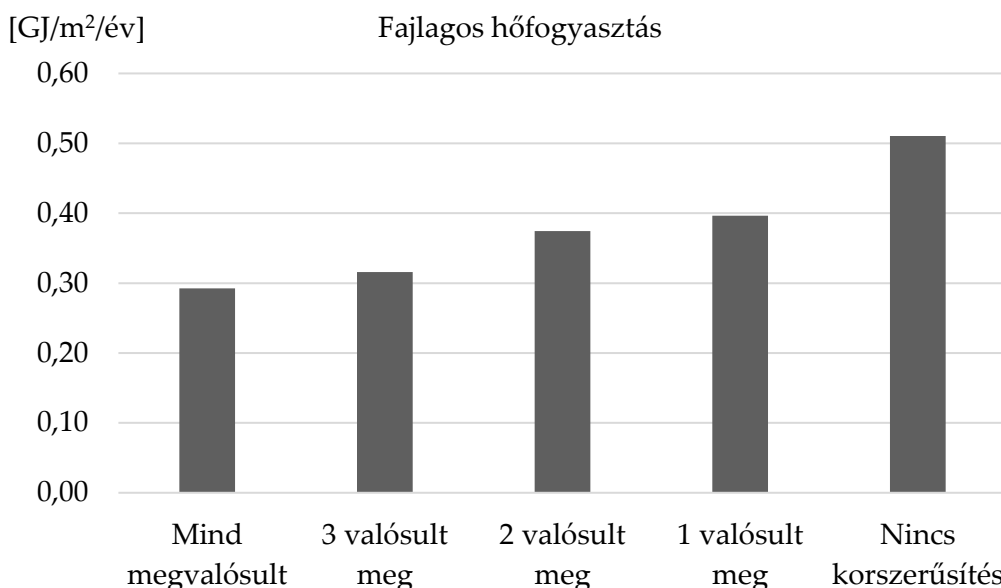
6.1.1. AZ ÉPÜLETEK ENERGETIKAI TULAJDONSÁGAI

A koncepció elvégzése során először az épületek felújítottsági szintjét elemeztem, csoportosítottam az épületeket ezen szempontok szerint, valamint megállapítottam azonos energetikai tulajdonságokkal rendelkező épületek fűtött alapterületre fajlagosított hőfogyasztását. Kiszámítottam egy új, általános fajlagos hőfogyasztási értéket a teljesen felújított épületekre vonatkozóan, amely tulajdonsággal a képzeletben felújított épületeket ruháztam fel ebben a vizsgálatban. Következő lépésként módosítottam azon épületek teljesítmény menetrendjét, amelyeken idáig semmilyen, vagy csak részleges korszerűsítés történt.

Mindezt abban a tudatban végeztem el, hogy ezen lépéssorozat műszakilag, tudományosan nem teljesen alátámasztható, hiszen egy fontos tényezőt, a felület-térfogat arányt (A/V) nem vettem figyelembe az új teljesítmény menetrendek számítása során. Ez önmagában meg is kérdőjelezheti a felvázolt vizsgálat értelmét, azonban a dolgozat részfeladata a modell, mint vizsgálati módszer felépítése és bemutatása, amelyet ezen bemeneti adattal meg lehet valósítani. Amennyiben a későbbiekben rendelkezésre áll pontosabb módszer az épületek energetikai korszerűsítése utáni fajlagos hőteljesítmény igények számítására, akkor ezen adat egyszerűen helyettesíthetővé válik és egy

pontosabb eredményt lehet kinyerni. Addig az eredményeket fenntartásokkal kell kezelni. Az A/V arány elhanyagolásának oka, hogy ha a statisztikai alapokon véve egyébként is alacsony számú vizsgált épületállományt további tulajdonságok szerint (pl.: A/V arány) kevesebb épületet tartalmazó csoportokba osztom, akkor a fogyasztói szokások befolyása is olyan jelentős mértékben megnő, hogy a pontosítás ténye nem lenne egyértelműen kijelenthető.

Az épületvizsgálatok eredményét a 13-14. diagramok hivatottak bemutatni. Mindkettő esetében csak lakóépületeket vizsgáltam, mivel ezekből van a legtöbb a két rendszerben, és mert ezek használói nagyjából azonos módon viselkednek, így a használat jellege kevésbé befolyásolja az összefüggéseket.



13. diagram: Fajlagos hőfogyasztás [GJ/m²/év] a megvalósult korszerűsítések száma szerint

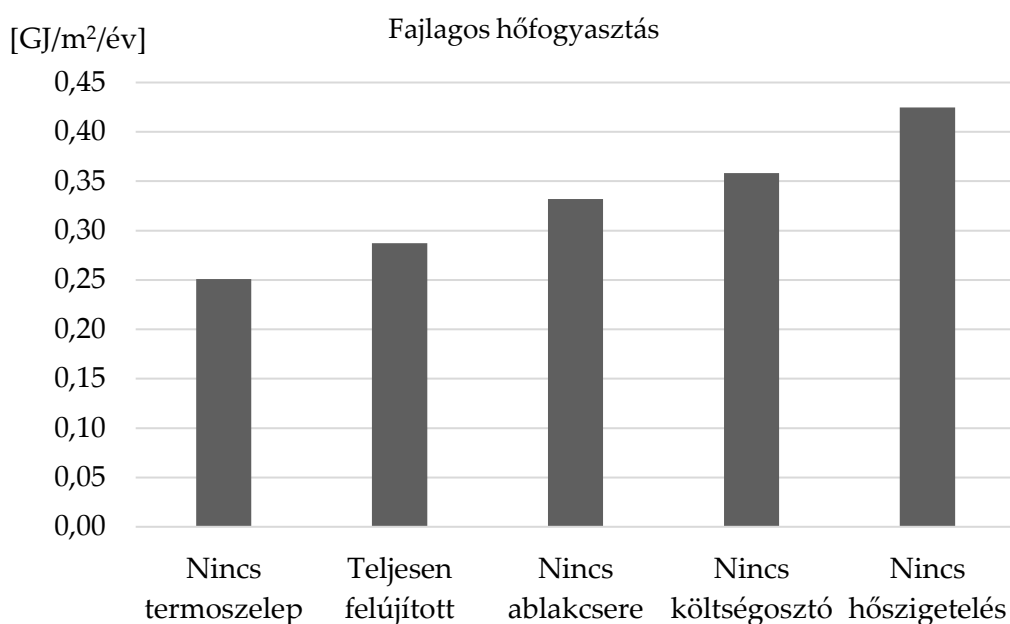
A 13. diagramhoz minden lakóépületet vizsgáltam, a fő szempont az volt, hogy a négy különböző felújítási opció közül mennyi került megvalósításra, függetlenül azok műszaki tartalmától. Az ábrázolt adatok számtani átlag értékek, a felhasznált mérési adatok lefedik a 2015-16-os fűtési szezontól 2020-21-es szezoniig mindet.

Először fajlagosítottam minden szezon hőfogyasztását az épület fűtött alapterületére vonatkozóan, majd ezek számtani közepét véve megkaptam az adott épületre jellemző fajlagos hőfogyasztási értéket. Az épületek megvalósult felújítási opcióinak száma szerint csoportosítottam őket, majd fajlagos hőfogyasztásaik átlagát vettem, ennek eredményét tartalmazza a 13. diagram.

A 14. diagram esetében figyelembevételre kerültek a felújítások típusai is. A fogyasztók közül azokat vizsgáltam ezúttal, amelyek vagy teljes energetikai felújításon estek át, vagy legalább három típusú korszerűsítést végeztek rajtuk, így megmutatható, hogy melyik alkalmazása rendelkezik a legnagyobb energiamegtakarítási poten-

ciállal. Látható, hogy a hőszigetelés elhagyása esetén a legnagyobb, majd a költségosztó, ablakcsere, végül a termoszelep elhagyása esetén a legkisebb a fajlagos hőfogyasztás változás a teljes felújításhoz képest.

A várokazásokkal ellentétben, hogy a termoszelep elhagyása esetén csökken a fajlagos hőfogyasztás értéke a teljesen felújított épületekéhez képest. A különbség 6%-os, mely magyarázható a ténnyel, hogy az említett két kategóriában vizsgált épületek száma összesen 69, ebből a termoszelep nélkülieké 19, amely statisztikai szempontból kevésnek számít. Szélesebb körű mintavételezés esetén valószínűleg megfordulna a reláció köztük, hiszen jelen esetben a fogyasztói szokásbéli eltérések is jelentős hatással lehetnek.



14. diagram: Fajlagos hőfogyasztások [GJ/m²/év] valamely felújítási opció elhagyása esetén

6.1.2. ÚJ TELJESÍTMÉNY MENETRENDEK

Az épületek energetikai szempontból való csoportosítása után előállítottam egy általános, minden korszerűsítésen átesett épületre vonatkozó, alapterületre fajlagosított hőfogyasztást, mely az eddig nem, vagy csak részlegesen felújított 2. áramköri létesítmények új jellemzője lett, elhagyva a jelenlegi, ugyanilyen mennyiségüket. Ezen új érték 0,287 GJ/m²/év, melyet a két vizsgált alrendszer (Észak 1/A, Észak 1/B) összes teljesen felújított épületének fajlagos hőfogyasztási adatának számtani közepét véve képeztem.

A 9. táblázatok második és harmadik oszlopai tartalmazzák a jelenlegi és a jelen koncepcióban feltételezett új értékeket. A dőlt betűvel jelzett épületek esetében nem változott a vizsgált érték, mivel ezek már vagy eleve teljesen felújítottak voltak, vagy az jelenlegi fajlagos éves hőfogyasztásuknál magasabb lenne az újonnan bevezetett jellemző.

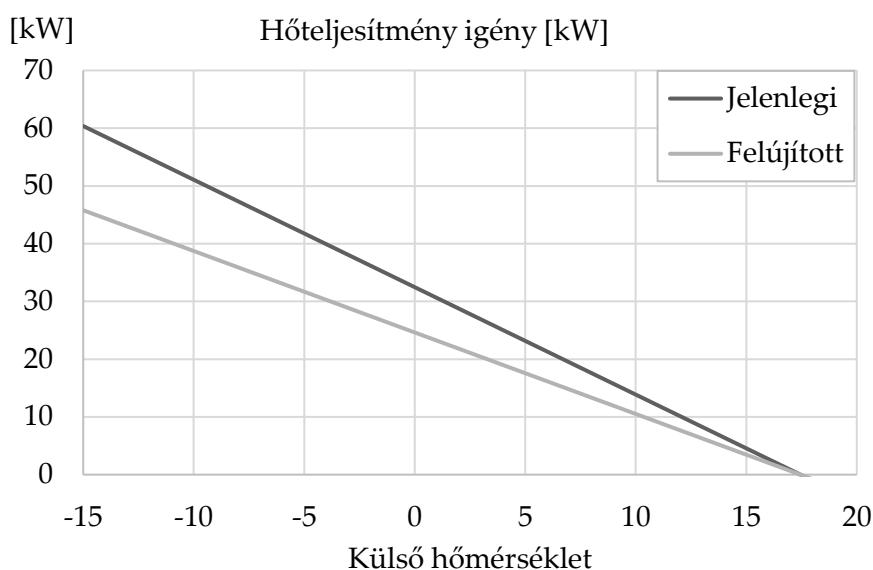
9. táblázat: A 2. áramkör összes épülete, fajlagos hőfogyasztásuk és teljesítmény menetrendjük

Épület	Jelenlegi fajlagos éves hőfogyasztás	Új fajlagos éves hőfogyasztás	Hőteljesítmény menetrend egyenlete			
			a	b	új a	új b
	GJ/m ² /év	GJ/m ² /év	-	-	-	-
Csongrádi sgt. 82. A.	0,379	0,287	-1,9	32,5	-1,4	24,6
Csongrádi sgt. 82. B.	0,416	0,287	-2,0	35,7	-1,4	24,6
Csongrádi sgt. 84.A.	0,337	0,337	-1,3	26,3	-1,3	26,3
Csongrádi sgt. 84. B.	0,275	0,275	-1,1	21,8	-1,1	21,8
Sárosi u. 1.	0,304	0,287	-5,1	88,4	-4,8	83,5
Sárosi u. 3.	0,269	0,269	-4,8	86,8	-4,8	86,8
Sárosi u. 5.	0,348	0,287	-6,6	116,8	-5,5	96,6
Sárosi u. 7.	0,430	0,287	-6,9	121,9	-4,6	81,4

10. táblázat: A 3. áramkör összes épülete, fajlagos hőfogyasztásuk és teljesítmény menetrendjük

Épület	Jelenlegi fajlagos éves hőfogyasztás	Új fajlagos éves hőfogyasztás	Hőteljesítmény menetrend egyenlete			
			a	b	új a	új b
	GJ/m ² /év	GJ/m ² /év	-	-	-	-
Óvoda	0,483	0,287	-3,64	62,49	-2,16	37,15
608.sz. SPAR	0,369	0,287	-2,73	45,37	-2,12	35,29
Bölcsőde	0,377	0,287	-2,57	44,12	-1,95	33,60
Csongrádi sgt.66.	0,302	0,302	-2,17	39,73	-2,17	39,73
Csongrádi sgt. 68.B.	0,260	0,260	-1,12	21,21	-1,12	21,21
Csongrádi sgt.68.A.	0,223	0,223	-1,01	18,46	-1,01	18,46
Csongrádi sgt. 70B.	0,315	0,287	-0,92	17,44	-0,84	15,88
Csongrádi sgt. 70.A.	0,212	0,212	-1,25	24,92	-1,25	24,92
Csongrádi sgt. 72.B.	0,349	0,287	-1,19	24,55	-0,98	20,20
Csongrádi sgt. 72.A.	0,360	0,287	-1,24	24,47	-0,99	19,54
Csongrádi sgt. 74.	0,247	0,247	-2,31	41,72	-2,31	41,72
Csongrádi sgt. 76.	0,243	0,243	-5,05	86,68	-5,05	86,68
Csongrádi sgt. 78.	0,293	0,287	-4,53	85,00	-4,44	83,26
Sárosi u. 2.	0,264	0,264	-4,38	78,31	-4,38	78,31

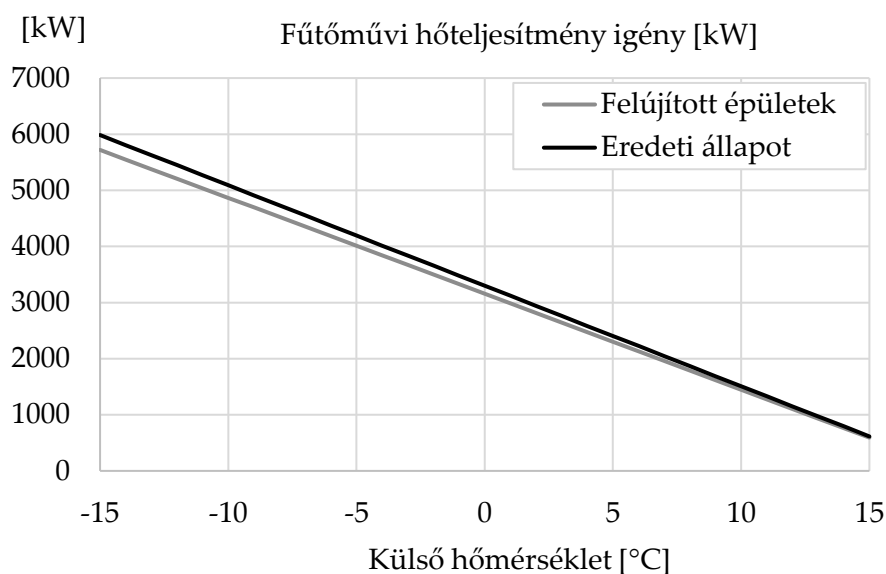
Mivel a modell bemeneti paraméterei energia helyett teljesítmény mennyiségek, ezért új teljesítmény menetrendeket határoztam meg a vizsgált épületekre vonatkozóan, melyek közül a Csongrádi sugárút 82/A házszámhoz tartozó a 15. diagramon látható. A diagram alaposabb szemrevételezésével észrevehető, hogy egyszerű arányosítással hajtottam végre ezt a feladatot, az arányszám az új/jelenlegi fajlagos éves hőfogyasztás volt. A menetrendek $\dot{Q} = a \cdot t_{\text{külső}} + b$ alakban leírható lineáris egyenletek, melyekben az „a” és „b” paraméterek értékei a 9. táblázatok 4-7. oszlopaiban láthatók. Az ily módon kapott új menetrendet a 15. diagram tartalmazza.



15. diagram: Csongrádi sugárút 82/A épület hőteljesítmény menetrendjei

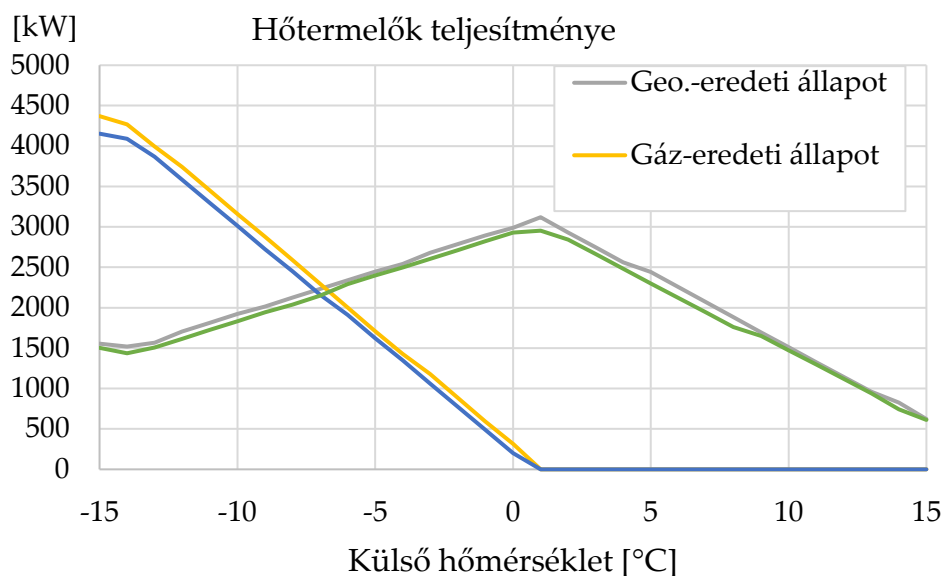
6.1.3. ENERGETIKAI KORSZERŰSÍTÉS EREDMÉNYE

Az energetikai korszerűsítés hatására nemcsak a 2-es, 3-as áramköri, hanem az áramkörök összegzésével kapott fűtőművi teljesítmény menetrend is lecsökkent (16. diagram).



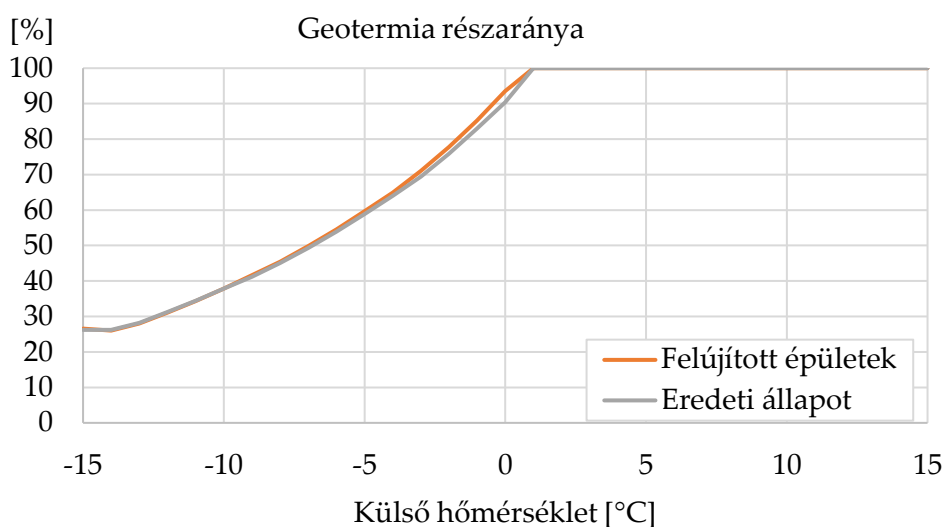
16. diagram: Az Észak 1/A fűtőmű számított teljes fűtési teljesítmény igényei

Ennek következményeként természetesen csökkenés figyelhető meg mind a gázkazánok, mind a geotermikus hőcserélő teljesítményének menetrendjében. Ezt mutatja be a 17. diagram: 17. diagram.



17. diagram: Hőtermelők teljesítménye eredeti és energetikai korszerűsítés utáni állapotban

A geotermiával biztosított teljesítmény aránya az össz-fűtőművi teljesítményhez képest tehát ezek alapján nem sokban változott ebben az esetben, enyhe növekedés figyelhető csak meg (18-as diagram).



18. diagram: A geotermia teljesítményének részaránya az össz-fűtőművihez képest

Az egy év alatt elhasznált hőenergia mennyiség csökkenés mértéke összesen 1.749 GJ, amely 1.408 GJ gáz égetéssel és 342 GJ termálvízzel előállított energiafelhasználás csökkenést jelent.

6.1.4. ÁK-I ELŐREMENŐ MENETREND CSÖKKENTÉS, EREDMÉNY

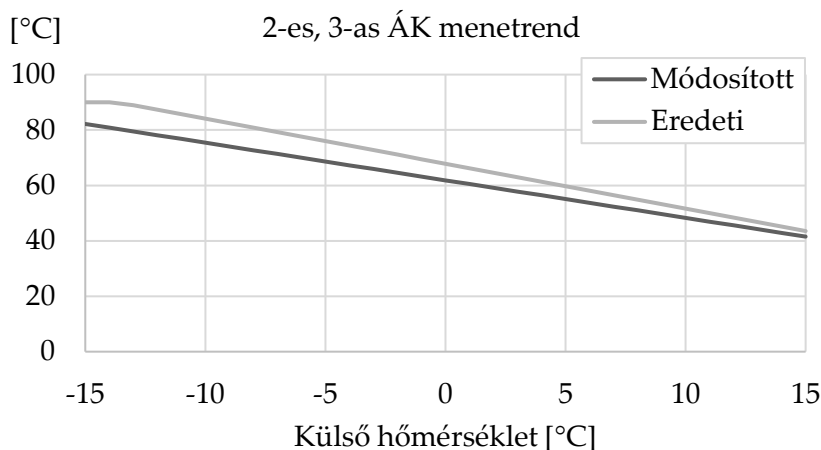
Az előző alfejezetben elemzett energetikai korszerűsítés természetesen csökkenést eredményez az épületek teljesítmény igényének nagyságában, azonban fontos kérdés

az is, hogy az őket kiszolgáló hálózat működési paramétereit hogyan módosítják ahhoz, hogy a két oldal a lehető legjobban illeszkedjen egymáshoz. A talán legtriviálisabb megoldást vizsgálja ez a fejezet, mi szerint az áramkörök előremenő hőmérsékletét kell csökkenteni.

Tehát az 265.4-es alfejezet szerinti mérési adatok kiértékeléséből lineáris illesztéssel meghatározott hőmérséklet menetrendeket a 2-es és a 3-as áramkörök esetében csökkentettem a következő pontok figyelembevételével:

- -15°C külső hőmérséklet 10°C -al,
- $+15^{\circ}\text{C}$ mellett 2°C -al,
- a kettő között lineáris interpolációval meghatározott mértékben,

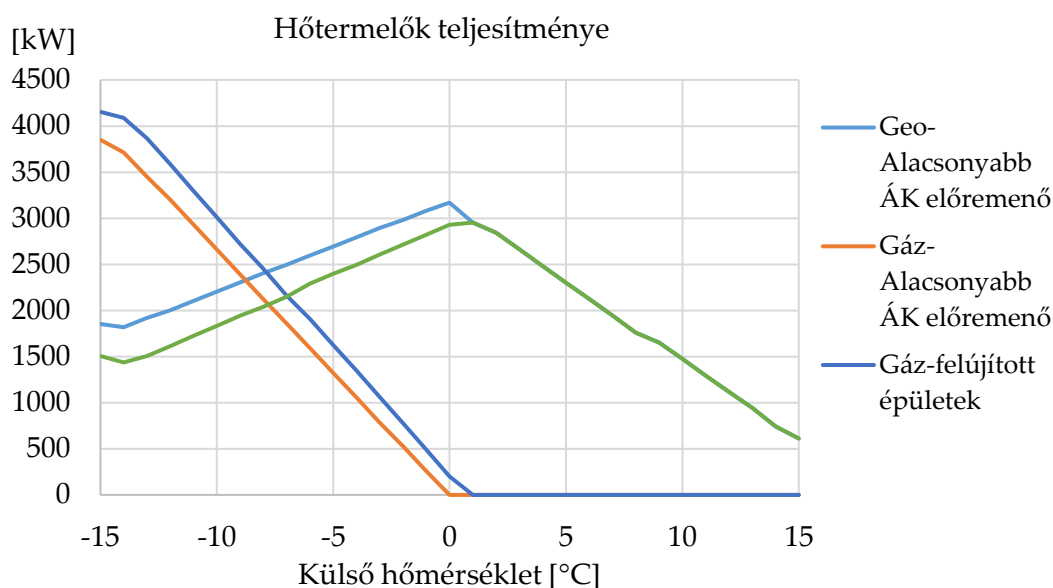
így biztosítva a fűtőtestek számára a szükséges hőfokot enyhe időben is. Ennek megfelelően az új menetrend a következő diagramon látható.



19. diagram: 2-es, 3-as áramkörök eredeti (mérési alapú) és módosított előremenő hőmérséklet menetrendjei

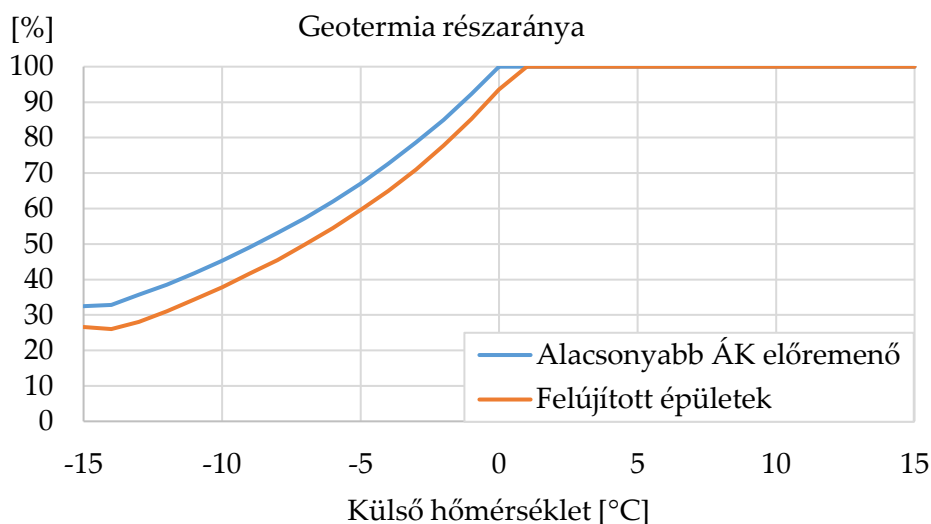
Az előző esethez képest, ha nemcsak a teljesítmény menetrendet, hanem az áramköri előremenő hőmérséklet menetrendet is lecsökkentjük, akkor a termálvíz részaránya megnő, azaz gázfelhasználás kerül kiváltásra. Ez látható a 20-21. diagramokon. Adott külső hőmérséklet mellett amennyivel megnő a geotermikus teljesítmény, annnyival csökken a gázkazán teljesítmény (az összegük állandó).

A geotermikus részarány növekedésének oka levezethető: a 2-es, 3-as áramköri előremenő hőmérsékletet, mint input adatot lecsökkentettem, a tömegáram változatlanul hagyásával ennek eredményeképpen a visszatérő hőmérsékletek is lecsökkentek, így az öt áramkör fűtőművi gyűjtőben való keveredése után a közeghőmérséklet szintén lecsökkent, amely a geotermikus hőcserélő szekunder belépő hőmérséklete is egyben. A cél pontosan ennek a mennyiségnek a csökkentése volt, hiszen ez korlátozza a termálvízből kinyerhető hő mennyiségét.



20. diagram: Hőtermelők teljesítménye felújított állapotban, ÁK-i előremenő hőmérséklet menetrend csökkentés nélküli és csökkentéses esetben

A 21. diagram fontos eredménye a termálvíz megnövekedett részaránya mellett, hogy alacsonyabb külső hőmérséklet esetén érjük el azt a pontot, amikor már gázkazános utófűtésre nincsen szükség. Az eredeti, körülbelül 1°C-nál található 100%-os geotermikus határvonal csökkentett ÁK-i előremenő esetében már 0°C-hoz közelít. Ez egyértelműen azt bizonyítja, hogy ha az épületek korszerűsítése átgondolt új üzemeltetési paraméterek (mint az ÁK-i előremenő hőmérséklet menetrend) beállításával is párosul, akkor a gázfelhasználás nagymértékben csökkenthető a termálenergia javára.



21. diagram: A termálvíz teljesítményének részaránya az össz-fűtőművihez képest felújított állapotban, ÁK-i előremenő hőmérséklet menetrend csökkentés nélküli és csökkentéses esetben

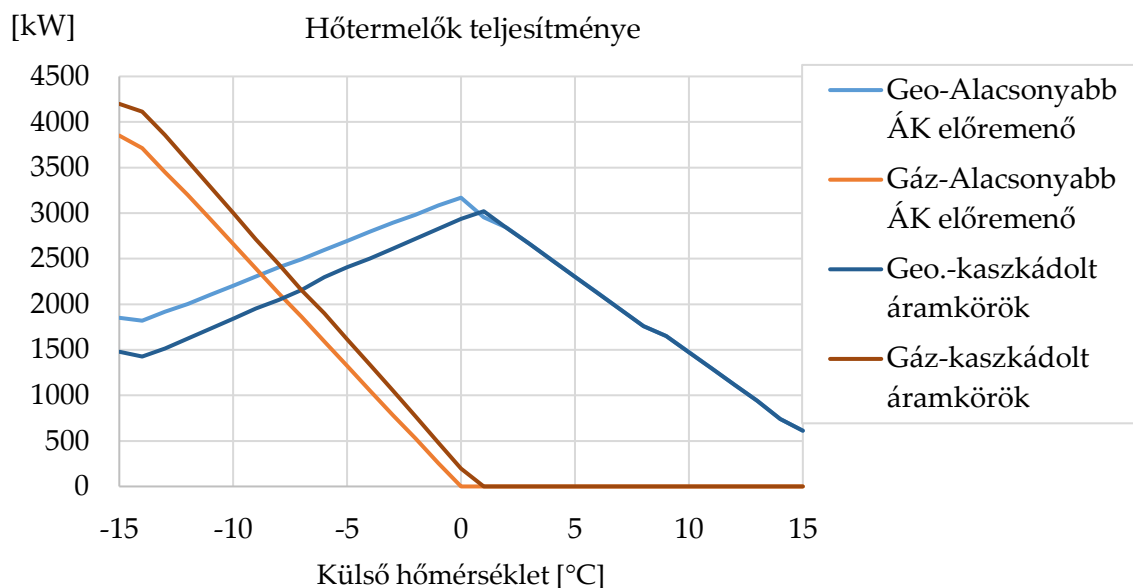
Ebben a javaslatban az előző állapothoz képest az egy év alatt elhasznált hőenergia mennyiség csökkenés mértéke nem változik, hiszen korszerűsítésről nincs szó, azonban mintegy 972 GJ földgáz termálvízzel való kiváltása történhet meg.

6.1.5. ÁK-I „ALÁKASZKÁDOLÁS”, EREDMÉNY

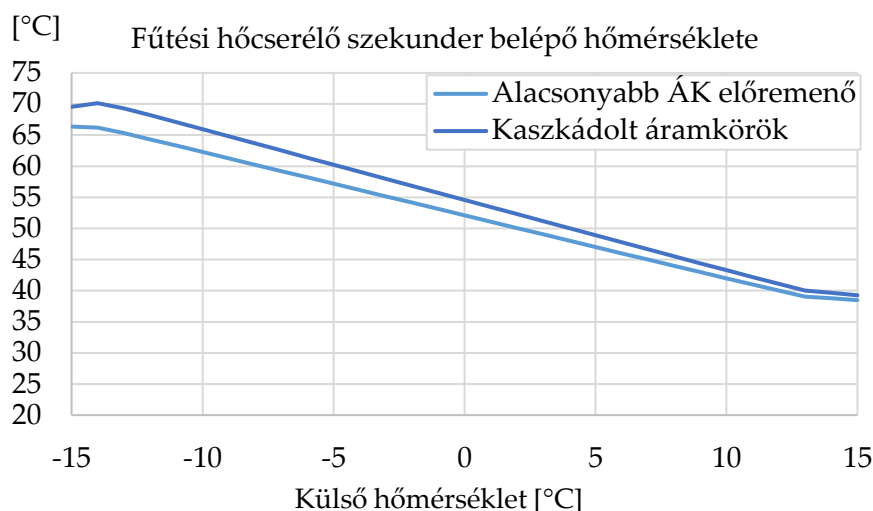
Az eddig bemutatott áramköri módosításokra épül jelen vizsgálat is. Az alapötlet onnan származik, hogy ha már az épületek energetikai korszerűsítése révén elértük, hogy két áramkörön alacsonyabb előremenő - és ezáltal visszatérő - hőmérséklettel tud üzemelni a rendszer, akkor lehet-e valamilyen módon egy kiválasztott magasabb hőmérsékletű ÁK után sorosan kapcsolni az alacsonyabb hőfokút/hőfokúakat.

Alacsonyabb hőlépcsővel rendelkezőnek adott az Észak 1/A 2-es, 3-as áramköre, magasabbnak pedig egy olyanra van szükség, amely elegendő térfogatárammal rendelkezik ahhoz, hogy a két áramkört el tudja látni, ilyen a 4-es áramkör. Fontos megjegyezni, hogy a korábban (6.1.4 alfejezetben) feltételezett új áramköri előremenő hőmérséklet továbbra is magasabb, mint a 4-es ÁK visszatérő hőmérséklete, így a termálvíz/gázkazán hőjére is szükség van, bekeveréssel kell biztosítani a megfelelő hőfokot.

A vizsgálat célja a korábbiakhoz hasonlóan a fűtési hőcserélő szekunder oldali belépő hőmérsékletének csökkentése. A vizsgálat eredménye az, hogy nem éri meg ily módon megváltoztatni az áramkörök kapcsolását, mert az az előzőhöz képest kedvezőtlenebb geotermikus részarányt okoz. Ezt mutatják be a 22-23. diagramok. 22. diagram:



22. diagram: Hőtermelők teljesítménye felújított állapotban, ÁK-i előremenő hőmérséklet menetrend csökkentése mellett, ÁK-i kaszkádolással és anélkül



23. diagram: Fűtési hőcserélő szekunder belépő hőmérséklete felújított állapotban, ÁK-i előremenő hőmérséklet menetrend csökkentése mellett, ÁK-i kaszkádolással és anélkül

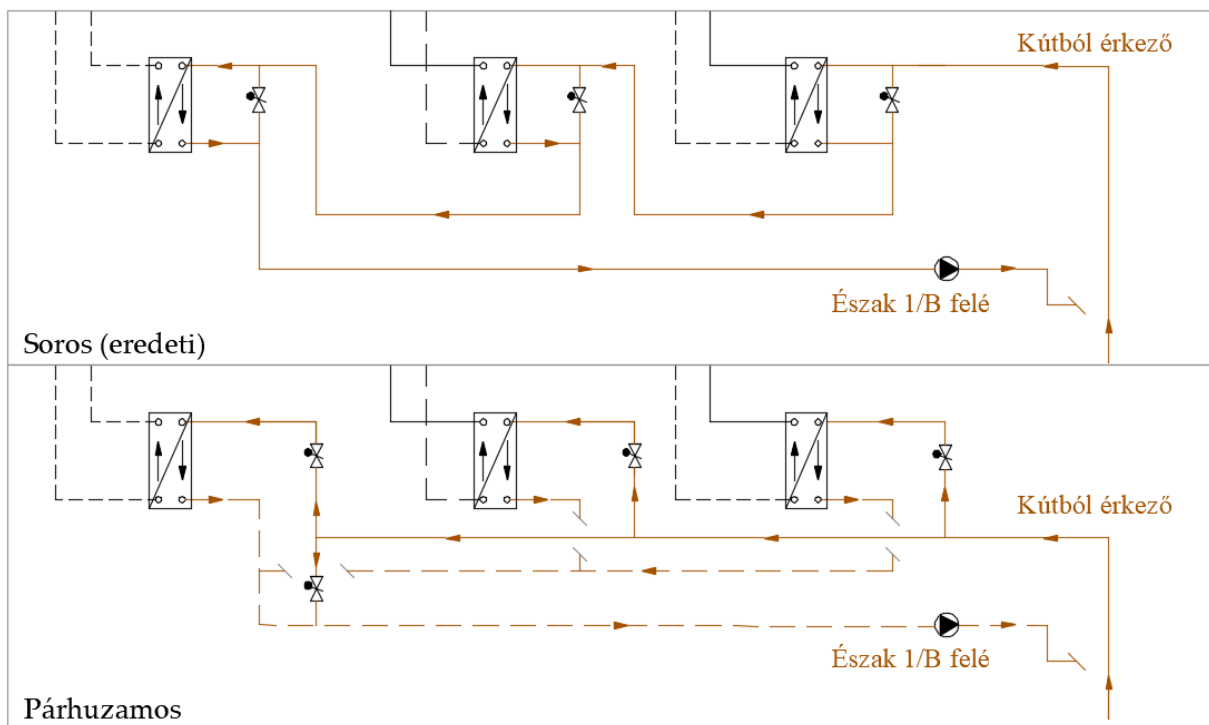
Erre a vizsgálatra az eredményből kifolyólag energiamegtakarítási számítás nem készült.

6.2. Geotermikus hőcserélők párhuzamosítása

Ez a felújítási javaslat szintén az Észak 1/A fűtőműre terjed ki. A koncepció lényege, a termálvíz útját tekintve jelenleg sorba kapcsolt hőcserélők párhuzamos kapcsolásba való módosítása. Alapesetben (a valóságban) a hőcserélők sorrendje az alábbi:

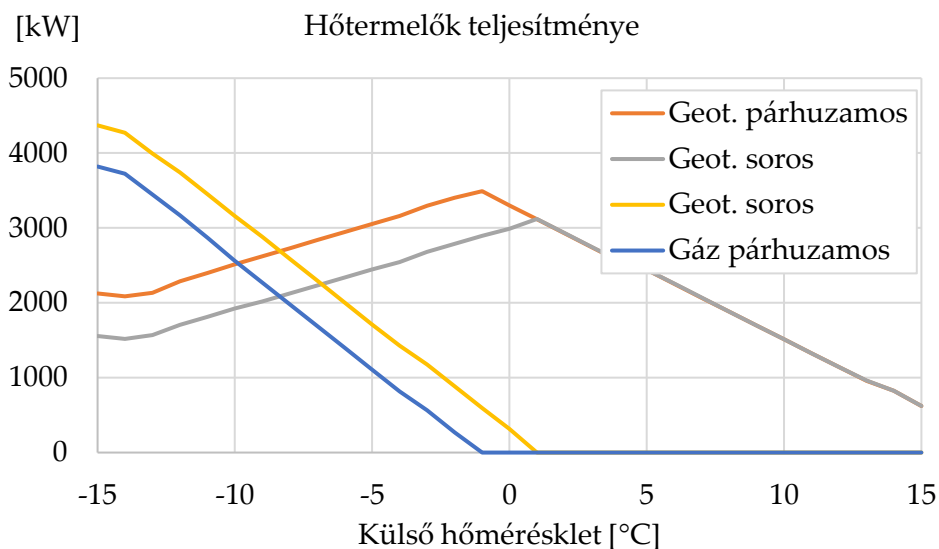
- 1) HMV készrefűtő („a” jelű),
- 2) Fűtési hőcserélő („b” jelű),
- 3) HMV előfűtő („c” jelű).

A szekunder oldali belépő hőmérsékletek közül a fűtési szezon nagy részében a fűtési hőcserélőé a legmagasabb érték, valamint annak van a legnagyobb hőszükséglete is, ez indokolja a koncepció alapgondolatát, mi szerint a párhuzamosítás célja a „b” jelű hőcserélő primer oldalának lehető legmagasabb hőmérsékletű termálvízzel való ellátása. Párhuzamos kapcsolás esetén a hőveszteségektől eltekintve ez minden esetben a kútból való kitermelési hőfokkal egyezik meg, azaz 90°C. Az koncepcióban leírt módosított hőcserélő kapcsolást az eredetivel 17. ábra segítségével lehet összehasonlítani.

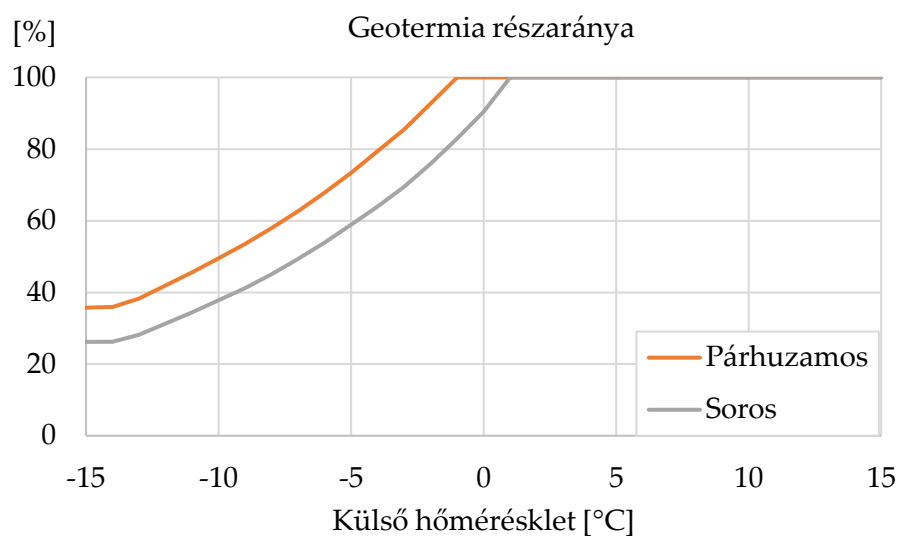


17. ábra: Hőcserélő soros és párhuzamos kapcsolások (saját szerkesztés)

A számítás eredményei biztatóak, első ránézésre nagy energiamegtakarítási potenciál rejtezik ezen javaslat mögött. A 24-25-ös diagramok közül mindkettőből arra lehet következtetni, hogy a gázfelhasználás csökkenése a geotermikus energia javára nagy mértékben megtörténik. A 100%-ban geotermikus teljesítményhez tartozó legalacsonyabb hőmérséklet is a korábbiakban elemzett esetekhez képest jelentős mértékben eltolódik.



24. diagram: Hőtermelők teljesítménye soros (eredeti) és párhuzamos hőcserélő kapcsolások esetén



25. diagram: A termálvíz teljesítményének részaránya az össz-fűtőművihez képest soros (eredeti) és párhuzamos kapcsolások esetén

Ebben a javaslatban a kiinduló állapothoz képest szintén nem történik energiamegtakarítás, azonban évente mintegy 1.879 GJ földgáz termálvizes kiváltására van lehetőség.

7. ENERGIAMEGTAKARÍTÁS

7.1. Kiértékelés, eredmények

A korszerűsítési javaslatok elemzése után elkészíthetővé váltak a fűtési energia-megtakarításra, a fölgázmennyiség kiváltására vonatkozó számítások. Ehhez természetesen először rögzíteni kellett a kiinduló állapot éves energiafogyasztását, mint referencia értéket. Ezután következhetnek a különböző felújítási javaslatok kalkulációi.

Az energiamegtakarítási számítások eredményei az egy fűtési szezon alatt megtakarítható energiamennyiségre, földgázfogyasztásra vonatkoznak. A kiszámításához összesen 2005-2021-ig 16 fűtési szezon napi külső átlaghőmérsékletét vettem alapul, melyet az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisa [31] biztosított számomra.

A kiválasztott évek mindegyikére kikalkuláltam a fűtési földgáz és termálvíz hőfogyasztásokat, majd ezek számtani átlagát képeztem. Ennek eredménye megtalálható a 11. táblázat első három sorában. Jobban szemügyre véve az éves energiafogyasztást, a felújítások jellege miatt elvárás, hogy az eredeti állapotban és a párhuzamosan kapcsolt esetben, valamint a másik két esetben is egymással megegyező értékeket lássunk, Megnyugtató, hogy minimális az eltérés közöttük (<0,25%). Ezt a hibát a modell viszi a rendszerbe, nagysága elfogadható.

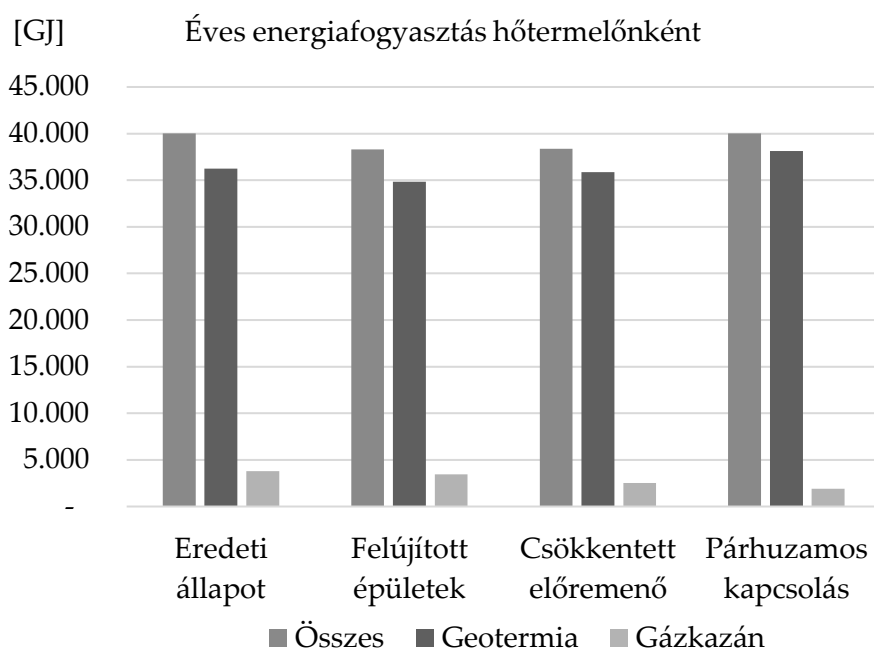
A táblázat oszlop elnevezéseinél az „Eredeti állapot” a felújítás nélküli esetre, a „Felújított épületek” az Észak 1/A fűtőmű 2-es és 3-as áramkör épületeinek teljes energetikai korszerűsítésnek esetére, a „Csökkentett előremenő” a 2-es és 3-as áramkörök előremenő hőmérsékletének csökkentésére, valamint a „Párhuzamos kapcsolás” az Észak 1/A fűtőmű termálvizes hőcserélőinek párhuzamosan kapcsolt esetére utalnak, ahogy azok **Hiba! A könyvjelző nem létezik.Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezetben sorban bemutatásra kerültek.

11. táblázat: A vizsgált felújítás opciók számított energiamegtakarításai, költségcsökkenései

		Eredeti állapot	Felújított épületek	Csökkentett előremenő	Párhuzamos kapcsolás
Éves energiafogyasztás	GJ/év	40 037	38 288	38 378	40 032
Energiafogyasztás - termál	GJ/év	36 239	34 832	35 849	38 119
Energiafogyasztás - gáz	GJ/év	3 798	3 456	2 529	19 13
Termálvíz hányad	%	90,5	91,0	93,4	95,2
Gáz hányad	%	9,5	9,0	6,6	4,8
Energiamegtakarítás - termál	GJ/év	-	1 408	390	-1 879
Energiamegtakarítás - gáz	GJ/év	-	342	1 269	1 885
Költségváltozás - termál	MFt/év	-	-10,94	-3,03	14,61
Költségváltozás - gáz	MFt/év	-	-6,71	-24,93	-37,03
Összes költségváltozás	MFt/év	-	-17,65	-27,96	-22,42

A táblázatban fontos az előjeleket jól értelmezni. Az energiamegtakarítás soraiban pozitív az előjel, ha ténylegesen energiamegtakarításról van szó, a költségváltozás esetében viszont akkor pozitív az előjel, ha a változtatás többlet költséget eredményez. Ezzel a módszerrel jól lehet szemléltetni a párhuzamos kapcsolás okozta gázfelhasználás kiváltásának hatását.

Szerepelnek a táblázatban továbbá az összes éves energiafogyasztás gázzal és termálvízzel előállított hányadai. A dolgozat céljai közt szerepelt olyan javaslatokat adni, amelyek segítségével a geotermikus részarány növelhető. Az utolsó két vizsgált esetben ezt jól látható módon sikerült elérni. Ennek szemléltetésére a 26. diagram szolgál.



26. diagram: Éves energiafogyasztás korszerűsítési javaslatonként, hőtermelőnként

Kiértékelésképpen sorba rendezve az összes költségváltozás (11. táblázat utolsó sora) szerint a korszerűsítési javaslatokat, látható, hogy az épületek felújításával kombinált csökkentett áramköri előremenő hőmérséklet esete a legkedvezőbb. Ez azért jelentős eredmény, mert a nála 10 MFt-os éves megtakarítási lehetőséggel lemaradó koncepcióhoz képest csupán a rendszer üzemelési paramétereit kell változtatni, fizikailag nem kell módosítást végrehajtani a rendszeren.

Ugyanakkor, ha figyelembe vesszük, hogy az épületek energetikai korszerűsítése önmagában óriási költség és tulajdonjogi problémák miatt a távhőszolgáltatónak egyébként is alacsony a hatásköre ezen a téren, akkor azonnal előtérbe kerül a hőcserélők párhuzamosítására vonatkozó javaslat. A benne rejlő megtakarítási potenciál szintén nem elhanyagolható, továbbá hatalmas előnye, hogy egy ilyen típusú kapcsolás módosítás a fogyasztóktól függetlenül már sokkal gördülékenyebben kivitelezhető.

7.2. Megjegyzések az energiamegtakarítás számításához

Mivel a felújítási javaslatok során csak az Észak 1/A fűtőmű különböző részeit módosítottam és ezek egyike sem érintette az Észak 1/B fűtőművet, így a cél minden esetben a korábbi rendszerben felhasználható geotermikus energiafelhasználás maximalizálása, az összes energiafelhasználás csökkentése volt, annak ellenére, hogy a gyakorlatban a szén-dioxid kvóta elkerülése miatt a termálvíz kihűtése elsősorban az utóbbi fűtőműben történik.

A számításokban 7 774 Ft/GJ termál és 19 650 Ft/GJ gáz fajlagos költségekkel számoltam. Állandó költséget nem vettem figyelembe, mivel az a Szegedi Távfűtő Kft. meglátása szerint a változó költséghez viszonyítva elhanyagolható mértékű, valamint saját véleményem szerint az nem biztos, hogy az adott átalakítás megvalósulása után valóban csökkenthető a szerződésben lekötött földgáz mennyiség, ami nagyban befolyásolja az állandó tagot.

Mivel a modellben azzal a feltételezéssel éltem, hogy a HMV termeléshez szükséges hőenergiát minden esetben a termálvíz biztosítja, így annak mennyiségét az energiamegtakarítási számítások nem tartalmazzák.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom bevezetéseként a távhőrendszerek fejlődésének folyamatát mutattam be a generációk kialakulása szerint. Az első távhőellátó rendszer már nagyon sok tulajdonságában különbözik egy mai követelményeknek megfelelő társától, azonban a legfontosabb eltérés az alkalmazott előremenő és visszatérő hőmérsékletekben van. Ez az a paraméter, amely az 1. generációs gőzfűtéstől a 4. generációs melegvízfűtésig folyamatosan, minden újítás alatt csökkent, és ez az a jellemző, amely nagyban befolyásolja a megújuló energiaforrások távhőellátó rendszerbe való integrálásának lehetőségét is. A különböző hőforrások kompatibilitási tulajdonságait tekintve az derült ki, hogy általában az alacsony hőmérsékletű hálózatokra való csatlakozás jöhet szóba és hogy a napi vagy szezonális hőtárolás szerepe is felértékelődik.

A szakirodalomkutatás további részeként ismertettem Magyarország geotermikus adottságait, részben kitérve a hazai távhőellátás kronológiai lépéseire, valamint a termálvizes távhőellátás néhány itthoni példájára. Sajnálatomra a győri és miskolci rendszerekről meglehetősen nehéz érdemi és épületgépészeti szempontból releváns információkra akadni.

Ezek után a Szeged területén üzemelő távhőrendszerekre nyújtottam betekintést felvezetve dolgozatom fő témáját, az Észak 1/A és Észak 1/B alrendszerek vizsgálatát és a rájuk épülő energetikai modell felépítését. A dolgozat megírásával töltött idő jelentős hányadát a valós rendszer működésének Excel számíttassá való leképezése tette ki. Ennek során mérési adatokat dolgoztam fel, valamint elkészítettem egy egyszerűsített kapcsolási sémát, melyet csomópontok bevezetésével a megfelelő cellahivatkozások felvételével és VBA kódok megírásával egy automatikusan működő statikus modellt hoztam létre, mellyel a rendszer bármely pontjának pillanatnyi hőmérséklet, tömegáram és teljesítmény adatait lehet számolni a külső hőmérséklet és egyéb beállítási paraméterek függvényében.

Értékelve a megalkotott modellt, elmondható, hogy az megfelelően és talán nem túlságosan egyszerű, ugyanakkor bizonyos tekintetben korlátos. A korlátossága elsősorban a hőcserélőkre vonatkozó számítások miatt alakult ki, mivel a valóságban azok minden paramétere változhat (hőmérsékletek, térfogatáramok), azonban az adatbázist alkotó esetszámok lecsökkentése érdekében kénytelen voltam bizonyos paramétereket rögzíteni. Ennek eredményeképpen, ha ugyan korlátos módon is, de érdemi vizsgálatokat lehetett végezni.

A későbbiekben a meglévő átalakításával különböző felújítási javaslatokra készítettem további Excel számításokat. Ezeket röviden bemutattam, majd a kapott energiamegtakarításra vonatkozó eredményeket kiértékeltem. A korszerűsítési opciók közül egy, az áramkörök egymás utáni sorba kapcsolása nem hozott egyedül kedvező eredményt. A maradék három esetben azonban biztató energiamegtakarítási potenciál mutatkozott meg.

Összefoglalva elmondható, hogy egy rendkívül aktuális és műszaki szempontból érdekes feladatot sikerült kitűzni, amely rengeteg kihívást rejtett, ugyanakkor sok tapasztalatszerzési lehetőséget is nyújtott. Úgy gondolom, hogy az elvégzése során szerzett tudást a későbbiekben mindenképpen fogom tudni kamatoztatni.

9. SUMMARY

Keywords: *geothermal district heating, model, energy saving.*

As an introduction to my thesis, I have presented the evolution of district heating systems. The first district heating system already differs in many features from its modern counterpart, but the most important difference is in the supply and return temperatures used. This is a parameter that has been steadily decreasing under each innovation from 1st to the 4th generation, and it is also the barrier that has a major impact on the possibility of integrating renewables into district heating systems. As regards the compatibility characteristics of the different heat sources, it was found that in almost every case the only option is to connect to a low temperature system and that the role of daily or seasonal heat storage is also becoming important.

As a further part of the literature search, I described the geothermal potential of Hungary, partly covering the chronological steps of domestic district heating supply and some examples of thermal water district heating in Hungary. I regret to say that it is rather difficult to find substantial and relevant information on the systems in Győr and Miskolc.

Furthermore, I gave an insight into the district heating systems in Szeged and outlined the main topic of my thesis, the analysis of the North 1/A and North 1/B subsystems and the energy model based on them. In writing the thesis, I spent considerable time building the topology of the model in Excel. This involved processing measured data and creating a simplified schematic circuit, introducing nodes, including the relevant cell references and writing VBA code to create an automatically operating static model that can be used to calculate the temperature, mass flow and power of any point in the system as a function of the external temperature.

Evaluating the model created, it can be said that it is adequate and perhaps not overly simple, but at the same time it is limited in some respects. Its limitation is mainly due to the calculations for heat exchangers, since in reality all their parameters can vary (temperatures, flow rates), but in order to reduce the number of cases in the database I have had to fix certain parameters. As a result, it was possible, albeit in a limited way, to carry out meaningful studies.

Subsequently, I made further Excel calculations for various renovation proposals by adapting the existing one. These were briefly presented and the results obtained for energy savings were evaluated. Only one of the retrofit options, the sequencing of the circuits, did not yield the favourable result. However, the remaining three showed promising energy saving potential.

In summary, a very topical and technically interesting task was set, which presented many challenges but also many opportunities for learning. I believe that the knowledge I have acquired during this project will definitely be of use to me in the future.

10. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] „Az Európai Parlament és a Tanács 2018/2001 Irányelve a megújuló energiaforrásokból előállított energia használatának előmozdításáról (átdolgozás)”. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- [2] A. R. Mazhar, S. Liu, és A. Shukla, „A state of art review on the district heating systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, köt. 96. Elsevier Ltd, o. 420–439, nov. 01, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.08.005.
- [3] U. Persson és S. Werner, „Heat distribution and the future competitiveness of district heating”, *Appl Energy*, köt. 88, sz. 3, o. 568–576, 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.09.020.
- [4] SZETÁV Kft., „A-SZEGEDI-TAVFUTES-GEOTERMIKUS-ATALAKITASA”, Elérés: dec. 16, 2022. [Online]. Available: <https://szetav.vercel.app/>
- [5] Szegedi Távfűtő Kft., „Switching the district heating of Szeged to geothermal”. <https://szetav.vercel.app/> (elérés jan. 09, 2023).
- [6] H. ; Averfalk, S. ; Werner, C. ; Felsmann, K. ; Rühling, R. ; Wiltshire, és S. Svendsen, „Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating: Systems Annex XI final report”, 2017.
- [7] H. Lund és mtsai., „Perspectives on fourth and fifth generation district heating”, *Energy*, köt. 227, júl. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120520.
- [8] H. Fang, J. Xia, és Y. Jiang, „Key issues and solutions in a district heating system using low-grade industrial waste heat”, *Energy*, köt. 86, o. 589–602, jún. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.04.052.
- [9] B. Yang, Y. Jiang, L. Fu, és S. Zhang, „Experimental and theoretical investigation of a novel full-open absorption heat pump applied to district heating by recovering waste heat of flue gas”, *Energy Build*, köt. 173, o. 45–57, aug. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.05.021.
- [10] U. Persson és S. Werner, „District heating in sequential energy supply”, *Appl Energy*, köt. 95, o. 123–131, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.02.021.
- [11] D. Lee és mtsai., „Peak load shifting control on hot water supplied from district heating using latent heat storage system in apartment complex”, *Case Studies in Thermal Engineering*, köt. 34, jún. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.101993.
- [12] J. W. Lund, G. W. Huttner, és A. N. Toth, „Characteristics and trends in geothermal development and use, 1995 to 2020”, *Geothermics*, köt. 105, nov. 2022, doi: 10.1016/j.geothermics.2022.102522.
- [13] ENERGY.GOV, „Types of Geothermal Heat Pump Systems”. <https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps> (elérés jan. 03, 2023).
- [14] P. Ottlik, „GEOTHERMAL EXPERIENCE IN HUNGARY”, 1988.

- [15] Szolga K és Kocsis D, „Geotermikus energia korszerű felhasználása Nagyszénás településen (Esettanulmány) Modern Use of Geothermal Energy in Nagyszénás (Case Study)”, *International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS)*, köt. 7, sz. 3, 2022, doi: 10.21791/IJEMS.2022.3.10.
- [16] Z. Ferenc, „A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon”.
- [17] A. Nyikos és A. N. Tóth, „A geotermikus energia szerepe a magyar hőellátásban”, *Magyar Tudomány*, dec. 2019, doi: 10.1556/2065.180.2019.12.3.
- [18] P. , D. D. és L. L. Dövényi, „Magyarország geotermikus energia-potenciáljának feltérképezése a felhasználás növelése érdekében. Hőmérsékleti viszonyok. Jelentés a Környezetvédelmi Alap Célelőirányzat részére.”, Budapest, 2001.
- [19] J. W. Lund és A. N. Toth, „Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review”, *Geothermics*, köt. 90, febr. 2021, doi: 10.1016/j.geothermics.2020.101915.
- [20] J. Szanyi, A. Nádor, és T. Madarász, „A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében”, *Földtani Kozlony*, köt. 151, sz. 1, o. 79–102, 2021, doi: 10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.79.
- [21] Döbrössy Iván, „Szentes: elkészült a város 34. termálkútja”, *Földhő Hírlevél* évf., köt. 13. évf., sz. 52-53., o. 12–13, 2016, Elérés: jan. 09, 2023. [Online]. Available: https://epa.oszk.hu/02200/02265/00042/pdf/EPA02265_foldho_hirlevel_52-53_2016_januar.pdf
- [22] Szita Gábor, „Geotermikus gyorsítás – Előadás, MMK Geotermikus Szakosztály Szakmai NapVeresegyházon”, 2014. Elérés: jan. 09, 2023. [Online]. Available: http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/201406/szitagabor_eloadasa_20140529.pdf
- [23] Szőke Szabolcs, „Veresegyház új termelő kút, új fogyasztók”, *Földhő Hírlevél*, köt. 13. évf., sz. 52–53, o. 8–9, 2016, Elérés: jan. 09, 2023. [Online]. Available: https://epa.oszk.hu/02200/02265/00042/pdf/EPA02265_foldho_hirlevel_52-53_2016_januar.pdf
- [24] T. József, „A HÓDMEZŐVÁSÁRHELYI GEOTERMIKUS KÖZMŰRENDSZER HÉVÍZVISSZASAJTOLÁSI TAPASZTALATAI”.
- [25] Ádók János, „Geotermikus fűtési rendszerek - egy működő rendszer tapasztalatai - Előadás”, 2013. <https://docplayer.hu/11046535-Geotermikus-futesi-rendszerek-egy-mukodo-rendszer-tapasztalatai.html> (elérés jan. 04, 2023).
- [26] Dr. Szimon Ildikó, „Távhő projektek innen-onnan”, *Földhő Hírlevél*, köt. 18. évf., sz. 73/2, o. 10–11, 2021, Elérés: jan. 09, 2023. [Online]. Available: https://epa.oszk.hu/02200/02265/00062/pdf/EPA02265_foldho_hirlevel_73_2021_02.pdf
- [27] Szegedi Távfűtő Kft., „Távhőszolgáltatás története Szegeden”, 2022. <https://szetav.hu/a-tavfutesrol/> (elérés jan. 05, 2023).

- [28] Szeged 365 - Dr. Kóbor Balázs, „Exkluzív interjú Kóbor Balázzsal, Szeged legkiválóbb geotermikusával!”, Szeged, 2022. Elérés: jan. 05, 2023. [Online]. Available: Exkluzív interjú Kóbor Balázzsal, Szeged legkiválóbb geotermikusával!
- [29] B. Ádám, J. Szanyi, A. Bencsik, G. Bozsó, és Z. Pinjung, „A decentralizált geotermikus hőellátás és a hőszivattyúzás aktuális kérdései”, *Magyar Tudomány*, dec. 2019, doi: 10.1556/2065.180.2019.12.7.
- [30] Osvald M. – Szanyi J. – Medgyes T. et al., „Geothermal Energy Developments in the District Heating of Szeged”, *European Geologist*, sz. 43, o. 30–33, 2017, Elérés: jan. 05, 2023. [Online]. Available: <https://eurogeologists.eu/european-geologist-journal-43-osvald-geothermal-energy-developments-in-the-district-heating-of-szeged/>
- [31] OMSZ, „ Meteorológiai Adattár”. <https://odp.met.hu/climate/> (elérés jan. 09, 2023).