

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

MUCSI MIHÁLY
TDK DOLGOZAT

Szegedi fosszilis és megújuló energiaforrással rendelkező táv-
hőellátó rendszer modellezése

Konzulens:

Kalmár László

Energetikai referens
SZETÁV Kft.

Témavezető:

Dr. Bokor Balázs

Egyetemi adjunktus
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem

Budapest, 2022

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Bokor Balázs egyetemi adjunktusnak a TDK dolgozat elkészítésében nyújtott segítségéért. Időt és fáradságot nem kímélve kérdéseim esetén azonnal rendelkezésre állt, megkönnyítve a munkám. Továbbá szeretnék köszönetet mondani Kalmár Lászlónak a Szegedi Távfűtő Kft. munkatársának, aki rugalmasságával és segítőkészségével szintén nagyban hozzájárult a feladat elkészüléséhez.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	3
2. Észak 1/A, Észak 1/B alrendszerek ismertetése.....	4
2.1. Közös jellemzők	4
2.1.1. A hőközpontok.....	4
2.1.2. Elosztóhálózatok	5
2.2. A mélygeotermikus termálvíz csatlakozása	6
3. A modell.....	7
3.1.1. A modellalkotás célja	7
3.1.2. A modell felépítése	7
3.1.3. Hőteljesítmény-igény számítás	10
3.1.4. Áramköri előremenő menetrend és tömegáram meghatározása	11
3.1.4.1. Tömegáram osztás	13
3.1.5. HMV termelés	14
3.1.6. Mellékszámítások	14
3.1.7. Szivattyú menetrendek	15
3.1.8. Áramköri visszatérő hőmérsékletek meghatározása.....	16
3.1.9. Hőcserélők	16
3.1.10. Alkalmazott egyszerűsítések	20
3.1.10.1. Hővesztések elhanyagolása.....	20
3.1.10.2. HMV előállítás.....	21
3.1.10.3. Azonos áramköri menetrendek alkalmazása	21
3.1.10.4. Hidraulika elhagyása	21
3.1.10.5. Statikus állapot	21
3.1.11. A modellt tartalmazó Microsoft Excel file felépítése	22
4. Optimális üzemelési paraméterek keresése.....	23
4.1. Az optimalizáció	23
4.2. Hőcserélő teljesítmények vizsgálata	25
5. Összefoglalás	27

* * *

1. BEVEZETÉS

Jelen dolgozat témája kettő összetartozó, Szeged város területén található távhő alrendszer vizsgálata. 2018-2019-ben geotermikus kút fúrásával egy új, közös hőforrást csatlakoztattak a rendszerekhez, amely 90°C-os termálvizével kiváltja a meglévő gáztüzelésű kazánok teljesítményének jelentős hányadát. Ez önmagában már fontos lépés a napjainkban egyre drágábbá váló fosszilis energiahordozó fogyasztásának csökkentésére, azonban a termálvízből kinyerhető hő maximalizálása érdekében érdemes további vizsgálatokat, rendszer optimalizációt, átalakítást végezni.

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 lenne, nem beszélve a környezetre gyakorolt pozitív hatásáról.

2. ÉSZAK 1/A, ÉSZAK 1/B ALRENDSZEREK ISMERTETÉSE

2.1. Közös jellemzők

Mindkét alrendszer és a hozzájuk kapcsolódó távfűtőhálózat az 1970-80-as években épült. 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:

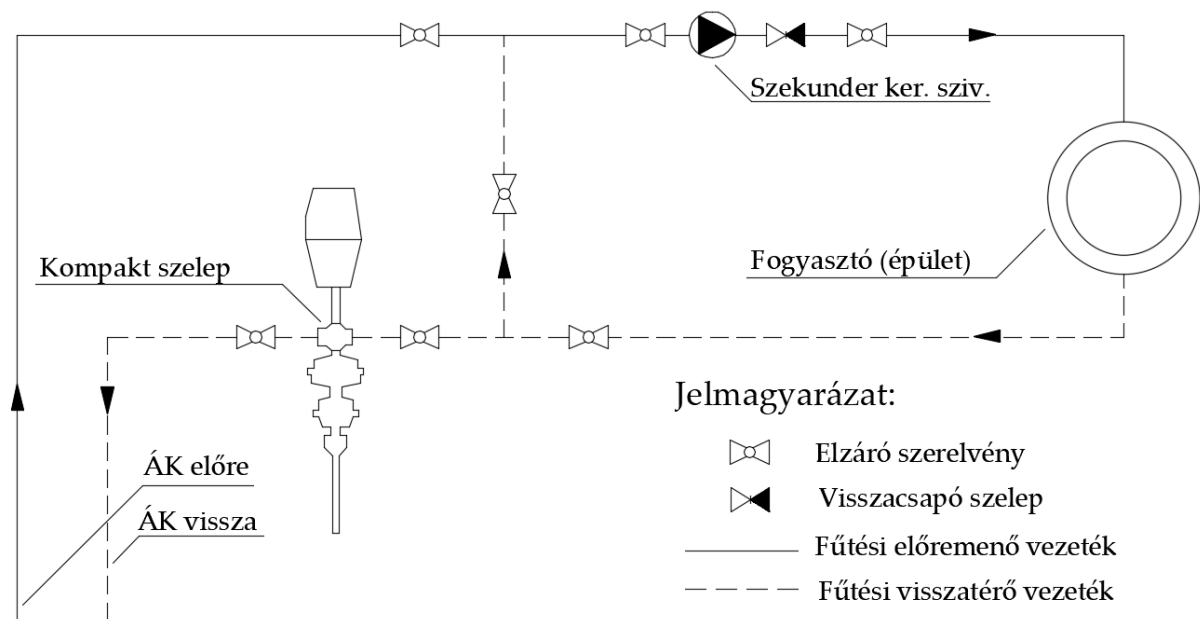
- teljes hőszigetelés,
- részleges hőszigetelés,
- ablakcsere,
- költségosztó beszerelése,
- termosztatikus radiátor szelep beépítése.

Ezen felújítások opciók meglétének hatása egyértelműen kimutatható az épületek fűtött légköbétére vonatkozó fajlagos hőfogyasztások vizsgálatával. Azon épületek fajlagos fogyasztása, melyek semmilyen vagy maximum egy típusú felújításon estek át $0,2 - 0,24 \text{ GJ/lm}^3/\text{év}$; amelyeknél 2-3 felújítás megvalósult, azok $1,2 - 0,2 \text{ GJ/lm}^3/\text{év}$; és amelyek esetében minden opció megvalósult nagyjából $0,07 - 0,12 \text{ GJ/lm}^3/\text{év}$ a jellemző érték.

A hőszigetelési munkálatok energiafelhasználás 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.

2.1.1. 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 általánosan jellemző hőközponti kapcsolás az 1. ábrán látható.



1. ábra: Általános hőközponti kapcsolás

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 1. ábrán látható kompakt szelep egyben látja el a nyomáskülönbség-szabályozási illetve a tömegáram-szabályozási funkciókat.

2.1.2. ELOSZTÓHÁLÓZATOK

A négycsöves kialakítás jellemző a vizsgált rendszerekre, 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 figyelhető meg.

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

2.2. A mélygeotermikus termálvíz csatlakozása

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 kWm az Észak 1/B fűtőmű 20 000 kW fűtési teljesítményre képes.

2018-ban SZETÁV Kft. a Geo Hőterm Kft. és a Nemzeti Fejlesztési Programiroda Kft. konzorciumában a távhőszolgáltató 9 db 1700-2000m mély geotermikus kút fúrására nyert pályázatot. Ezek közül egy az Észak 1/A és Észak 1/B 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 hőátvételtől, és azt csak a másikon keresztül valósítsuk meg, ahogy ez a gyakorlatban elő is fordul.

3. A MODELL

3.1.1. A MODELLALKOTÁS CÉLJA

Jelen dolgozat egy, a vizsgált rendszerek főbb tulajdonságait és működési paramétereit megtartva ú. n. kezdeti modell megalkotására törekszik.

A modell létrehozásának célja a vizsgált rendszerek - elsősorban energetikai szempontból 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.

3.1.2. A MODELL FELÉPÍTÉSE

A modellben alkalmazott egyszerűsített kapcsolat a 2. ábrán található.

A modell felépítése a rendszer két oldal felőli megközelítése alapján történt. Az egyik kiindulási pont a hőfogyasztók (H-pontok) oldala, a másik pedig 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 (a 3.1.3-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 vezetékcsomáig.

Ezek alapján tehát az igény oldal teljesítményben kiszámításra került, azonban a geotermikus energia maximális kihasználhatósága végett elengedhetetlen szempont 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 (4.4.4-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 (3.1.4-es pont).

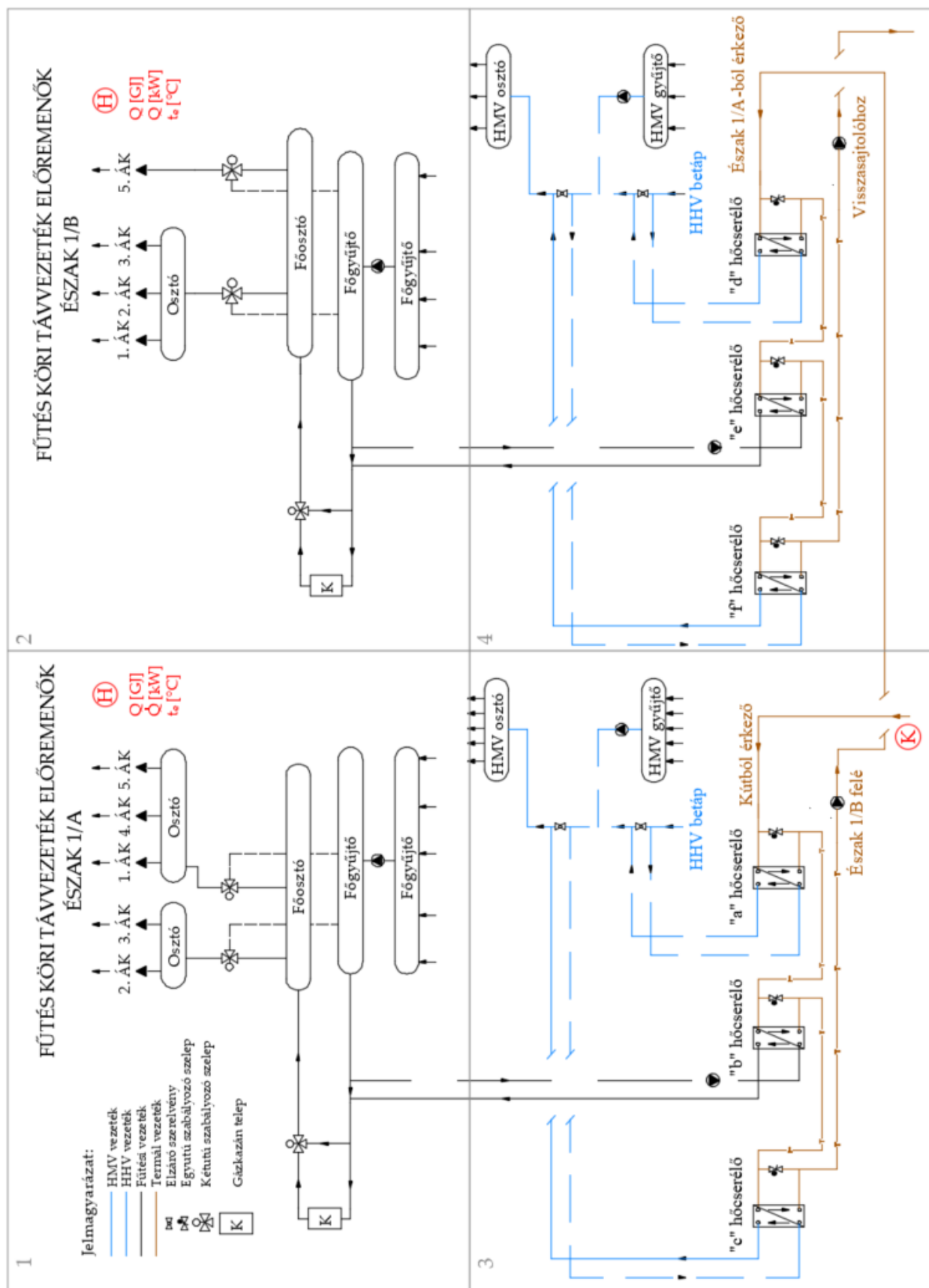
Az adott áramkörre értelmezett hőtéljesítmény-igény, az előremenő hőmérséklet és a tömegáram ismeretében számíthatók az áramköri visszatérő hőmérsékletek is. Mivel az áramkörök mind az Észak 1/A, mind az Észak 1/B esetében közös gyűjtőre csatlakoznak, ezért egy keveredési pontot felvéve a modellben megkapjuk, 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 kétutús 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 2. ábra mutatja be részletesen.

A modell szempontjából nem jelentős az a tény, hogy a geotermikus hőforrás mellett hőtermelés több gázkazánnal történik, ezért az egyszerűségekre való törekvés érdekében egy kazánteleppel lehet helyettesíteni ezen berendezéseket.



2. ábra: Észak 1/A és Észak 1/B hőközponti kapcsolások a modellben

3.1.3. HŐTELJESÍTMÉNY-IGÉNY SZÁMÍTÁS

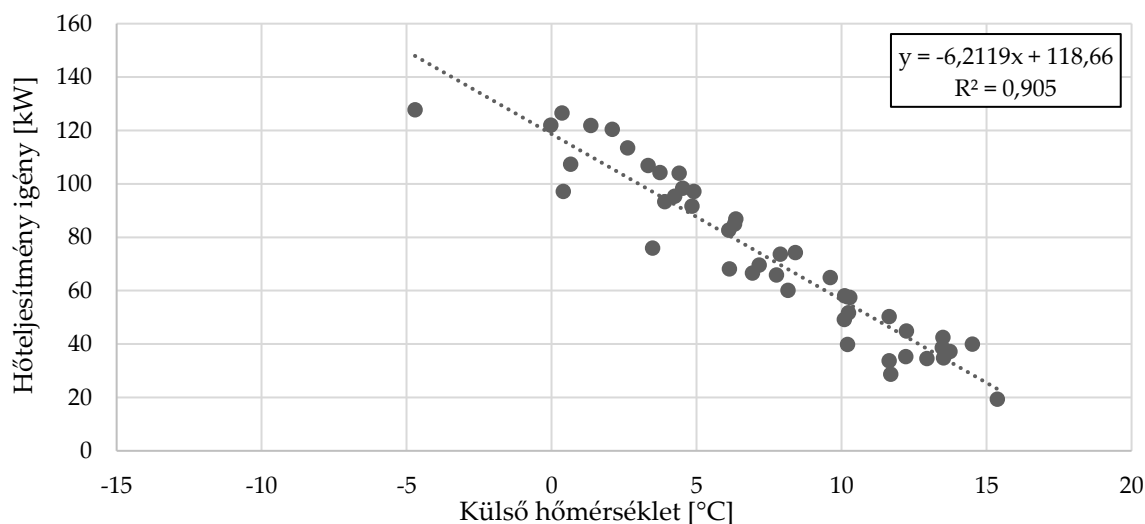
A hőteljesítmény-igény számítása épületszinten történt. A rendszer minden épületének hőfogyasztása közvetlenül mért, és a 2015-16-os fűtési szezon óta rögzítésre került, havi bontásban. A hőfelhasználás mellett az ismert adatok között szerepel még az adott hónaphoz tartozó átlagos külső hőmérséklet és 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 ($Q_{i,hónap}$), fűtött napok számának ($N_{i,fűtött}$) és az átlagos külső hőmérséklet ismeretében (t_k) hőteljesítmény igény meghatározása, az alábbi összefüggés segítségével:

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

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.

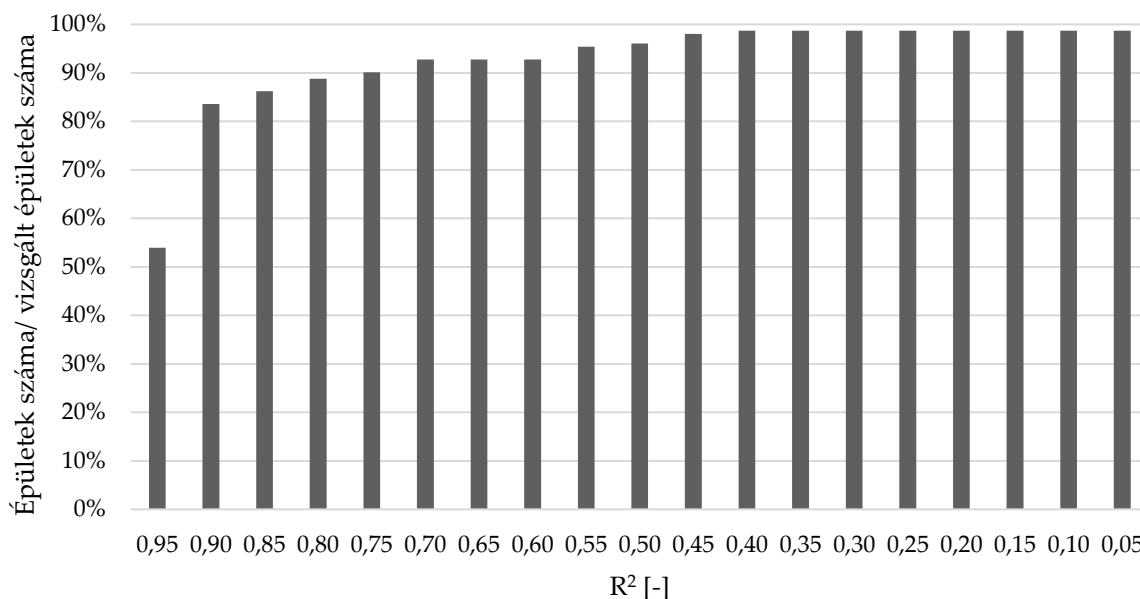
Példaként az 1. diagram szolgál.



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.



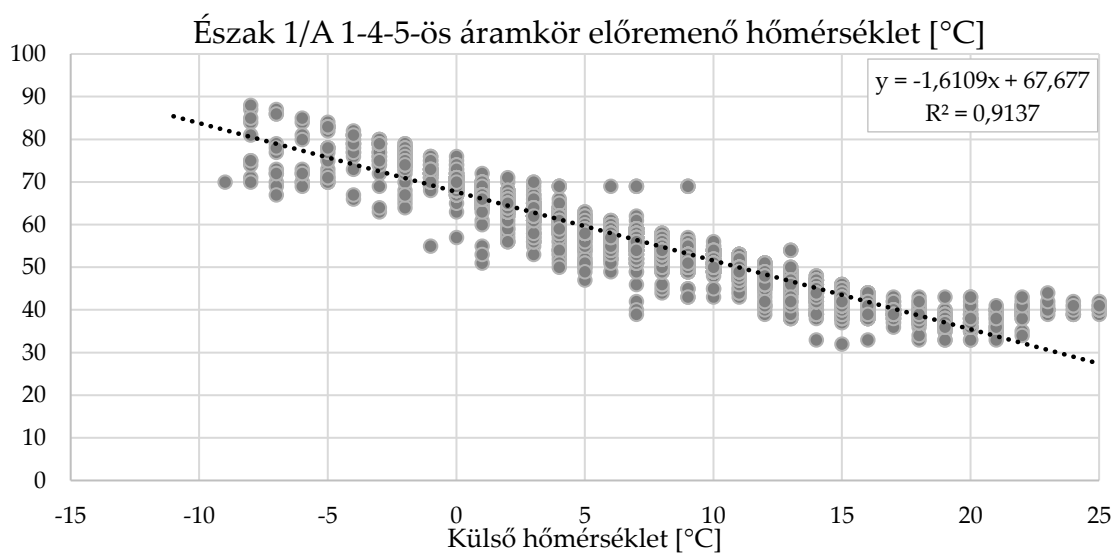
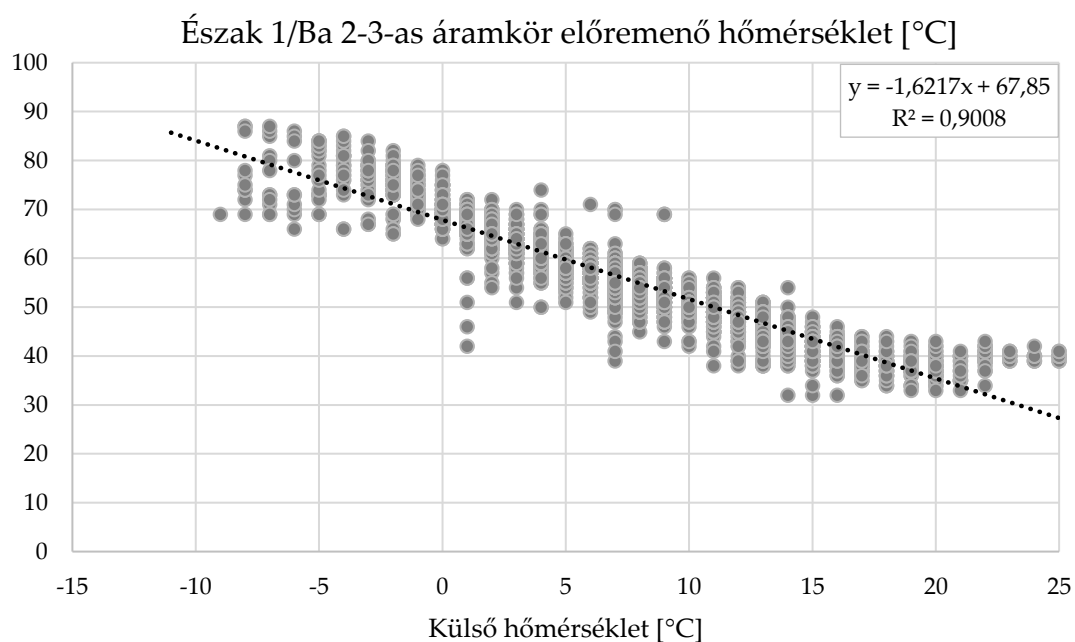
2. diagram: Adott korrelációs értéket meghaladó épületek százalékos aránya

3.1.4. ÁRAMKÖRI ELŐREMENŐ MENETREND ÉS TÖMEGÁRAM MEGHATÁROZÁSA

Az áramköri előremenő hőmérséklet menetrend meghatározására a 2020-2021-es fűtési szezon mérési adatai álltak rendelkezésre. Az áramlás irányát tekintve közvetlenül a beszállító 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 (3. ábra), ennek megfelelően a kiindulási hőfokuk is azonos.

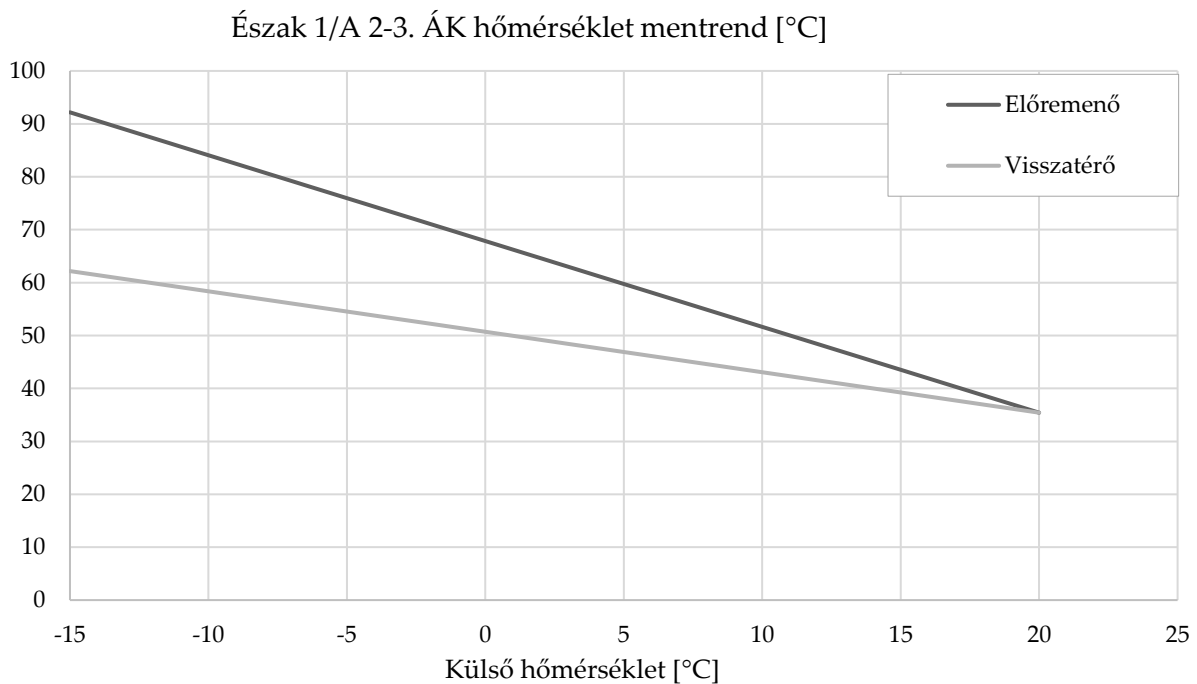
Az áramköri mérési adatok a külső hőmérséklet függvényében ábrázolva a 3. diagramban található. A pontokra illesztett egyenesek egyenletei adták a fűtési körök előremenő hőmérsékleteit a modellben. Észrevehető, hogy az épületek nagy száma miatt a két egyenlet között elhanyagolható az eltérés, így a továbbiakban 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:

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



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 áramörökön egyidejű minőségi és mennyiségi szabályzás történik. A minőségi szabályzás meghatározására tehát a fentiek alapján meghatározott előremenő menetrendek kerültek felhasználásra, valamint a visszatérő menetrendre mérési adatok híján az 4. diagramban található közelítéssel éltem.



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

Mivel az Észak 1/B fűtőmű esetében nem állt rendelkezésre az épületek hőfelhasználásról szóló hasonló mérési adatsor, ezért annál a rendszernél is a 4. diagram hőmérséklet menetrendjei kerültek felhasználásra.

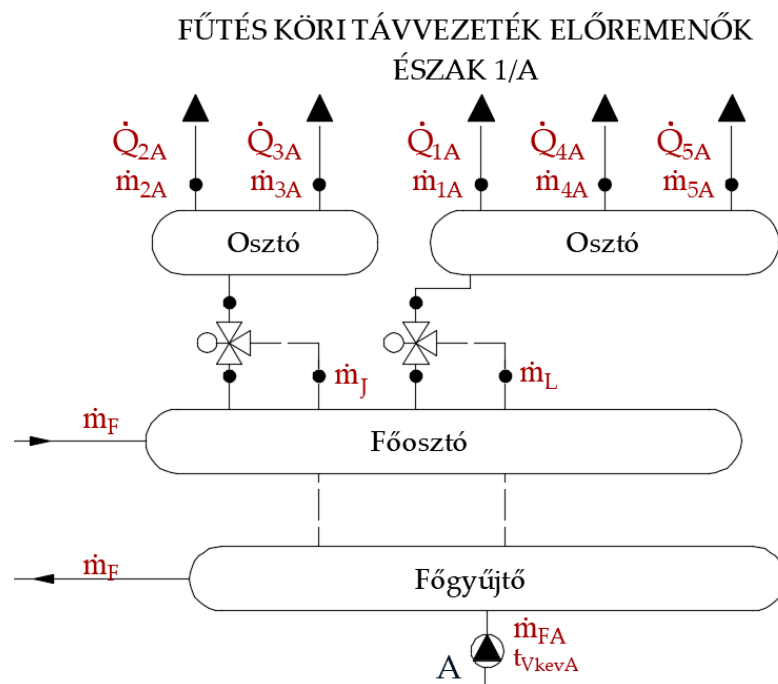
3.1.4.1. Tömegáram osztás

Ebben a bekezdésben tekintsük a 3. ábrát. A fő fűtőköri keringtető szivattyú (A) tömegáramát ($\dot{m}_{FA}$) a modellnek valamilyen összefüggés szerint szét kell osztania az egyes áramkörök részére. Ez a hőteljesítmény igények arányában történik meg, az alábbi összefüggés szerint.

Példa: 2-es áramkör tömegáramának meghatározása.

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{Q}_{2A}}{\dot{Q}_{1A} + \dot{Q}_{2A} + \dot{Q}_{3A} + \dot{Q}_{4A} + \dot{Q}_{5A}}$$

ahol $\dot{Q}_{iA}$ az „i” áramkör adott külső hőmérséklet mellett meghatározott hőteljesítmény igénye.



3. ábra: Áramkörü előremenő hőmérséklet beállítására szolgáló kapcsolás

3.1.5. 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

3.1.6. MELLÉKSZÁMÍTÁSOK

A modell számos alkalommal végez mértékegység átváltást, leggyakrabban m³/h és kg/s között, melyhez elengedhetetlenül szükséges a sűrűség-hőmérséklet függvény ismerete, illetve hasonló módon sokszor előkerül a szintén hőmérsékletfüggő fajhő meg-

határozása is. Mivel a programnak automatikusan kell tudni ezeket meghatározni, hiszen minden részeredményénél ezeket kézzel megadni nagyon hosszadalmas folyamat lenne, ezért két darab egyedi polinom függvényt építettem be a modellbe az alábbiak szerint.

Fajhő:

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

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

Sűrűség:

$$\rho = 1001.1 - 0.0867 \cdot t_{\text{közeg}}^1 - 0.0035 \cdot t_{\text{közeg}}^2$$

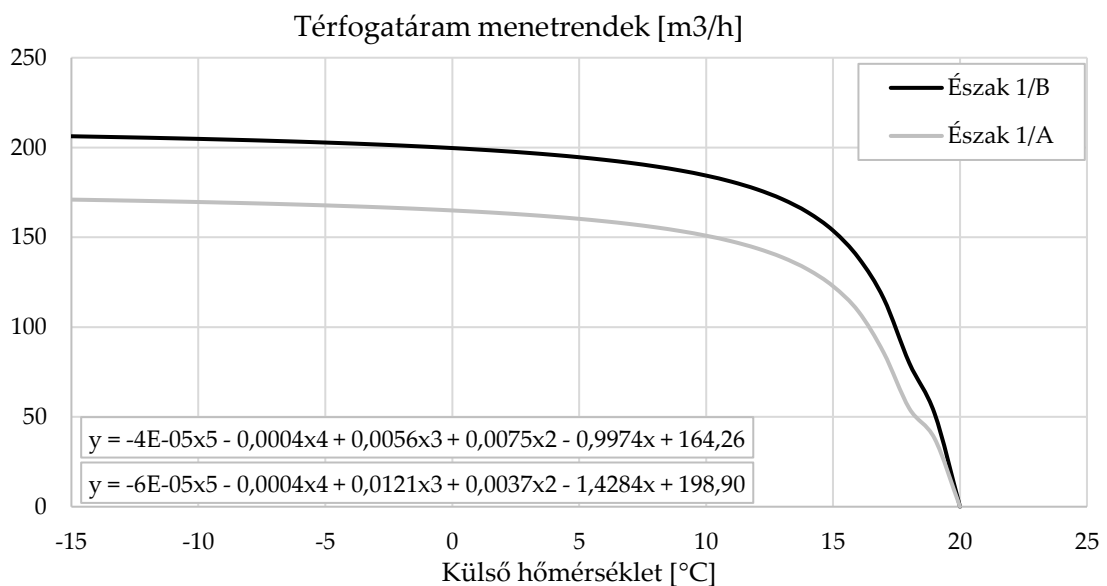
$$[\rho] = \text{kg/m}^3$$

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

3.1.7. SZIVATTYÚ MENETRENDEK

Az Észak 1/A fűtőmű áramköreinek keringtetéséről egy Grundfos NK 150-315/295 típusú szivattyú gondoskodik. Frekvenciaváltó segítségével 100-250 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 tudó szivattyútelepnek feltételeztem.

Mérési adat csupán a szivattyút meghajtó váltakozó áram frekvenciájáról állt rendelkezésre, amelyből nehezen lehet következtetni a térfogatáram külső hőmérséklet függésére. A modellbe illesztés során emiatt számításra volt szükség, a 4. diagram hőmérséklet menetrendje és a hőtéljesítmény-igény ismeretében kerültek meghatározásra a térfogatáram menetrendek.



5. diagram: A modellben alkalmazott térfogatáram menetrendek

További két szivattyú került felvételre a számítási modellben, melyek a két fűtőmű fűtési termál hőcserélő szekunder (fűtőművi) oldalán találhatók (SZ5, SZ6 jelűek). Ezek beépített fordulatszám szabályozóval rendelkeznek, azonban a hőcserélők munkapontjainak felvételekor az esetszám lecsökkentése érdekében egyszerűsítésképpen a névleges üzemállapotuk szerint állandó (120 m³/h) a térfogatáramuk.

3.1.8. ÁRAMKÖRI VISSZATÉRŐ HŐMÉRSÉKLETEK MEGHATÁROZÁSA

Az modellalkotás egyik fő célja, hogy megfelelő becslést adjon az áramköri visszatérő hőmérsékletek értékére, hiszen ez nagy mértékben meghatározza azt, hogy a felszín alól érkező vizet milyen mértékben képes a rendszer kihűteni, azaz

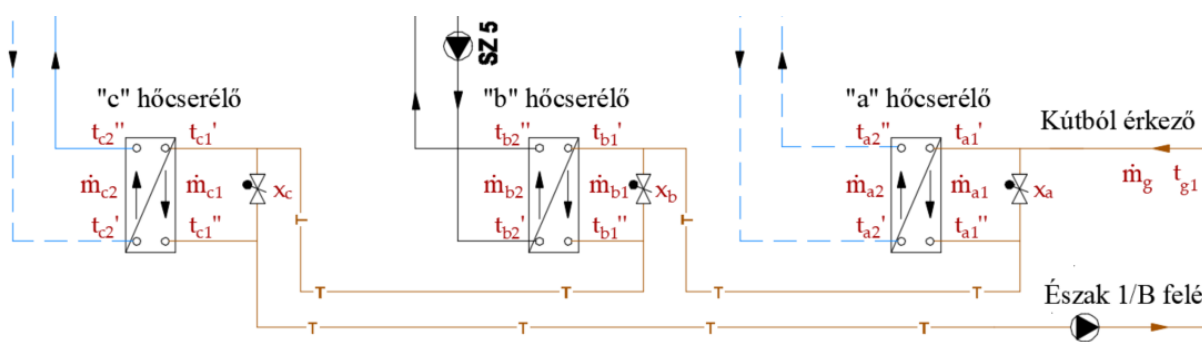
3.1.9. HŐCSERÉLŐK

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 Észak1/B fűtőműhöz, ahol a hőcserélők sorrendje az imént felsorolttal azonos.



4. ábra: Észak 1/A termálvíz hőátvétel hőcserélő kapcsolás

A hőcserélőkön átadott teljesítmény szabályzásáért a primer (termál) oldalon található egyutú 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 geotermikus kitermelés térfogatárama nyári időszakban körülbelül $50 - 60 \text{ m}^3/\text{h}$, fűtési időszakban $90 \text{ m}^3/\text{h}$, hőmérséklete állandó, 90°C . A hőcserélők sorban kapcsolnak, de megkerülési lehetőség van beépítve, így a kitermeléshez képest csökkenthető a berendezéseken ténylegesen átfolyó geotermikus víz tömegárama.

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:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot |t_1'' - t_1'|$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot |t_2'' - t_2'|$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$$

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

A megoldás során fennáll a probléma, hogy a $\Delta t_{\ln}$ 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: $k = f(\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dots)$, 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 hőcserélők modellhez szükséges üzemviteli értékei egy általuk 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 betáplálásával adja meg a szoftver a meghatározandó paramétereket, amennyiben a bemeneti adatok számára értelmezhető eredményt adnak. Megbecsültem, hogy körülbelül milyen értékeket vehet fel 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

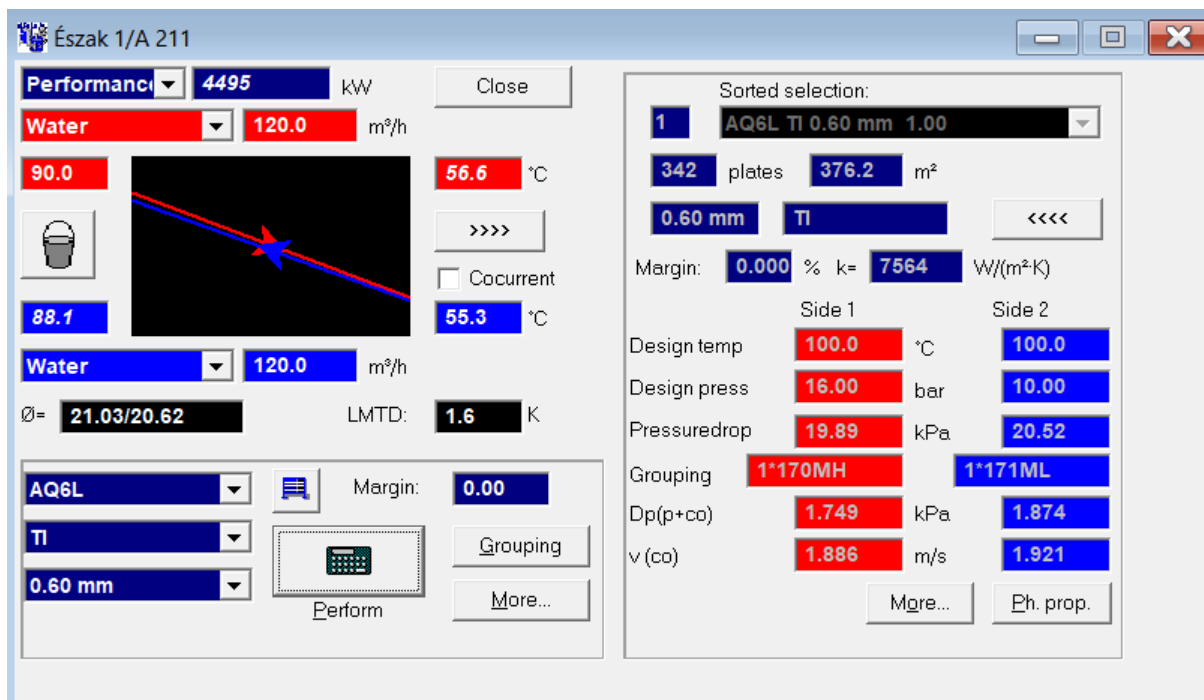
Hőcserélő jele	$\dot{V}_1$ [m ³ /h]	F.s. [m ³ /h]	t ₁ ' [°C]	F.s. [°C]	t ₁ '' [°C]	$\dot{V}_2$ [m ³ /h]	t ₂ ' [°C]	F.s. [°C]	t ₂ '' [°C]	Összes esetszám
"a"	0-26	1	90	-	Sz.é.	38	Sz.é.	-	50	26
"b"	0-120	10	50-90	5	Sz.é.	120	35-80	5	Sz.é.	1170
"c"	0-120	5	30-90	5	Sz.é.	6,3	10	-	Sz.é.	169
"d"	Sz.é.	-	50-90	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, de nem a közvetlenül felbontásban szereplő adatok közötti értékek lineáris interpolációval kerülnek meghatározásra a modellben, és ezeket az erre kijelölt munkalapokon adatbázisként tartalmazza az számításra létrehozott excel file. 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, azonban a rendszer különböző üzemviteli állapotainak összehasonlítására továbbra is alkalmas a modell.

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 ugyanolyannak feltételeztem. A 2. táblázat teljesítmény adatai alapján ez egy megfontolt egyszerűsítés.



5. 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 $50^\circ\text{C} < t'_1 < 90^\circ\text{C}$, $0 \text{ m}^3/\text{h} < \dot{V}_1 < 120 \text{ m}^3/\text{h}$, $35^\circ\text{C} < t'_1 < 80^\circ\text{C}$. 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 5. 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 találhatók, melyek közül a felület, a hőátbocsátási tényező, a nyomásesések, valamint a teljesítmény került még kigyűjtésre minden esetben.

3.1.10. ALKALMAZOTT EGYSZERŰSÍTÉSEK

3.1.10.1. Hővesztések elhanyagolása

A modell felépítése során nem kerültek figyelembevételre a hálózat elosztási hővesztései, melynek oka, hogy a hálózat felújítása, hőszigetelés minőségének javítása nem szerepel a felújítási javaslatok között, így minden vizsgált esetben nagyjából hasonló mértékű a hővesztesség. További okot ad az elhanyagolásra az is, hogy az áramköri

előremenő hőmérséklet menetrendek tényleges mérési adatsoron alapulnak, amely így direkt módon meghatározza a szükséges értékeket.

3.1.10.2. 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 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.

3.1.10.3. 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.

3.1.10.4. Hidraulika elhagyása

Egy folyamat során megfigyelhető hőtani és a 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.

3.1.10.5. Statikus állapot

A valóságban a távhűtő rendszerek 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 érdemes az időbeliséget elhagyni, és csak statikus állapotban vizsgálni, hiszen így jóval egyszerűbbé válik a feladat, ám mégis értékelhető eredményeket lehet kapni, ha megfelelő módon értelmezzük azokat.

3.1.11. 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 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 by-pass szelepek nyitásának mértéke, kitermelt termálvíz térfogatárama stb.), és itt olvashatók ki a számítás eredményei is (pl.: hőcserélők hőmérsékletei, teljesítmények stb.).

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 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 többnyire 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.

4. OPTIMÁLIS ÜZEMELÉSI PARAMÉTEREK KERESÉSE

4.1. Az optimalizáció

Az optimalizációnak célja, hogy segítségével feltárássra kerüljön az adott külső hőmérséklethez tartozó, geotermikus részarány tekintetében a legjobb rendszerbeállítás. Megvalósítása bizonyos paraméterek rögzítése mellett (5. táblázat) a vizsgált paraméterek változtatásával történt (6. táblázat).

5. 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	

6. 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	72-90	1	m ³ /h
"e" hőcserélő pr. térfogatáram	0-90	5	m ³ /h
"f" hőcserélő pr. térfogatáram	72-90	1	m ³ /h

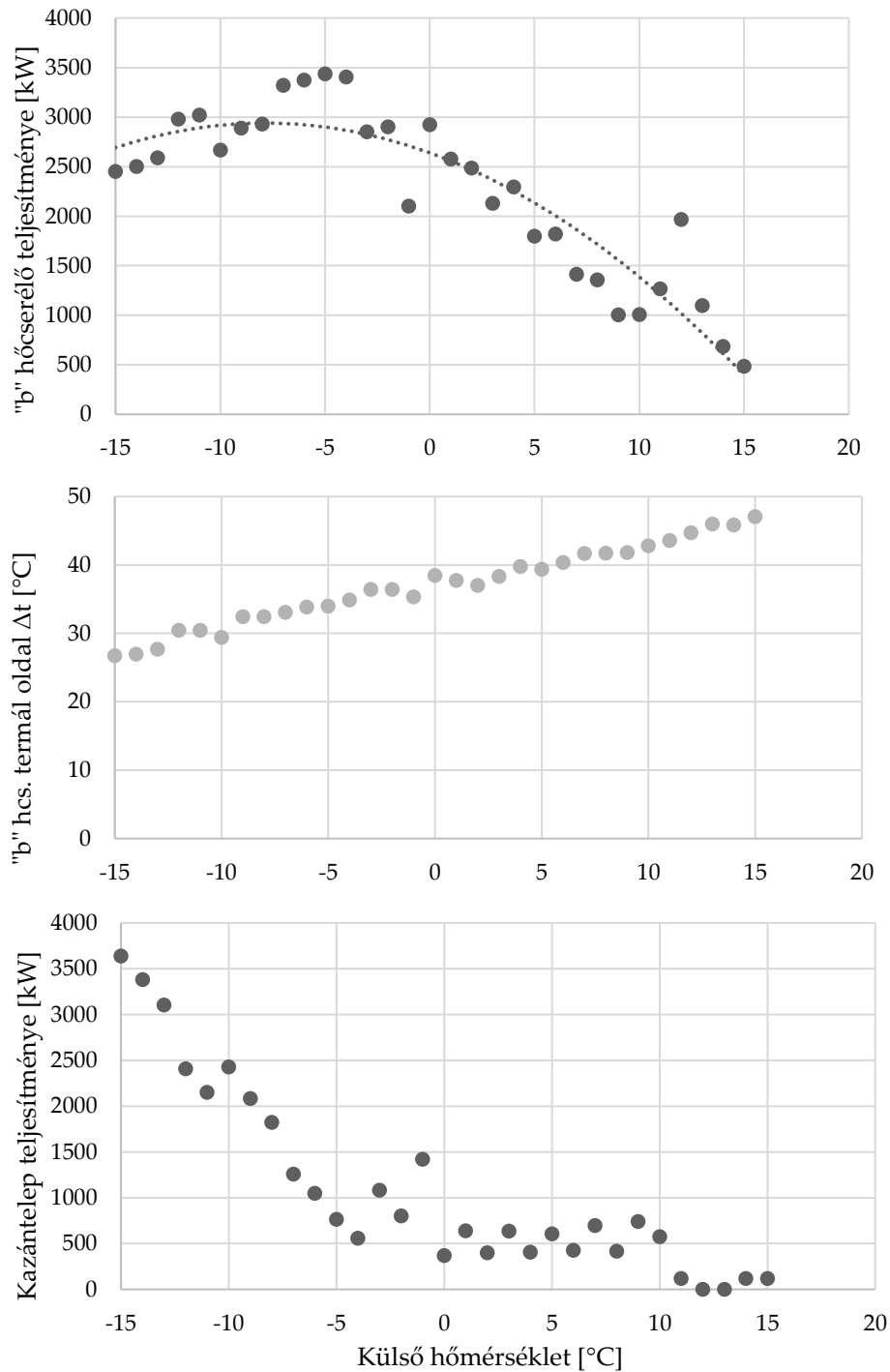
A vizsgált paramétereket lépésközönként változtatva minden permutációt megvizsgálva adódtak ki a legjobb beállítási értékek. A modellből történő adatkigyűjtés 5 db egymásba ágyazott „for” ciklus megírásával volt lehetséges, a program futási ideje körülbelül 6 órát vett igénybe. A 6. táblázatban látható primer tömegáramok változtatása a hőcserélők megkerülésére alkalmas by-pass ágakba épített fojtószelepekkel valósíthatók meg. Az eredményeket a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat: Az optimális szelepbeállítási értékek

tkülső	"b" hőcserélő primer térfogatáram	"c" hőcserélő primer térfogatáram	"e" hőcserélő primer térfogatáram	"f" hőcserélő primer térfogatáram
°C	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h
-15	85,5	4,5	90,0	7,2
-14	85,5	3,6	85,5	17,1
-13	85,5	4,5	13,5	17,1
-12	85,5	17,1	31,5	17,1
-11	85,5	17,1	81,0	17,1
-10	81,0	4,5	45,0	17,1
-9	81,0	17,1	90,0	17,1
-8	81,0	17,1	27,0	17,1
-7	90,0	17,1	72,0	17,1
-6	90,0	17,1	72,0	17,1
-5	90,0	17,1	90,0	17,1
-4	85,5	17,1	81,0	17,1
-3	72,0	17,1	18,0	17,1
-2	72,0	17,1	49,5	17,1
-1	54,0	3,6	81,0	17,1
0	67,5	17,1	63,0	17,1
1	63,0	4,5	76,5	17,1
2	58,5	3,6	90,0	17,1
3	49,5	3,6	76,5	17,1
4	54,0	4,5	90,0	17,1
5	40,5	3,6	9,0	17,1
6	40,5	3,6	9,0	17,1
7	31,5	3,6	18,0	17,1
8	27,0	3,6	9,0	17,1
9	22,5	2,7	9,0	17,1
10	22,5	2,7	9,0	17,1
11	27,0	2,7	9,0	17,1
12	27,0	3,6	9,0	17,1
13	22,5	3,6	9,0	17,1
14	13,5	2,7	9,0	17,1
15	9,0	2,7	22,5	17,1

4.2. Hőcserélő teljesítmények vizsgálata

Az előző pontban kapott optimális üzemi paraméterek mellett érdemes megvizsgálni, azt, hogy a külső hőmérséklet függvényében hogyan alakulnak a geotermikus hőcserélők teljesítmény értékei. Elsősorban a fűtési hőcserélők érdekesek, hiszen a HMV termelés teljesítménye nagyjából kiegyenlített az alkalmazott egyszerűsítések miatt.



6. diagram: „b” jelű hőcserélő teljesítménye (felül); geotermikus oldal Δt -je (középen); kazántelep pótlólagos fűtőteljesítménye (alul)

A 6. diagram teljesítmény pontjaira illeszthető vonal csak az értékek alakulását hivatott érzékelteni, nem tudományosan illesztett görbe, azonban jól mutatja azt a jelleget, amely némi megfontolással logikusan következik. Ezt elemezve elmondható, hogy bár hideg időben van a legnagyobb fűtési teljesítmény-igény, ennek ellenére a hőcserélő teljesítménye csökken, majd elér egy maximum értéket (körülbelül -5°C -nál) és onnan növekvő külső hőmérséklet mellett újra csökkenni kezd.

A maximumtól az x-tengelyen balra haladva az egyre csökkenő külső hőmérséklet-hez egyre nagyobb áramköri előremenő hőmérsékletek tartoznak, amely a visszatérő hőmérsékletekben növekedésében is megmutatkozik, aminek következménye, hogy csökken a hőcserélő termálvíz oldalának hőmérsékletkülönbsége (középső 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. Az alsó diagramom egy egyértelmű, viszonylag meredek csökkenés látható egészen a korábban megfigyelt maximumhoz tartozó -5°C -os külső hőmérsékleti értékig, amely azt támasztja alá, hogy az ennél magasabb hőmérsékletekre az elsődleges hőforrás valóban a fűtési hőcserélő.

A 6. diagram adatain jelentős szórás figyelhető meg, amelynek legvalószínűbb oka, hogy a modell még némi finomításra szorul.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban két távhő alrendszert ismertettem, majd bemutattam a mintájukra megalkotott energetikai modell felépítését, a benne alkalmazott egyszerűsítéseket és néhány vizsgálat eredményét. Összességében elmondható, hogy a feladat célkitűzései nagyrészt megvalósításra kerültek.

Sikernek tudható be, hogy a számítási modell elkészült, melynek felépítése során rengeteg adat került feldolgozásra, azért, hogy a valós rendszer lekövetésére a lehető leginkább alkalmas legyen. Ennek eredményeképpen a teljes rendszer minden energetikai szempontból lényeges adata számíthatóvá vált a fűtési szezon jellemző külső hőmérsékleti tartományára ($-15...15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

A megalkotott szoftver bemeneti paraméterei bizonyos keretek között tetszőlegesen változtathatók, illetve a kimeneti adatok is rugalmasan módosíthatók, azaz számos különböző legyűjtés készíthető el a megfelelő programkód megírásával.

További feladat a rendszerrel kapcsolatos felújítási javaslatok tétele, és azok alapján a modell módosítása, számítások elvégzése, kiértékelése. Amennyiben több felújítási lehetőség is kidolgozásra kerül, akkor energetikai és vele párhuzamosan gazdasági összehasonlítás is elvégezhető, figyelembe véve a költségeket és az éves megtakarítások mértékét.

A feladat megoldása során rengeteg tapasztalatot szereztem programozás, excel-használat, modellkészítés és nem utolsósorban épületgépészeti ismeretek szempontjából. A modellt tekintve a további munkák elvégzésére is számos ötlet adódott, amelyeket a rendelkezésre álló idő rövideje miatt nem sikerült megvalósítani. Ezek közül néhányat szeretnék röviden bemutatni.

Az első és talán a legfontosabb a számítások validálása. Ezt csak részben sikerült elvégeznem. Szükségességét indokolja, hogy rengeteg változó található a rendszerben, melyek közül minél több közelít a valós paraméterekhez, annál pontosabbá és megbízhatóbbá válik a modell. Megvalósítását tekintve az eredmények mérési adatokkal való összehasonlításával végezném el.

A validálás után érdemes lenne megvizsgálni azt az eshetőséget is, ha a HMV termelést nem termálvízből származó energiával fedoznénk, ezáltal kevésbé kihűlt közeget lehetne az Észak 1/B fűtőműbe továbbítani. Ennek eredményeképpen bővülne a modell alkalmazhatóságának határa.

A számításra szolgáló kódsorokat átláthatóbbá, könnyebben kezelhetővé kellene tenni, hiszen mérete és komplexitása miatt könnyen követhetlenné válhat. Ez például elérhető a nagy, sok sorból álló egységek részekre, modulokra bontásával.