

## **8. Összefoglalás, tézisek**

A magyarországi épületgépészeti berendezések üzemeltetésében általános az a gyakorlat, hogy az elkészült berendezések üzemviteli paramétereit nem tervezik meg a kellő gondossággal. Ha az egyes elemek kiválasztásában maximális gondossággal is jár el a tervező, a rendszerszemlélet hiánya még mindig kellemetlen meglepetéseket okozhat a rendszert üzemeltetők számára. Gyakoribb azonban az az eset, hogy az egymással nem tökéletes összhangban álló elemekből képzett rendszer feladatát panaszmentesen ellátja, és az üzemeltetők számára sohasem derül fény arra, hogy a rendszer más paraméterekkel eredményesebben, azaz nagyobb komfort és ellátási biztonság mellett olcsóbban volna üzemeltethető.

A méretezések alapadatai között mindig szerepelnek névleges üzemviteli paraméterek, azonban ezen kiinduló adatok alapján általában túlméretezik a rendszert. A túlméretezett rendszer a kiindulásnak tekintettől eltérő paraméterekkel is üzemeltethető volna, sőt, a gazdaságos üzemlet várhatóan nem a kiindulási paraméterek fogják eredményezni. A túlméretezésen kívül ugyanilyen a hatása az élettartam során a rendszerben, vagy a létesítéskor figyelembe vett gazdasági körülményekben bekövetkezett változásoknak. A gazdaságos üzemvitel a megváltozott körülmények miatt az üzemviteli paraméterek újbóli meghatározását igényelné.

Értekezésemben ezen szempontok alapján a távhőellátó rendszerek üzemeltetésének egy részterületét, az alkalmasan megválasztott primer előremenő hőmérséklet menetrenddel elérhető optimális üzemvitelt vettem vizsgálat alá. A magyarországi távhőellátó rendszerek az előző évtizedekben épültek, a maiól egészen eltérő műszaki és gazdasági környezetben. Ha az akkor megvalósult hőszállító rendszerek optimális üzemlet valósították volna is meg, a körülmények megváltozása mára már egészen más üzemvitelt követelne.

A csővezetéken való hőszállítás óhatatlanul nyomásvesztéssel és hővesztéssel jár, és ezek a veszteségek csak egymás rovására csökkenthetők. A változó tömegáramú rendszerekben a tömegáram és előremenő hőmérséklet széles tartományával lehet a fogyasztók igényét kielégíteni; ezek nyomás- és hővesztésének együttes költsége eltérő. A cél olyan üzemvitel megvalósítása, amellyel a veszteségek költségei minimalizálhatók.

Lényeges hangsúlyozni, hogy az optimális üzemvitel megvalósítása semmilyen további beruházást nem igényel, hiszen az optimumot a meglévő rendszer adottságaihoz keressük. A megfelelően kialakított változó tömegáramú rendszerben minden eszköz adott az optimális menetrend megvalósításához. Ha sikerül meghatározni az üzemvitelben kulcsfontosságú optimális primer előremenő hőmérséklet menetrendet, és az a vizsgált rendszerben eltér az üzemeltetésben alkalmazott menetrendtől, akkor beruházás nélkül nyílik lehetőség a költségek csökkentésére.

A hazai távhőszolgáltatók általában felismerték, hogy a megváltozott műszaki és gazdasági körülmények szükségessé teszik az üzemviteli paraméterek módosítását. Erre a szolgáltató kezében lévő eszköz a primer előremenő hőmérséklet-menetrend. Ezt változtatva a megfelelő szabályozással ellátott változó tömegáramú távhőellátó rendszerek egyéb üzemeltetési paraméterei (tömegáram, szivattyú fordulatszám, visszatérő hőmérséklet, hő- és nyomásvesztés) önműködően be fognak állni. A távhőszolgáltatók az új primer menetrendet szinte mindenhol kísérletezéssel állapították meg, mégpedig a hőmérsékletet a

fogyasztói panaszok megjelenéséig csökkentve. Ezt kitapasztalva a menetrendet a biztonság érdekében kissé megemelték, és a panaszok elmaradása általában elégséges bizonyíték volt az eljárás sikerére.

A hazai és nemzetközi szakirodalom nem kínál módszert egy a tervezettől eltérő körülmények között üzemelő távhőellátó rendszer menetrendjének utólagos meghatározására. A nyugat-európai tapasztalatok alapján a szolgáltatók logikusan kísérleteztek a primer hőmérsékletek csökkentésével, és ezzel a korábbi állapotokhoz képest valóban lehetett is költségeket megtakarítani. Az eltérő hő- és villamosenergia költségek, valamint az eltérő műszaki feltételek, elsősorban a Magyarországon jellemző fűtőműves hőtermelés miatt kétséges azonban, hogy az optimális üzemvitel valóban mindig a hőmérsékletek csökkentésével lenne megvalósítható. A kérdés alapos vizsgálatot igényel.

A BME Épületgépészeti Tanszékén 1998 óta foglalkozunk az üzemelő távhőellátó rendszerek optimális primer menetrendjének meghatározásával. A kérdést a korábbiakban egyszerűsített modellen vizsgáltuk, ahol a rendszert egyetlen hőcserélőre és az azt ellátó vezetékparra redukáltuk. A modell egységes szekunder menetrendű fogyasztók vizsgálatát tette lehetővé a szükséges elhanyagolásokkal, és lehetséges volt olyan rendszerek vizsgálata is, ahol az egységes szekunder hőmérsékletet igénylő HMV hőcserélők a fűtési hőcserélő után sorosan vannak kapcsolva. Az ezzel a modellel végzett korábbi számítógépes vizsgálataim megerősítették azt a feltételezést, hogy adott esetben a primer előremenő hőmérséklet növelésével lehet a veszteségek költségeit csökkenteni. Az optimális menetrendet igen sok tényező befolyásolja, megállapítása nem történhet egyszerű ökölszabályokkal.

Értekezésemben módszert kívántam adni a fűtőműves hőforrással rendelkező távhőellátó rendszerek optimális primer előremenő hőmérséklet menetrendjének pontos meghatározására, a hőcserélők kapcsolására és szekunder menetrendjére vonatkozó megszorítás nélkül. A vizsgálatot azokra a nem túlságosan kiterjedt rendszerekre korlátoztam, ahol a menetrend meghatározásában elhanyagolható a primer közegnek a hőforrástól különböző távolságra lévő fogyasztókhoz való eltérő eljutási ideje. A vizsgálatokat stacioner állapotokra végeztem. A vizsgálatokhoz a szekunder oldal adatait adottnak és ismertnek tételeztem fel.

Az optimális primer előremenő hőmérséklet menetrend meghatározásához a feladat mindig a veszteségek költségeit kifejező

$$\dot{K}_{veszt} = k_{hő} \dot{Q}_{veszt} + (k_{vill} - k_{hő}) * \dot{V} * \Delta p \quad \rightarrow \min!$$

célfüggvény minimumának meghatározása. A célfüggvénynek a minimum meghatározására alkalmas célszerű kifejtése a rendszer kialakításától függ. A minimumot a primer hőkapacitás-áram függvényében keressük. A veszteségek minimális költségét eredményező hőkapacitás-áramból az optimális primer előremenő hőmérséklet egyszerű összefüggéssel meghatározható. A célfüggvény kifejtésében a külső hőmérséklet paraméter. A külső hőmérséklet teljes tartományán meghatározva a célfüggvény minimumát az optimális primer előremenő menetrend pontonként meghatározható.

Összetettsége miatt a feladat – a legegyszerűbb esetet, egyetlen, a primer rendszerre közvetlenül csatlakozó fogyasztót ellátó szabadon fektetett vezeték menetrendjének meghatározását kivéve – csak számítógépes módszerekkel, közelítő úton oldható meg. A vizsgálatokat ennek megfelelően számítógépes modellezéssel végeztem. A különböző feladatokhoz és a megengedhető elhanyagolásokhoz illeszkedően többféle modellt állítottam

fel. Ezek közül a legösszetettebb elhanyagolások nélkül alkalmas tetszőleges hálózat optimális primer menetrendjének meghatározására; a vizsgálat pontosságát csak a bemenő adatok esetleges bizonytalansága korlátozza.

A primer rendszerre közvetlenül csatlakozó változó tömegáramú fogyasztó optimális tömegárama és primer előremenő hőmérséklet menetrendje a vezetékmenti lehülést és az anyagjellemzők hőmérsékletfüggését elhanyagolva a 2. tézisben ismertetett összefüggéssel zárt alakban kifejezhető. Ha az ellátóvezeték védőcsatornába, vagy közvetlenül földbe fektetett, az optimális primer menetrend már nem fejezhető ki zárt alakban. Védőcsatornába fektetett vezetéken ellátott közvetlen kapcsolású fogyasztó optimális menetrendjének meghatározására számítógépprogramot dolgoztam ki. A modellben figyelembe vettem az anyagjellemzők hőmérséklettől való függését is.

Az értekezésben vizsgálatokat végeztem a közvetett kapcsolású fogyasztókat ellátó rendszerekre már korábban is ismert, a rendszert egyetlen hőcserélőre és az azt ellátó vezetékparra redukáló egyszerűsített módszerrel. A módszert továbbfejlesztettem olyan hálózatok modellezésére, ahol a párhuzamosan kapcsolt hőcserélők szekunder menetrendjük alapján két csoportra – a gyakorlatban jellemzően fűtési és HMV hőcserélőkre – oszthatók. A megoldandó célfüggvényt a 4. tézis ismerteti. A fejlesztés gondolatmenetét követve a módszer elvben kiterjeszhető tetszőleges számú eltérő szekunder menetrendű hőcserélőcsoport modellezésére is, ekkor azonban az összefüggések már kezelhetetlenül bonyolulttá válnak.

A vezetékmenti lehülés elhanyagolása esetén a több közvetlen fogyasztóból álló hálózat optimális menetrendje egyszerű módszerrel meghatározható. A közvetett kapcsolású fogyasztókat ellátó hálózat optimális menetrendjének meghatározásában problémát jelent a hőcserélők számítása. Ha rendelkezésünkre állnak a hőcserélők tömegáram-igényét adott szekunderoldali jellemzők (hőigény, előremenő és visszatérő hőmérséklet) mellett leíró  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  összefüggések, amelyek meghatározzák, hogy a szekunderoldali jellemzők előállításához a rendelkezésre álló  $t'_1$  primer előremenő hőmérséklet mellett milyen  $\dot{m}_1$  primer tömegáram szükséges, akkor a vezetékmenti lehülés elhanyagolása esetén a feladatot visszavezethetjük a közvetlen fogyasztókból álló hálózat menetrendjének meghatározására.

A hőcserélők tömegáram-igényét leíró  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  összefüggések közvetlenül nem állnak rendelkezésre. Tisztán egyen- és ellenáramú hőcserélőkre – illetve egyéb hőcserélőkre, ha ismert a  $\Phi$  Bosnjakovic tényezőt a primer és szekunder tömegáramokkal meghatározó összefüggés – az  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  összefüggés bár zárt alakban nem fejezhető ki, de közelítő módszerrel pontonként kiszámítható. A gyakorlatban egyre elterjedtebb lemezes hőcserélőkre a gyártók nem teszik közzé a méretezési összefüggéseket, és a méretezési programok általában nem illeszthetők be más, például az optimális menetrend meghatározását végző program működésébe. Így az  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  összefüggés pontjait az optimális menetrend meghatározását végző programból közvetlenül nem határozhatjuk meg. A feladat megoldásához a méretező program előzetes futtatásával meg kell határozni az  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  összefüggés néhány pontját, majd ezekre a 3. tézisben ismertetett módon közelítő függvényt illeszthetünk. Ennek segítségével a több közvetett fogyasztóból álló hálózat optimális menetrendjének meghatározását visszavezethetjük a közvetlen fogyasztókból álló hálózat menetrendjének meghatározására.

Kidolgoztam az optimális primer előremenő menetrend meghatározásának a vezetékminti lehüléseket is figyelembe vevő módszerét. A módszer felhasználásával a BME Épületgépészeti Tanszékén korábban fejlesztett „BORTAVHO” nevű számítógépprogramot alkalmassá tettem az optimális menetrend meghatározására. A program figyelembe veszi az anyagjellemzők hőmérsékletfüggését is. A program számára elő kell állítani a hőcserélők  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  összefüggését közelítő függvényt.

A védőcsatornába fektetett vezetéken ellátott közvetlen kapcsolású fogyasztó optimális menetrendjét meghatározó számítógépprogram segítségével nomogramban szemléltettem a hőigény és az optimális tömegáram összefüggését. Ebből, és a 2. tézis alapján szabadon fektetett vezetéken ellátott fogyasztóra szerkesztett hasonló nomogramból kitűnik, hogy a gyakorlatban elterjedten alkalmazott méretezési elv, miszerint a hőellátó rendszerek vezetékeit állandó áramlási sebességre méretezik, a vezetékek hőveszteségét is figyelembe véve nem eredményez optimális üzemet. Adott előremenő hőmérséklet esetén nagyobb hőigény szállításához kisebb áramlási sebesség fogja a veszteségek minimális költségét eredményezni.

A rendszert egyetlen hőcserélőre redukáló módszer segítségével vizsgáltam egyes paraméterek hatását az optimális menetrendre. A várakozásoknak megfelelően rosszabb hőszigetelés esetén az optimális előremenő hőmérséklet alacsonyabb, és nő az optimális tömegáram értéke. Az átmérő növelése esetén ugyanazon hőmennyiség nagyobb tömegárammal és alacsonyabb előremenő hőmérséklettel szállítható optimálisan. Ha nő a költséggráta, vagyis a villamosenergia költsége nő a hőenergiáéhoz képest, a fajlagosan olcsóbb hőnek megfelelően magasabb előremenő hőmérséklet és kisebb tömegáram indokolt.

A vizsgálatok kevésbé magától értetődő eredménye, hogy a szekunder menetrend nem befolyásolja a primer tömegáram optimális értékét. Magasabb szekunder előremenő hőmérséklet előállítása magasabb primer előremenő hőmérsékletet igényel; fordítva: a szekunder menetrend csökkentése a primer menetrend csökkentését teszi lehetővé változatlan primer tömegáram mellett. Mindezek következménye, hogy a szekunder hőmérsékletek csökkentése a primeroldali veszteségek költségének csökkenését eredményezi. Ebből következik, hogy ha a rendszer szekunder oldalán csökkentik a hőmérsékleteket, a primer oldal helyes válasza szintén a hőmérsékletek csökkentése lesz.

Az egyszerűsített modellen végzett vizsgálatokból kitűnt, hogy a hőcserélők túlméretezése következményeként csökken az optimális primer előremenő hőmérséklet. Azokban a magyarországi távhőellátó rendszerekben tehát, ahol a hőcserélők és a vezetékek túlméretezettek, a hőszigetelés rossz és a szekunder hőmérsékleteket eredményesen csökkentették, indokolt és eredményes volt a primer előremenő menetrend csökkentése.

A jó hőszigetelésű rendszerekben, különösen ha a vezetékek viszonylagos alulméretezettsége miatt nagy az áramlási sebesség, és ebből következően a fajlagos súrlódási veszteség, igen magas előremenő hőmérsékletek eredményeznek optimális üzemet. Magyarországon a hőenergia a villamos energiához képest alulértékelt, ezért a hazai költségviszonyok között az optimális menetrend magasabb, mint egy minden egyéb paraméterében azonos nyugat-európai távhőellátó rendszerben lenne. Az optimális előremenő hőmérséklet értéke alacsony külső hőmérsékleteknél akár magasabb lehet, mint a rendszer megengedett maximális hőmérséklete. Ilyen esetekben a lehetséges maximális előremenő hőmérsékletet kell tartani. Mivel az alacsony külső hőmérsékletekhez tartozó éves kihasználási óraszám viszonylag

alacsony, az optimális menetrend ilyen korlátozása csak csekély mértékben csökkenti a megtakarítás lehetőségét.

Az optimális menetrend meghatározását a keszthelyi Szent Miklós utcai fűtőmű távhőellátó rendszerén szemléltettem. A rendszer vizsgálatához modellezni kellett a beépített lemezes hőcserélők hőtechnikai viselkedését, és fel kellett állítani az egyes hőcserélők  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t_1')$  függvénykapcsolatát. A primer rendszer optimumának meghatározásához először optimálni kellett a közvetlen kapcsolású fogyasztókat kiszolgáló szekunder távfűtési rendszereket. A rendelkezésre álló adatok alapján számítást lehetett végezni a szekunder fűtési rendszerek optimális menetrendjével elérhető megtakarításokról. A primer rendszerre csatlakozó egyik, névlegesen 1500 kW hőigényű, 192 lakást ellátó rendszer optimális menetrendjének megvalósításától 2000. évi árakon évi kb. 400 eFt megtakarítás várható. A primer oldalon elérhető megtakarítást megfelelő alapadatok hiányában nem lehetett számítani.

Meghatároztam a védőcsatornában fektetett vezetékekkel ellátott rendszer optimális előremenő hőmérsékletét különböző talajhőmérsékletek esetére, és úgy tapasztaltam, hogy a talajhőmérséklet nincs érdemi befolyással az optimális tömegáramra és előremenő primer hőmérsékletre. Alacsonyabb talajhőmérséklet esetén nő a veszteségek költsége, de az optimális előremenő hőmérséklet és tömegáram nem változik.

A keszthelyi primer és szekunder oldal vezetékei túlméretezettek, hőszigetelésük erősen leromlott. Megvizsgáltam, hogyan változna az optimális primer hőmérséklet menetrend különböző fokozatokban lecsökkentett átmérők és javított hőszigetelés esetén. Amennyiben a jelenlegi hőszigeteléseket a németországi „Heizungsanlagenverordnung” előírásait kielégítő vastagságú és minőségű szigetelésre cserélnék, a jelenlegi körülmények között optimális névlegesen 109/58°C menetrend 122/55°C-ra változna, a veszteségek költsége pedig a jelenleg elérhető optimum 38%-ra csökkenne. Ha az átmérőket a hőszigetelés cseréjével egyidőben általánosan egy méretlépcsővel lecsökkentenék – mert például egy felújításkor nem finanszíroznának meg újból ilyen túlméretezett vezetékeket – az optimális névleges hőmérsékletlépcső 188/48°C-ra változna. Az ezekhez a hőmérsékletekhez tartozó lényegesen lecsökkent tömegáram mellett az áramlási sebesség sehol sem haladná meg a 1,5 m/s-ot. A keringetés költségei a megnövekedett nyomásvesztés miatt kismértékben emelkednének a csak a hőszigetelések cseréjével elérhető költségekhez képest.

A keszthelyi Szent Miklós utcai fűtőműre megállapított optimális szekunderoldali menetrendek azonnal megvalósíthatók, és erre remélhetőleg már a 2001/2002 fűtési szezonban sor kerül. A primer oldalra megállapított menetrend megvalósítására a rendszer jelenlegi állapotában még alkalmatlan, de remélhetőleg a következő fűtési idényben megtörténnek azok a fejlesztések, amelyek az optimális változó tömegáramú üzemet lehetővé teszik majd.

## **8.2. Tézisek**

1. Egy távhőellátó hálózat optimális primer előremenő menetrendjét a veszteségek költségeit kifejező  $\dot{K}_{veszt} = k_{hő} \dot{Q}_{veszt} + (k_{vill} - k_{hő}) * \dot{V} * \Delta p$  függvény minimumának meghatározásával állapíthatjuk meg. A minimumot a primer tömegáram függvényében keresve az összes költség olyan kifejezésére jutunk, amelyben a  $t_2''$ -t tartalmazó tag a

primer tömegáramtól független. Ennek következménye, hogy a szekunder előremenő és visszatérő hőmérséklet a primer rendszer optimális tömegáramát nem, csupán optimális előremenő hőmérsékletét befolyásolják. A szekunderoldali hőmérsékletek emelése a primeroldali hőmérséklet emelését igényli változatlan tömegáram mellett, tehát a szekunder hőmérsékletek emelése törvényszerűen növeli a hőszállítás költségeit.

A költségfüggvény kifejtéséből következik, hogy a földbe közvetlenül vagy védőcsatornában fektetett vezetékek optimális menetrendje csak az anyagjellemzők változásán keresztül függ a környező talaj hőmérsékletétől. Ennek következménye, hogy nincsen értelme a külső hőmérséklettől függetlenül változó talajhőmérsékletekre külön menetrend kidolgozásának. A talajhőmérséklet változása befolyásolja a keringetés költségét, de az optimális menetrendet nem.

2. Meghatároztam a közvetlen fogyasztókat ellátó, szabadon fektetett vezeték optimális primer tömegáramát, és optimális primer előremenő menetrendjét leíró

$$\dot{m}_1 = \sqrt[4]{\frac{k_{h\delta}}{(k_{vill} - k_{h\delta})} \frac{k_l \dot{Q} d^5 \Pi^2 \rho^2}{48 \lambda (1 + Z) c}}$$

és

$$t'_1 = t''_1(t_k) + \frac{\dot{Q}(t_k)^{0,75} \dot{Q}_0^{0,25}}{\dot{m}_1(t_{k,0}) c}$$

összefüggéseket. A menetrend függvényében  $\dot{m}_1(t_{k,0})$  optimális primer névleges tömegáram értékét a tömegáramra vonatkozó kifejezéssel kell megállapítani. Ez az összefüggés nem csak közvetlen távfűtési fogyasztók, hanem más változó tömegáramú hidraulikai kapcsolások optimális menetrendjének meghatározására is alkalmas.

Az összefüggésből következik, hogy a távhőellátó vezetékek jelenleg alkalmazott állandó áramlási sebességre való méretezése nem eredményez optimális üzemet.

3. Az optimális primer menetrend meghatározásához ismerni kell, hogy az adott hőcserélő adott szekunderoldali paramétereit a tömegáram és a primer előremenő hőmérséklet milyen kapcsolata mellett lehet kielégíteni. Azokra a hőcserélőkre, amelyekre a  $\Phi$  Bosnjakovic-tényezőt tömegáramokkal meghatározó összefüggés nem ismeretes, a  $t'_1 = t'_1(\dot{m}_1)$  illetve  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  függvénykapcsolat közelítéssel határozható meg. Megállapítottam, hogy az adott szekunderoldali paraméterek (hőigény, szekunderoldali tömegáram és hőmérsékletek) mellett a  $t'_1 = t'_1(\dot{m}_1)$  függvénykapcsolat a

$$t'_1 = \frac{A}{\dot{m}^n} + B;$$

az  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1(t'_1)$  függvénykapcsolat pedig

$$\dot{m} = \sqrt[n]{\frac{A}{t'_1 - B}}$$

alakú kifejezéssel rendkívül nagy pontossággal közelíthető. Az A, B és n paraméterek meghatározásához a hőcserélők méretező összefüggéseivel kell a  $t'_1 - \dot{m}_1$  értékpárokat felvenni. Több méretezést elvégezve a paraméterek közelítéssel határozhatók meg, akár a mindennapos használatban lévő táblázatkezelők segédprogramjainak felhasználásával.

A különböző  $t_k$  külső hőmérsékletekhez megállapított A, B és n értékekre regresszióval egyeneseket fektetve a  $t'_1 = t'_1(\dot{m}_1)$  összefüggés tetszőleges külső hőmérsékletre

$$t'_1(t_k) = A_1 + A_2 t_k + \frac{B_1 + B_2 t_k}{\dot{m}_1^{n_1 + n_2 t_k}}$$

alakban a számításokhoz megfelelő pontossággal közelíthető.

4. Dr. Garbai László optimális primer menetrendet meghatározó egyszerűsített módszerét továbbfejlesztve kidolgoztam a menetrend meghatározását olyan rendszerekre, ahol a párhuzamosan kapcsolt hőcserélők a szekunder oldal menetrendje alapján két csoportra oszthatók, a gyakorlatban jellemzően fűtési és HMV hőcserélőkre. A rendszer összes fűtési és HMV hőcserélőjét egy-egy hőcserélőbe redukáljuk. A célfüggvény

$$\dot{K} = k_{h\delta} (t'_1 + t''_1 - 2t_k) \sum \frac{1}{R_{t,i}} + (k_{vill} - k_{h\delta}) R_H \left( \frac{\dot{W}_f + \dot{W}_{HMV}}{\rho c} \right)^3 \rightarrow \min!,$$

amelybe a

$$t'_1 = \frac{\dot{Q}_f}{\Phi_f \dot{W}_{1,f}} + t'_{2,f},$$

$$t''_1 = \frac{\dot{Q}_f \left( \frac{1}{\Phi_f} - 1 \right) + \dot{W}_{1,f} t'_{2,f} + \dot{W}_{1,HMV} t'_{2,HMV} + \dot{Q}_{HMV} \left( \frac{1}{\Phi_{HMV}} - 1 \right)}{\dot{W}_{1,f} + \dot{W}_{1,HMV}}$$

és

$$\dot{W}_{1,HMV} = \frac{\dot{Q}_{HMV}}{\Phi_{HMV} \left( \frac{\dot{Q}_f}{\Phi_f \dot{W}_{1,f}} + t'_{2,f} - t'_{2,HMV} \right)}$$

összefüggések helyettesítendők. A helyettesítés után a célfüggvény már csak egyetlen változót tartalmaz, a fűtési hőcserélő  $\dot{W}_{1,f}$  hőkapacitás-áramát. Az összes többi paraméter a nem optimális menetrenddel üzemelő rendszer üzemviteli adataiból egyszerűen meghatározható. A célfüggvény megoldásával a  $\dot{W}_{1,f}$  optimális primer

hőkapacitás-áram, abból a  $t_1'$  helyettesítésére vonatkozó összefüggés segítségével az optimális primer előremenő hőmérséklet meghatározható.  $t_1'$ -t  $t_k$  teljes tartományán meghatározva az optimális primer előremenő menetrendre jutunk.

5. Kidolgoztam az optimális primer előremenő menetrendet tetszőleges pontossággal meghatározó számítógépprogramot.
6. Megállapítottam, hogy jó hőszigetelésű és nagy fajlagos nyomásvesztésű hálózatokban, különösen a villamosenergia és a hő árából képzett költségviszony magas értéke esetén az optimális előremenő hőmérséklet a ma járatos előremenő hőmérsékleteknél jelentősen magasabb lehet. Ha az optimális előremenő hőmérséklet magasabb a rendszerben megengedettnél, célszerű a maximális előremenő hőmérsékletet megvalósítani. Az optimális üzemvitelhez a rendszer névleges tömegáramát is változtatni szükséges.



### **8.3. További kutatási feladatok**

Az értekezésemben vizsgált kérdések némelyikét érdemes a későbbiekben alaposabban is vizsgálni.

- Célszerű volna a pontos és közelítő menetrend számító modelleket összevetni egy olyan rendszeren, ahol a szolgáltató meg tudja adni az egyszerűsített modell felállításához szükséges adatokat.
- Alapos vizsgálatnak kellene tisztáznia, milyen hőcserélőkre és milyen korlátokkal alkalmazható a 3. tézisben ismertetett módszer.
- A hálózat modellezésére alkalmas programot célszerű volna olyan irányba továbbfejleszteni, hogy kommunikálni tudjon a lemezes hőcserélő méretező programokkal. Ennek természetesen feltétele a hőcserélő programok alkalmas átalakítása a hőcserélők gyártói részéről.
- Érdemes lenne módszert kidolgozni arra, hogyan lehet a rendszer üzemeltetésében szerzett adatokat az optimális menetrendet meghatározó program bemenő adatainak pontosítására felhasználni.
- A vizsgálatokat ki kellene terjeszteni azokra a nagyméretű rendszerekre is, amelyeknél a menetrend kialakításában nem hanyagolható el a primer közeg legtávolabbi fogyasztókhoz való eljutásának ideje.
- A 6. fejezetben a hőcserélők túlméretezésére tett megállapítások alapján érdemes volna átgondolni, hogy egy új hőcserélő telepítése esetén hogyan térülne meg az üzemeltetési költségekben a hőcserélő jelentős túlméretezése.
- Szükséges volna megvizsgálni, hogy milyen lenne a primer rendszer optimális válasza, ha egycsöves szekunder fűtési rendszerben a termosztatikus szelepek zárni kezdenek.
- Célszerű lenne egyszerű irányszámokat kidolgozni annak eldöntésére, adott viszonyok között az előremenő hőmérséklet emelése vagy csökkentése eredményezi-e a keringetési költségek csökkenését.
- Hőellátó hálózatok méretezésénél az optimális üzemeltetés szempontjait maradéktalanul érvényesíteni kell. Ki kell dolgozni azt a méretezési eljárást, aminek eredményeként a hálózat élettartama alatt a beruházás és üzemeltetés együttes költségei minimumot eredményeznek. A beruházásnál a hőszigetelést, az üzemeltetésnél a hálózat hőveszteségét is figyelembe kell venni.