

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Műszaki és Informatikai Kar
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék



FEKETE MÁRK

Okos keverőkör működése a gyakorlatban

TDK dolgozat

Pécs, 2024

Tartalmi összefoglaló

Előadásomban egy a pécsi távhőszolgáltató hőközpontjába beépített okos keverőszelep és szivattyú működését és mérési adatait mutatom be. A mérések célja elsősorban a keverőszelep különböző korlátozó funkcióinak és a szivattyú vezérlési módjaink vizsgálata volt.

A hőközpont – ami a PTE MIK épületeit látja el hőenergiával - távfelügyeleti rendszerbe kötött, ahonnan 10 percenként gyűjtöttem a keverőkörrel az adatokat. A keverőszelep lehetőségeinek megismerése céljából időnként változtattam a korlátozó funkciókon és a vezérlési módokon.

Az adatokból készített diagramokról leolvasható, hogy a keverőszelep hogyan korlátozta a szelepnyitást, annak érdekében, hogy tartsa a megadott korlát értékét. Amikor egy korlát aktív, a keverőszelep a szelep zárásával csökkenti a körbe jutó primer víz mennyiségét és közben nyitja a bypass ágot, amíg el nem éri a korlátot. A korlátozás nélküli működés közben mért hőmérséklet adatokból az látszik, hogy az átlagnál magasabb belső hőmérséklet mellett a visszatérő hőmérséklet is magasabb. A visszatérő hőmérséklet egy jó visszajelzés a helyiség belső hőmérsékletéről, ezért van értelme korlátozni azt. A vizsgálat további konklúziója számomra az, hogy a korlátozó funkciók fix értéke helyett a külső hőmérséklet függvényében változó korlát alkalmazása lenne célszerűbb.

1. Tartalomjegyzék

1. Okos keverőszelep működési elve	4
1.1 Keverőkörök Grundfos MIXIT-el.....	4
1.1.1. Érzékelők	5
1.1.2. Szabályozó szelep	6
1.1.3. Beszabályozási lehetőségek MIXIT-el	9
2. Okos keverőkör működése és mérési eredményei	10
2.1. Épület jellemzői	10
2.1.1. Hőközpont névleges adatai	11
2.2. Szivattyú és keverőkör	13
2.2.1. Szivattyú kiválasztás	15
2.2.2. Szelepméretezés	16
2.3. A mérés	18
2.3.1. Adatgyűjtés megkezdése.....	20
2.4. Korlátok vizsgálata	21
2.4.1. Korlát nélküli szabályozás	22
2.4.2. Visszatérő hőmérséklet korlát.....	23
2.4.3. ΔT korlát	24
2.4.4. Hőteljesítmény határ	25
2.4.5. Korlátok összehasonlítása hőenergia felhasználás szerint.....	25
2.5. A keverőkör finomhangolása	27
2.5.1. A hőközpont időprogramjának módosítása	27
2.5.2. Hőmérséklet lengések visszatérő hőmérséklet korlát alkalmazásakor	28
2.5.3. Hőfokgörbe alkalmazása visszatérő hőmérséklet korlátnál	30
2.6. Szivattyú vezérlés	32
2.7. Belső komfort.....	35
Összefoglalás, következtetések, javaslatok	37
Ábrajegyzék	38
Irodalomjegyzék	39
Mellékletek	40

1. Okos keverőszelep működési elve

1.1 Keverőkörök Grundfos MIXIT-el

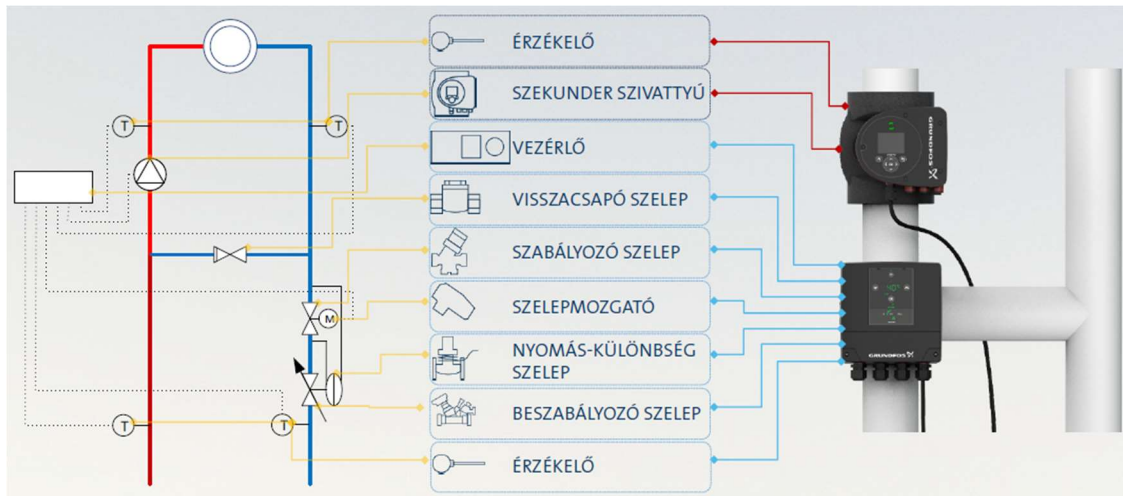
A keverőkörökben az előremenő hőmérsékletet szabályozzuk, a primer vizet a szekunder visszatérő vizével keverjük, hogy a szekunder előremenő a kívánt értéken legyen, ami egy minőségi szabályozás. A MIXIT a HVAC (fűtés, szellőzés és légkondicionálás) rendszerekben használható a következő fogyasztóknál:

- Radiátoros fűtés
- Felületfűtés és –hűtés
- Légkezelő egység
- Általános hűtőegységek
- Kombinált egységek (hűtés és fűtés)

Hidraulikai kapcsolás szerint:

- Befecskendező kör kétjáratú szeleppel
- Befecskendező kör háromjáratú szeleppel
- Keverőkör háromjáratú szeleppel

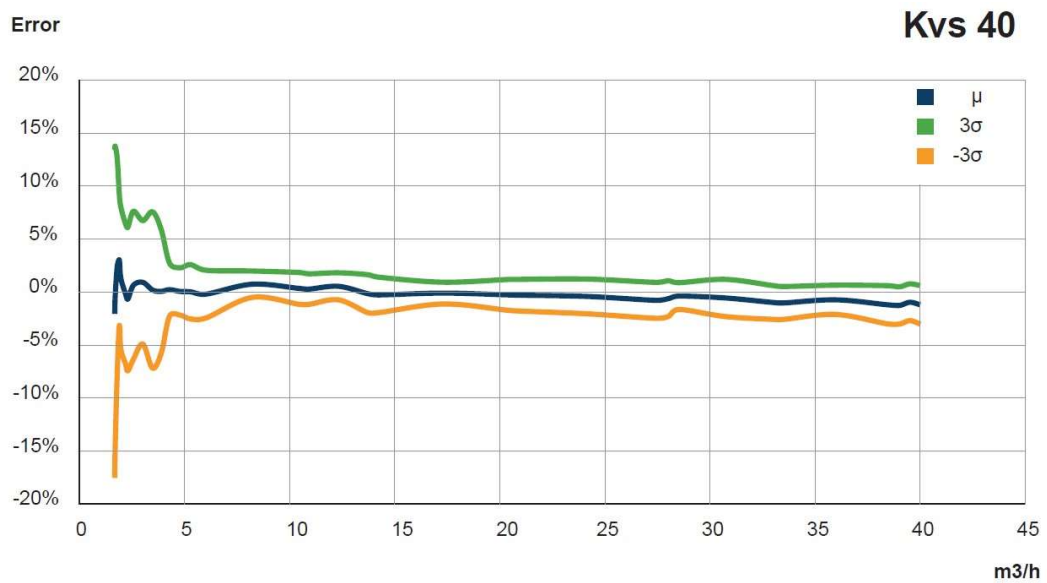
A MIXIT egy előre gyártott, komplett keverőkör, ami magába integrálja a vezérlőt, a 2- vagy 3-járatú szelepet, szelepmozgatót, visszacsapó szelepet, beszabályozó szelepet, nyomáskülönbség szabályozó szelepet és az érzékelőket (1. ábra). (1) (2)



1. ábra MIXIT keverőkör (2)

1.1.1. Érzékelők

A szelep beépített áramlásmérővel és hőmérsékletérzékelővel rendelkezik. Az „A” porton (lásd 3. ábra) elhelyezett áramlásérzékelő (VFS, Vortex Flow sensor, Standard) egy kombinált térfogatáram és hőmérséklet érzékelő a Kármán-féle örvényleválás elvén működik. Az áramló közegbe helyezett nem áramvonalas test mögött keletkezik az örvényleválás, amit mikro-elektromechanikai rendszer (MEMS) segítségével egy konzol elhajlásával érzékel, és ez alapján számolja ki az átáramló folyadék mennyiségét. A vortex áramlásérzékelő pontossága látható (2. ábra) egy DN 50-40 MIXIT-be építve. (1) (3) (4)



2. ábra Áramlásérzékelő pontossága

Egy Integrált hőmérséklet-érzékelő (ITS2, Integrated Temperature sensor Standard) méri a B-port hőmérsékletét. (1)

1.1.2. Szabályozó szelep

A golyószelep (3. ábra) egyedi kialakítása miatt kétjáratú vagy háromjáratú szelepként is működhet a nyitási irány megváltoztatásával.



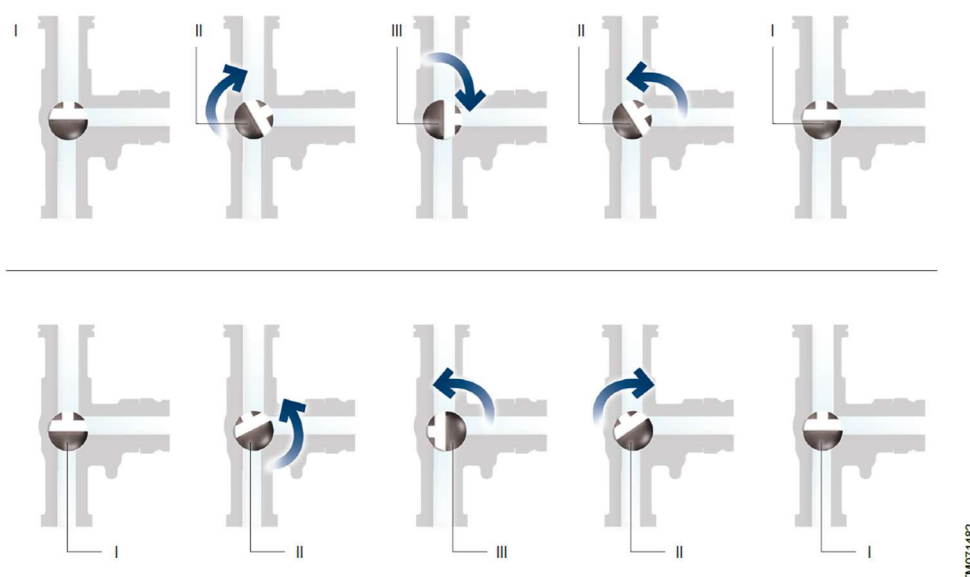
3. ábra Golyószelep (1)

Kétjáratú szelep:

Ha a golyósszelepet az óramutató járásával megegyező irányba forgatjuk, akkor az A port zárt helyzetből teljesen nyitott helyzetbe kerül, majd visszaforgatva újra zár az A port. A B port mindig teljesen nyitott és söntként működik.

Háromjáratú szelep:

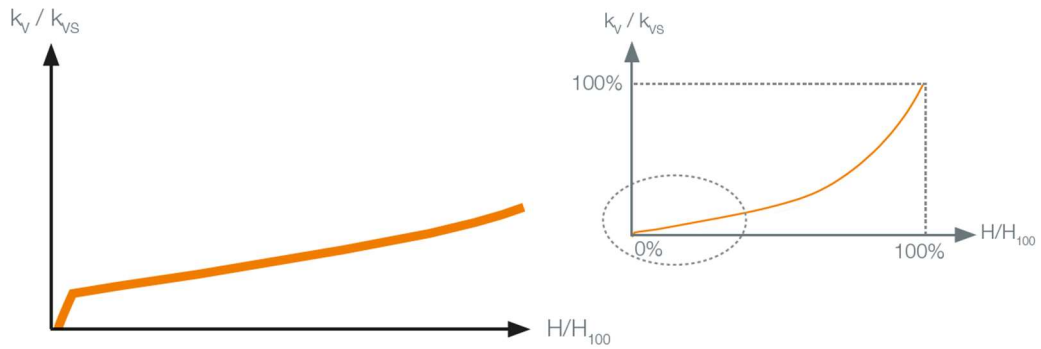
A golyósszelep szögének az óramutató járásával ellentétes irányba történő beállításával az A port zárt állapotból teljesen nyitott helyzetbe, a B port pedig teljesen nyitottból zárt helyzetbe kerül, majd visszaforgatva újra zár az A port és nyit a B port (4. ábra). (1)



4. ábra Két- és háromjáratú működés (Felül: kétjáratú működés, alul: háromjáratú működés) (1)

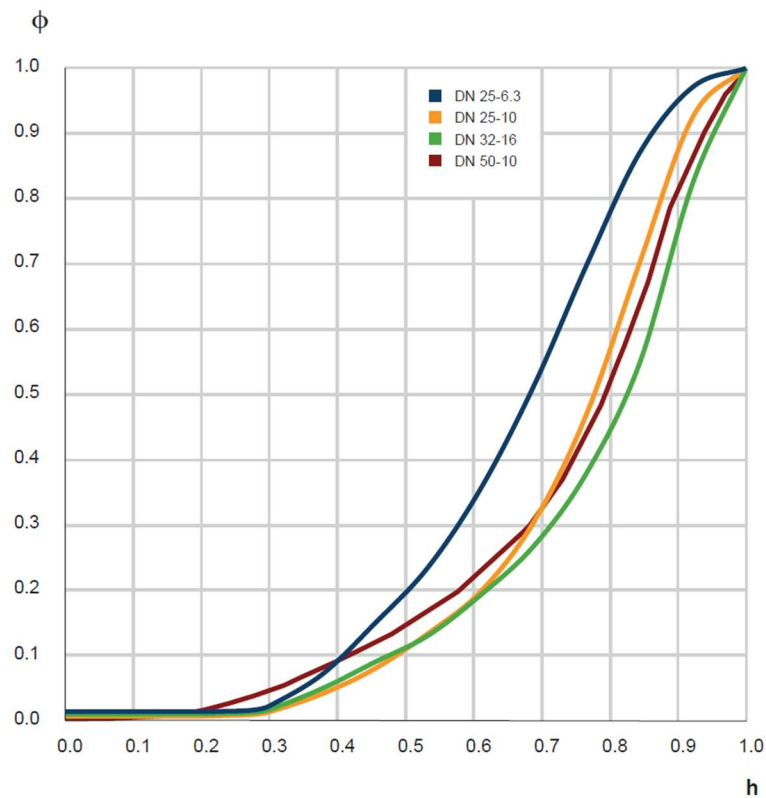
A golyósszelepnek köszönhetően a szelep zárásakor nincs szivárgás (az EN 60534-4, IV-S1 osztály szerint), ezért helyettesítheti a záró golyóscsapot.

A szabályozószelepeknél jelentkező kezdeti nyitási ponton az áramlás jelentősen megnő. Ez a fűtési és hűtési hőcserélő hirtelen teljesítmény növekedését eredményezi és megnehezíti a szabályozást zárás közeli állapotban (5. ábra). (5)



5. ábra Szabályozószelepek kezdeti ugrása (5)

Golyósszelepnél a szerkezeti kialakításnak köszönhetően ez a kezdeti ugrás nem jelentkezik, így kis mennyiséget is lehet szabályozni. A szelep karakterisztikája módosított egyenszázalék (EN 60534-2-4 és VDI/VDE 2173 szerint) (6. ábra).



6. ábra Szelepkarakterisztikák (1)

1.1.3. Beszabályozási lehetőségek MIXIT-el

A MIXIT DYNAMIC bővítéssel van lehetőség beszabályozásra is beszabályozás korlátozó funkciókkal. A négy korlát funkció:

- Beérkező térfogatáram korlát

A szelepen keresztüli primer áramlás korlátozásával minden egyes rendszer beszabályozható a hőigényüknek megfelelően azért, hogy biztosított legyen a többi körnek is a primer áramlás.

A szelep primer térfogatáramát ($Q_{\max}$) a szabályozott kör maximális térfogatáramára (1) állítjuk be. Ezzel egy új üzemi tartományt (2) állítunk be a szelephez. A szelep az áramlási tartományán belül (K_{vs} érték), mechanikai beállítás nélkül állítható.

- Visszatérő hőmérséklet korlát

A MIXIT-be integrált hőmérséklet-érzékelő figyeli a visszatérő hőmérsékletet. A visszatérő hőmérséklet határérték funkció használatával a hőmérsékletet a beállított fűtési határ alatt és a hűtési alapjel felett tarthatja a hőforrás magas hatékonyságának megőrzése érdekében.

- Hőteljesítmény korlát

A MIXIT konfigurálható úgy, hogy korlátozza a keverőkör által szolgáltatott hőteljesítményt. A teljesítménykorlát automatikusan korlátozza a szelep nyílását, a beállított teljesítménykorlát túllépésekor.

- Hőmérséklet-különbség korlát

A MIXIT konfigurálható úgy, hogy korlátozza a primer betáplálás és a visszatérő térfogatáram közötti hőmérséklet-különbséget. Ez különösen hasznos a távfűtésnél. (1)

2. Okos keverőkör működése és mérési eredményei

2.1. Épület jellemzői

A PÉTÁV Kft-nek az a nagyfogyasztó kiemelt partnere, amelynek lekötött teljesítménye meghaladja az 1 MW-ot. A Pécsi Tudományegyetem lekötött teljesítmény meghaladja az 19 MW-ot. A Műszaki és Informatikai Kar (továbbiakban MIK) épületeinek hőenergia ellátását is a PÉTÁV Kft. távfűtési rendszere látja el 4 hőközponton keresztül. Ezek:

- T204 - Oktatási épület
- T207 - Labor
- T277 - E81 csarnok
- T278 - G56 csarnok

A MIK a Pécsi távhőrendszer egyik végpontjához közel helyezkedik el. Az oktatási épület hőközpontja 2001. évben került kialakításra. Ez látja el az „A” jelű oktatási épületet és a „B” jelű tanügy épületét és az „A” épület alagsorában található Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft. (továbbiakban ÉMI).

- Szekunder hőfoklépcső: 80/60°C.
- Maximum primer vízmennyiség: 16,2 m³/h
- Maximum szekunder vízmennyiség: 47,4 m³/h
- Fűtési hőigény: 1300 kW
- HMV hőigény: 60 kW
- Lekötött csúcs: 600 kW

A labor hőközpontja szintén 2001-óta üzemel. A „C” épület fűtését látja, ahol a laborok és a 3D központ található.

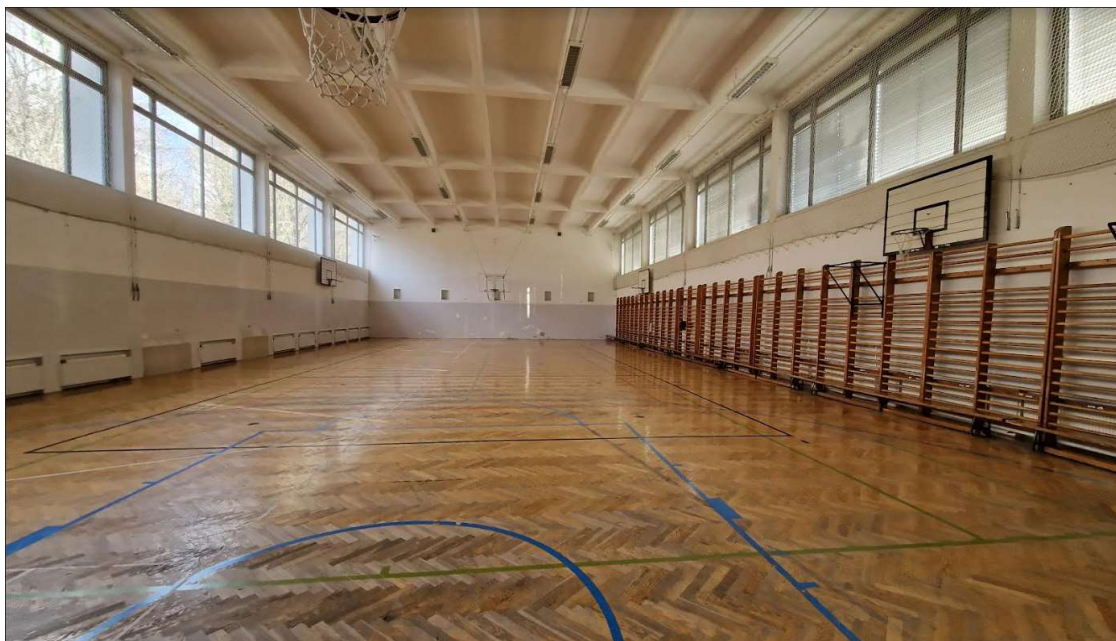
- Szekunder hőfoklépcső: 80/60°C.
- Maximum primer vízmennyiség: 5,5 m³/h
- Maximum szekunder vízmennyiség: 19,6 m³/h
- Fűtési hőigény: 460 kW
- Lekötött csúcs: 200 kW

Az E81 csarnok hőközpontja 2018-óta üzemel, az építésszek csarnokát látja fűtéssel.

- Szekunder hőfoklépcső: 75/57°C.
- Fűtési hőigény: 180 kW

Az G56 csarnok hőközpontja 2018-óta üzemel, a gépészek csarnokát látja fűtéssel és használati melegvízzel.

- Szekunder hőfoklépcső: 75/57°C.
- Fűtési hőigény: 120 kW
- HMV hőigény: 30 kW



1. ábra A tornacsarnok

A tornacsarnokban kétsöves kialakítású radiátoros rendszer van beépítve termosztatikus radiátorszelep nélkül.

2.1.1. Hőközpont névleges adatai

Primer előremenő hőmérsékelt: 125 °C

Primer visszatérő hőmérsékelt: 65 °C

Primer előremenő hőmérsékelt nyáron: 60 °C

Elhasználható Δp primer oldalon: 100 kPa

Szekunder hőfoklépcső: 80/60 °C

Fűtési rendszerek hőigénye:

- „B” épület fűtés, Északi oldal: 177 kW
- „B” épület fűtés, Déli oldal: 177 kW
- „A” épület radiátoros kör: 351 kW

- „A” épület légtechnikai és fan-coilos kör: 445 kW
- „A” épület tornaterem: 82 kW
- „A” falfűtési kör: 48 kW
- ÉMI radiátoros kör: 40 kW

A fűtési szekunder oldalon a hőközponti kompakt blokk a különböző teljesítmény és hőmérséklet igényű rendszerek egy hidraulikai váltóra csatlakoznak, így hidraulikailag függetlenek egymástól. A blokk szekunder oldalán beépített Grundfos MAGNA3 80-120F keringteti a vizet a fűtési hőcserélő és a hidraulikai váltó között. A hidraulikai váltóra csatlakozó 2-2 db osztó-gyűjtőről 7 db fűtési kör található. A nagyobbik osztó-gyűjtőn 4 db fűtési kör van, ami ellátja a „B” épület északi és déli oldala, valamint az „A” épület radiátoros és légtechnikai kör. A kisebbik osztó-gyűjtőn 3 db fűtési kör van, ami az ÉMI-t, a tornateremet és az „A” épület falfűtését látja el.

Minden fűtési kör külön keringtető szivattyúval és háromjáratú keverőszeleppel rendelkezik, kivéve az „A” épület felületfűtése, mert ennek a rendszernek az alacsony vízhőmérséklet előállítása hőközponton kívül történik.

- „B” épület fűtés, Északi oldal
 - $V = 7,79 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 4,5 \text{ m}$
 - Szivattyú: Grundfos UPE 40-120 F
 - Szelep: Honeywell DR65-GFLA DN 65; $k_{vs} = 63 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Szelepmozgató: Honeywell VMM20
- „B” épület fűtés, Déli oldal
 - $V = 7,79 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 4,5 \text{ m}$
 - Szivattyú: Wilo Stratos MAXO 40/0,5-12
 - Szelep: Honeywell DR65-GFLA DN 65; $k_{vs} = 63 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Szelepmozgató: Honeywell VMM20
- „A” épület radiátoros kör: 351 kW
 - $V = 15,43 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 4,6 \text{ m}$
 - Szivattyú: Grundfos MAGNA 50-120 F
 - Szelep: Honeywell DR65-GFLA DN 65; $k_{vs} = 63 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Szelepmozgató: Honeywell VMM20
- „A” épület légtechnikai és fan-coilos kör: 445 kW
 - $V = 19,1 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 4 \text{ m}$

- Szivattyú: Grundfos UPS 65-60/2 F
- Szelep: Honeywell DR80-GFLA DN 80; $k_{vs} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$
- Szelepmozgató: Honeywell VMM30
- „A” épület tornaterem: 82 kW
 - $V = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 3,5 \text{ m}$
 - Szivattyú: Grundfos MAGNA 40-120 F
 - Szelep: Honeywell DR50-GFLA DN 50; $k_{vs} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Szelepmozgató: Joventa MA2
- „A” falfűtési kör: 48 kW
 - $V = 2,11 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 4 \text{ m}$
 - Szivattyú: Wilo TOP-E 25/1-7
 - Szelep: Hőközponton kívül
- ÉMI radiátoros kör: 40 kW
 - $V = 1,76 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 1,5 \text{ m}$
 - Szivattyú: Grundfos MAGNA 40-120 F
 - Szelep: Honeywell DR50-GFLA DN 50; $k_{vs} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Szelepmozgató: Joventa MA2

A hőközponti kompakt blokk vezérlését a felújítás előtt két Daisy 520 DDC szabályozó végzi.

2.2. Szivattyú és keverőkör

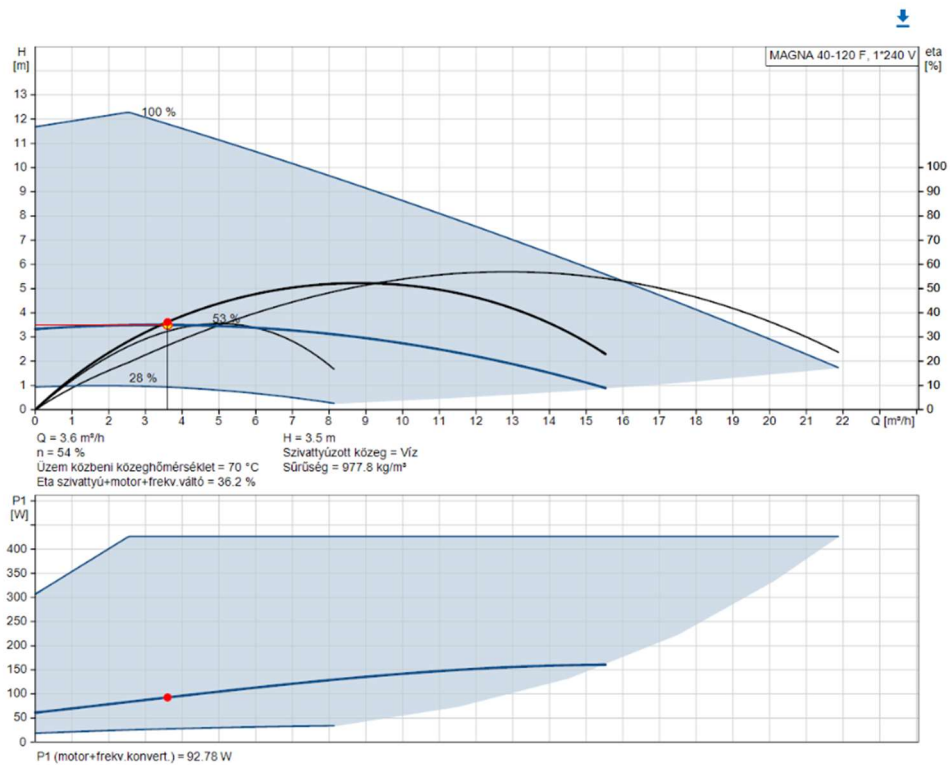
A korábbi Grundfos MAGNA 40-120 F szivattyú és Honeywell motoros szelep a Grundfos által ingyenesen biztosított MAGNA3 szivattyúra és MIXIT keverőszelepre lett cserélve.



7. ábra A keverőkör átalakítás előtt és után

A leváltott fűtési szivattyú: Grundfos MAGNA 40-120 F / 96513626

TELJESÍTMÉNY

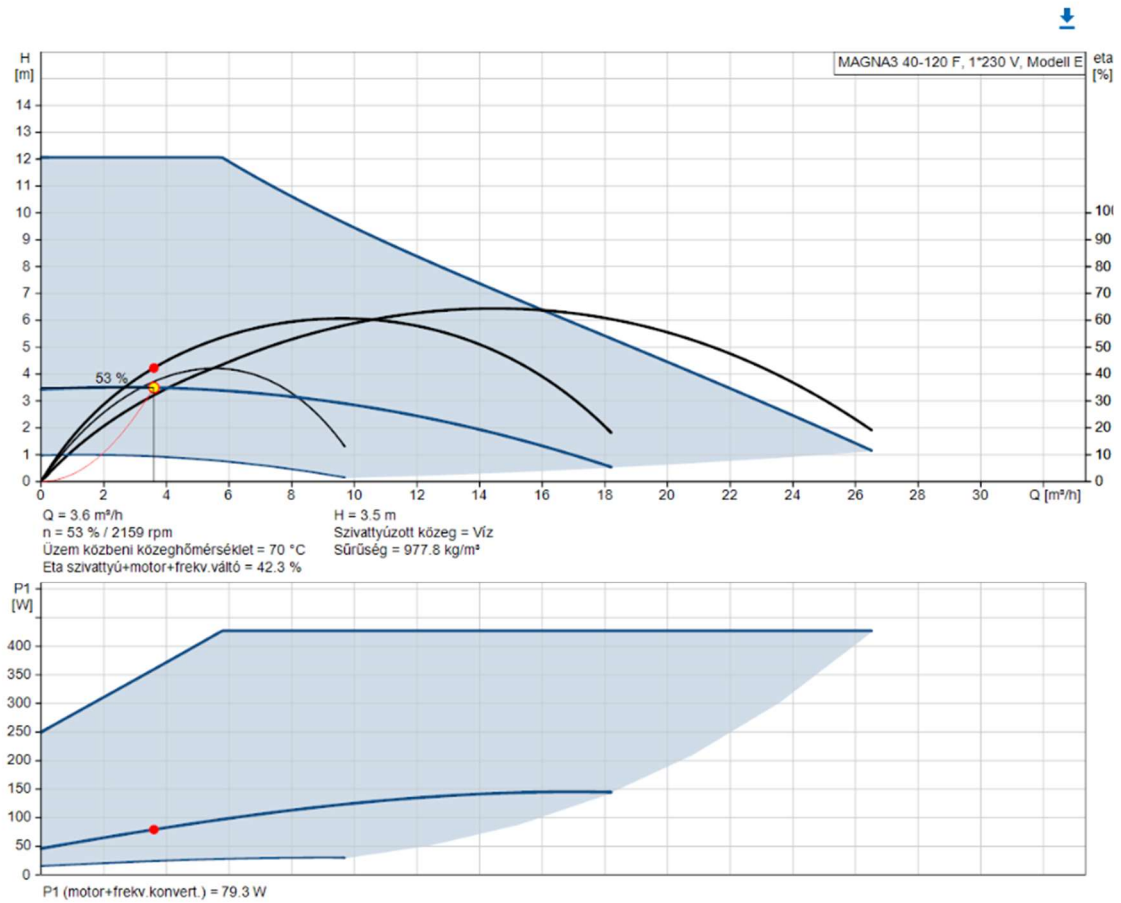


8. ábra MAGNA 40-120 F jelleggörbéje

2.2.1. Szivattyú kiválasztás

A szivattyú kiválasztásának az elsődleges szempontja, hogy a korábbi MAGNA szivattyúval megegyező méretű legyen. Ezért a beépítésre került fűtési szivattyú: Grundfos MAGNA3 40-120 F / 97924270

TELJESÍTMÉNY



9. ábra MAGNA3 40-120 F jelleggörbéje

Grundfos MAGNA3 40-120 F jelleggörbéje a 9. ábra mutatja. A felvett teljesítmény 79,3 W. Összevetve a korábbi MAGNA szivattyúval – ami 92,8 W – ez körülbelül 15 %-os csökkenés.

2.2.2. Szelepméretezés

Méretezéshez szükséges adatok:

A tornaterem fűtési hőigénye: $Q = 82 \text{ kW}$

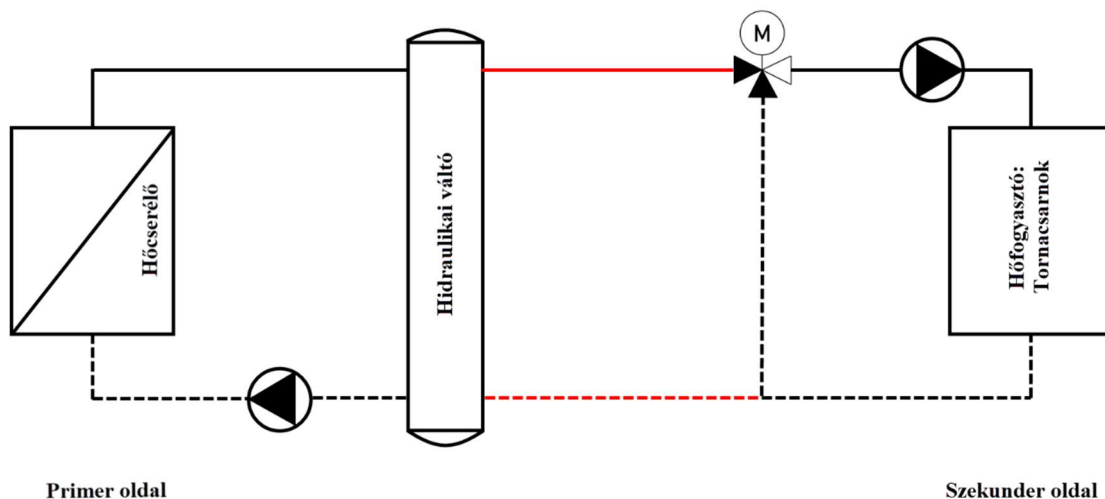
A szekunder hőfoklépcső: $80/60^\circ\text{C}$

A primer hőfoklépcső: $80/60^\circ\text{C}$, tehát a $\Delta t = 20^\circ\text{C}$

A víz sűrűsége (70°C-on): $\rho = 977,8 \text{ kg/m}^3$

A víz fajhője (70°C-on): $c = 4,187 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

A szelep méretezéséhez ismernünk kell tornateremi kör hidraulikai kapcsolását. Ebben az esetben a primer oldal a fűtési hőcserélő és a hidraulikai váltó közötti rész lesz. A szekunder oldal pedig a hidraulikai váltó és a hőfogyasztó közötti rész (10. ábra).



10. ábra Tornaterem hidraulikai kapcsolása

A primer és a szekunder hőfoklépcső azonos, ezért nincs fix visszakeverés beépítve, tehát a motoros szelepen a teljes szekunder oldali vízmennyiség áramlik át. A szekunder oldali tömegáram:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c * \Delta t} = \frac{82}{4,187 * (80 - 60)} = 0,979 \text{ kg/s}$$

A szekunder oldali térfogatáramhoz a tömegáramot el kell osztani a víz sűrűségével és azért, hogy végeredményt ne m^3/s értékben, hanem m^3/h kapjuk meg, meg kell szorozni 3600-al:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} * 3600 = \frac{0,979}{977,8} * 3600 = 3,61 \text{ m}^3/\text{h}$$

A 10. ábra pirossal jelöli azt a részt, a hidraulikai váltó és a szelep közti csőszakaszt, aminek a szabályozószelep a vízmennyiségét szabályozza. Ez a szakasz 2 x 7 méter hosszú

és a fajlagos súrlódási ellenállását 150 Pa/m értékre vettem fel. Így ennek a csőszakasznak az ellenállása:

$$\Delta p_{k\ddot{o}r} = 2 * 7 \text{ m} * 150 \text{ Pa/m} = 2100 \text{ Pa}$$

A szelep szükséges k_v -értéke:

$$k_v = \dot{V} * \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_{k\ddot{o}r}}} = 3,61 * \sqrt{\frac{100000}{2100}} = 24,88 \text{ m}^3/\text{h}$$

A MIXIT 40-25 (DN 40, $k_{vs} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$) szelep esetén a szelep ellenállása:

$$\Delta p_{szelep} = \left(\frac{\dot{V}}{k_{vs}} \right)^2 * \Delta p_0 = \left(\frac{3,61}{25} \right)^2 * 100000 = 2080 \text{ Pa}$$

A szelep autoritása:

$$P_v = \frac{\Delta p_{szelep}}{\Delta p_{k\ddot{o}r} + \Delta p_{szelep}} = \frac{2080}{2100 + 2080} = 0,5$$

A szelep ellenállása és az autoritás a MIXIT többi változatánál:

MIXIT 25-6,3: $\Delta p_{szelep} = 32748 \text{ Pa}$; $P_v = 0,94$

MIXIT 25-10: $\Delta p_{szelep} = 12998 \text{ Pa}$; $P_v = 0,86$

MIXIT 32-16: $\Delta p_{szelep} = 5077 \text{ Pa}$; $P_v = 0,71$

MIXIT 40-25: $\Delta p_{szelep} = 2080 \text{ Pa}$; $P_v = 0,50$

MIXIT 50-40: $\Delta p_{szelep} = 812 \text{ Pa}$; $P_v = 0,28$

A meglévő DN 50-es szelepet kisebbre kell cserélni, mert a MIXIT 50-40 ellenállása és autoritása túl kicsi. Az autoritás és szeleppenállás alapján két szelep választható, a kisebb, MIXIT 32-16 ellenállása még nem túl magas, viszont olcsóbb opció. Ennek ellenére a választott változat a MIXIT 40-25 az ideális autoritás és szeleppenállás miatt.

2.3. A mérés

A mérés célja, hogy a MIXIT beállításainak módosításával vizsgáljam a rendszerre gyakorolt hatását, mind a villamosenergia és hőenergia felhasználását, mind a rendszer stabilitását, távfelügyeletre gyakorolt hatását és a módosítások esetleges belső hőkomfortra gyakorolt hatását. A keverőszelep korlátozó funkcióit és a szivattyú vezérlési módjait változtattam ehhez.

Az alkalmazott korlátozó módok:	A szivattyú vezérlési módok:
- Korlátozás nélkül - Visszatérő hőmérséklet korlát - Δt korlát - Hőteljesítmény korlát	- AUTOADAPT - Arányos nyomás - Állandó nyomás - Állandó térfogatáram

A tornacsarnokban van éjszakai fűtésleállítás 21:00-tól másnap reggel 6:00-ig. A fűtés leállást a Daisy szabályozóval úgy oldjuk meg, hogy a számított alapjelhez időprogramban egy -128 °C-os eltolást adunk. Ekkor a szelep teljesen lezár, és a Daisy a szivattyúnak kikapcsoló jelet küld.

A hőfokgörbe értékeit az alábbi táblázat mutatja be.

Külső levegőhőmérséklet	Elméleti előremenő hőmérséklet
-20 °C	84 °C
-8 °C	70 °C
5 °C	52 °C
20 °C	30 °C

A méréshez a MIXIT-et irányító DAISY 520-ast 10 perces adatgyűjtésre állítottam. A legyűjtött és a mérés kiértékeléséhez használt adatok a következők:

- Külső hőmérséklet [°C]
- Fűtési hőteljesítmény [kW]
- Szelep előremenő hőmérséklet [°C]
- Szekunder előremenő hőmérséklet [°C]
- Szelep visszatérő hőmérséklet [°C]
- Fűtés hőmérséklet különbség [°C] A szelep előremenő és visszatérő hőmérséklet különbsége.
- Szelep nyitás [%]
- Fűtési hőenergia (Göngyölt) [kWh]
- Szivattyú térfogatáram [m³/h]
- Szivattyú emelőmagasság [m]
- Szivattyú sebesség [%] A szivattyú maximális fordulatszámához képest.

- Szivattyú energia [kWh]
- Szivattyú üzemóra [h]
- Számított alapjel [°C] A hőfokgörbe és - ha van, - az időprogram beállításai alapján, a pillanatnyi külső hőmérséklethez tartozó elméleti előremenő hőmérséklet számított értéke.

Annak érdekében, hogy a belső levegő minőségéről is kapjunk egy képet, egy hőmérséklet érzékelőt helyeztünk el az Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék munkatársával. Ez a hőmérsékletérzékelő is 10 perces adatgyűjtésre van beállítva, mint a hőközpont adatgyűjtése. Ezzel az érzékelővel legyűjtött és a mérés kiértékeléséhez használt adatok a következők:

- Belső hőmérséklet [°C]
- Belső páratartalom [%]
- Fényerő (Lux) [lx]

Így a belső hőmérsékleti adatok birtokában, a MIXIT korlátok beállításával mért adatok még értékelhetőbbek lettek.

2.3.1. Adatgyűjtés megkezdése

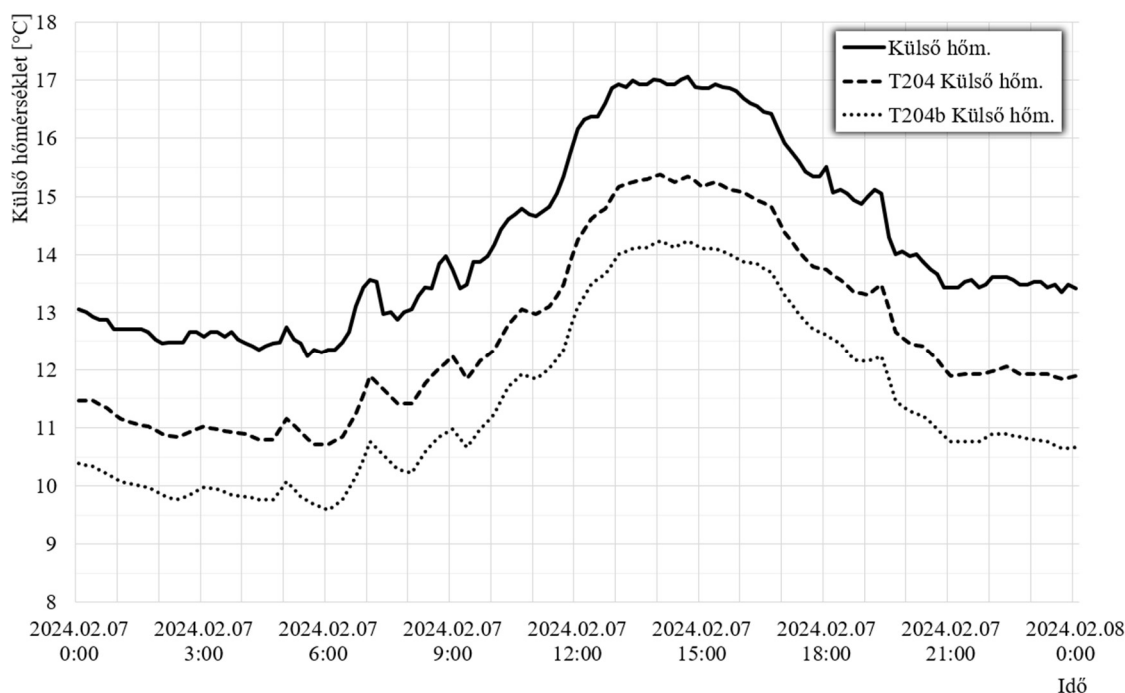
A MIXIT 2023 októberében került beépítésre, de a távfelügyeletbe kötés és adatgyűjtés csak 2024. február 02-án kezdődött. Az adatgyűjtés során észleltem pár hibát, amiket javítani kellett, mielőtt értékelhető adatokat gyűjthettem. Az első hét az alábbi hibák feltárásával és javításával telt:

- A szivattyúról érkeztek ugyan adatok - mint például az emelőmagasság, térfogatáram, üzemóra vagy fordulatszám -, de ezeket az adatokat nem gyűjtötte le a szoftver.
- A szivattyú nem állt le meleg időjárás esetén és az éjszakai leállás során sem.
- Az éjszakai fűtésleállás időprogramja nem volt egységes minden napra.

Az adatok figyelése közben feltűnt, hogy a külső hőmérséklet értékek magasabbak, mint a PÉTÁV központi hőmérséklet adatai. Mielőtt elkezdtem az adatgyűjtést, ezeket a hőmérséklet eltéréseket figyeltem meg.

A hőközpontot három DAISY 520-as DDC szabályozó szabályozza mindegyik önálló PT1000-es külső hőmérséklet érzékelővel. A február 7-ei adatokat vizsgálva megállapítottam, hogy a három érzékelő közel 3 °C-os

eltérést mutat (lásd: 11. ábra). Megvizsgáltam a PÉTÁV Tüzér utcai telephelyét, ahol szintén három külső hőmérséklet érzékelő van és ezek is közel 3 °C-os eltérésben vannak egymástól. Ennek ellenére elfogadhatónak tartom ezeket az értékeket, mert ez az eltérés konstans, így az adatok egymással összevethetők. Azért, hogy korrigáljam a hőmérsékleti értékeket február 28-tól a szivattyú meleg időjárás esetén a lekapcsolási hőmérsékletét 18,5 °C-ról 20 °C-ra, a visszakapcsolási hőmérsékletét 17 °C-ról 18,5 °C-ra növeltem, így a tornaterem szivattyúja a blokkshivattyúval közel azonos külső körülmények mellett áll le.



11. ábra A MIK hőközpontjának külső hőmérséklet értékei

Február 8-tól - a hibák javítását követően - a gyűjtött adatok már elemezhetőek lettek.

2.4. Korlátok vizsgálata

A cél, hogy megvizsgáljam a korlátozó módok működését és hőenergiára gyakorolt hatását. Azért, hogy a tornacsarnok hőkomfortját ne befolyásoljam drasztikusan a belső hőmérsékletet folyamatosan nyomon követtem és a korlátokat úgy állítottam be, – figyelembe véve az időjárás előrejelzéseket – hogy ne okozhasson jelentős fűtéselmaradást. A vizsgált időszak február 8-tól április 8-ig - a fűtés leállásáig - tartott.

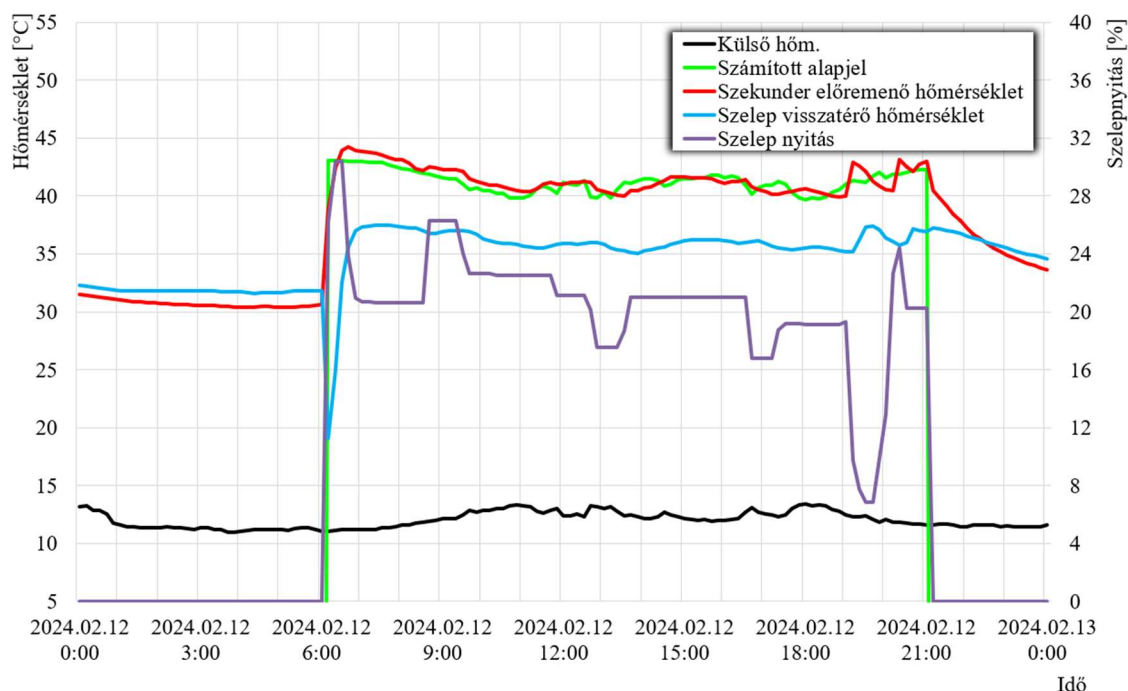
Egy korlátozó módot többször is beállítottam, hogy a lehető legkülönbözőbb külső hőmérsékletek között is tesztelve legyenek.

	1. vizsgált időszak	2. vizsgált időszak	3. vizsgált időszak
Korlát nélkül	02.08-02.13	02.24-03.04	03.22-04.08
Visszatérő hőm. korlát	02.14-02.23	03.05-03.07	
ΔT korlát			
Visszatérő hőm. korlát + Hőteljesítmény határ	03.08-03.21		

Azokat a napokat, amikor a külső hőmérséklet elérte a 20 °C-ot nem vettem figyelembe, mert a szivattyú automatikusan leáll a meleg időjárás miatt és csak akkor kapcsol vissza, amikor 18,5 °C-nál hidegebb lesz.

2.4.1. Korlát nélküli szabályozás

A MIXIT az előremenő hőmérsékletet szabályozza a számított alapjel szerint.

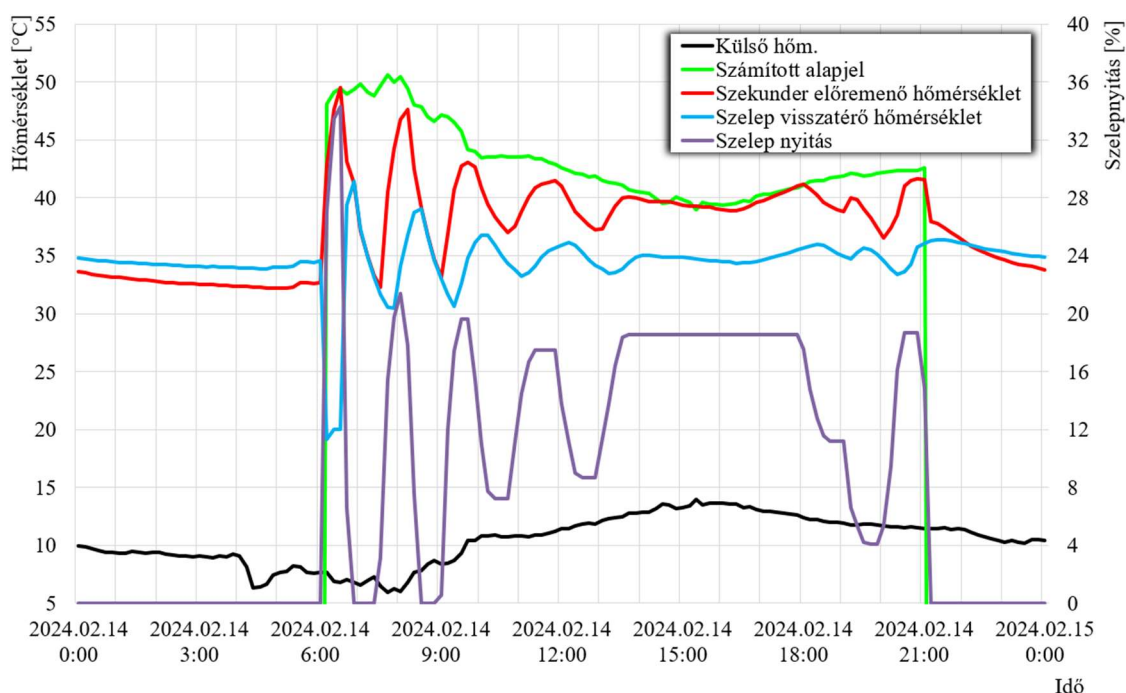


12. ábra Korlát nélküli szabályozás

Az ábrán (12. ábra) látható a február 12.-i nap fűtés szabályozása, amikor nincs korlát beállítva. A fűtés 6:00-kor indult, ekkor az időprogram szerint a $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os eltolás megszűnik, a szivattyú elindul és a számított alapjel a hőfokgörbe értékét veszi fel, ami $11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os külső hőmérsékletnél $43\text{ }^{\circ}\text{C}$. A szekunder előremenő hőmérséklet $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ez $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os elmaradás a parancsolt értéktől ezért a szelep nyit. 6:20-kor az előremenő hőmérséklet eléri a számított alapjelet és a szelep egész nap $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os túréssal – ami egy ilyen rendszernek tökéletes - szabályozza a fűtést 21:00-ig, amikor a fűtés leáll.

2.4.2. Visszatérő hőmérséklet korlát

Ebben az esetben is a számított alapjelre történik a szabályozás mindaddig, amíg a visszatérő hőmérséklet az előre beállított értéket átlépi, ekkor a szabályozónak ez lesz az elsődleges szabályozási értéke, amíg nem csökken le a visszatérő hőmérséklet a beállított érték alá. A tornacsarnok fűtési körén $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra állítottam a korlátot.



13. ábra Visszatérő hőmérséklet korlát

Az ábrán (13. ábra) látható a február 14.-i nap fűtés szabályozása, amikor a 35 °C-os visszatérő korlát aktív volt. A fűtés hasonlóan indul a korlát nélküli szabályozáshoz. A különbség akkor jelentkezik, amikor 6:40-kor a visszatérő hőmérséklet 35 °C fölé emelkedik. Ekkor függetlenül a számított alapjeltől a szelep zárni fog, amíg a visszatérő hőmérséklet 35 °C alatt nem lesz, utána a szelep addig nyit, amíg el nem éri a számított alapjelet vagy ismét nem megy a visszatérő hőfok 35 °C fölé. 14:00 és 18:00 óra között a visszatérő hőmérséklet 35 °C alatt volt ezért a korlát nem aktiválódott, a szelep úgy működött, mint korlát nélkül. 18:00 után a magasabb hőmérsékletek miatt újra aktiválódott a korlát.

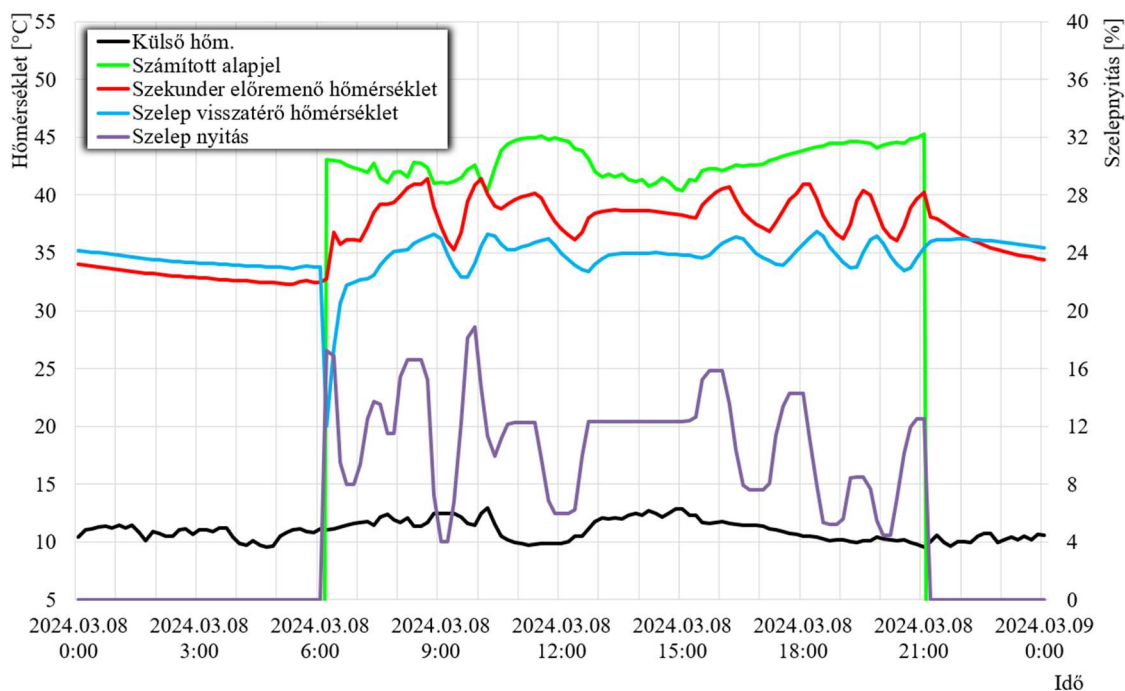
2.4.3. ΔT korlát

Hasonlóan a visszatérő hőmérséklet korláthoz itt is az előremenő hőmérsékletre történik a szabályozás viszont a korlát értéke nem egy fix érték, hanem a szelep előremenő hőmérséklet függvénye. A tornacsarnok fűtési körén 10 °C-ra terveztem állítani a hőmérséklet különbség korlátot, így a visszatérő hőmérsékletnek minimum 10 °C-al alacsonyabbnak kellett volna lennie, mint a szelep előremenő hőfoknak különben a

korlátozás aktiválódott volna és zárt volna a szelep. Sajnos nem ezt a korlátozó funkciót nem sikerült alkalmaznom a 2023/24-es fűtési szezonban. Ennek okát még keresem.

2.4.4. Hőteljesítmény határ

A MIXIT a fűtési hőteljesítményt számítja és adatként le is gyűjti. A korlát alkalmazásakor a megadott hőteljesítmény elérésekor a számított alapjel helyett ez lesz az elsődleges szabályozási értéke.



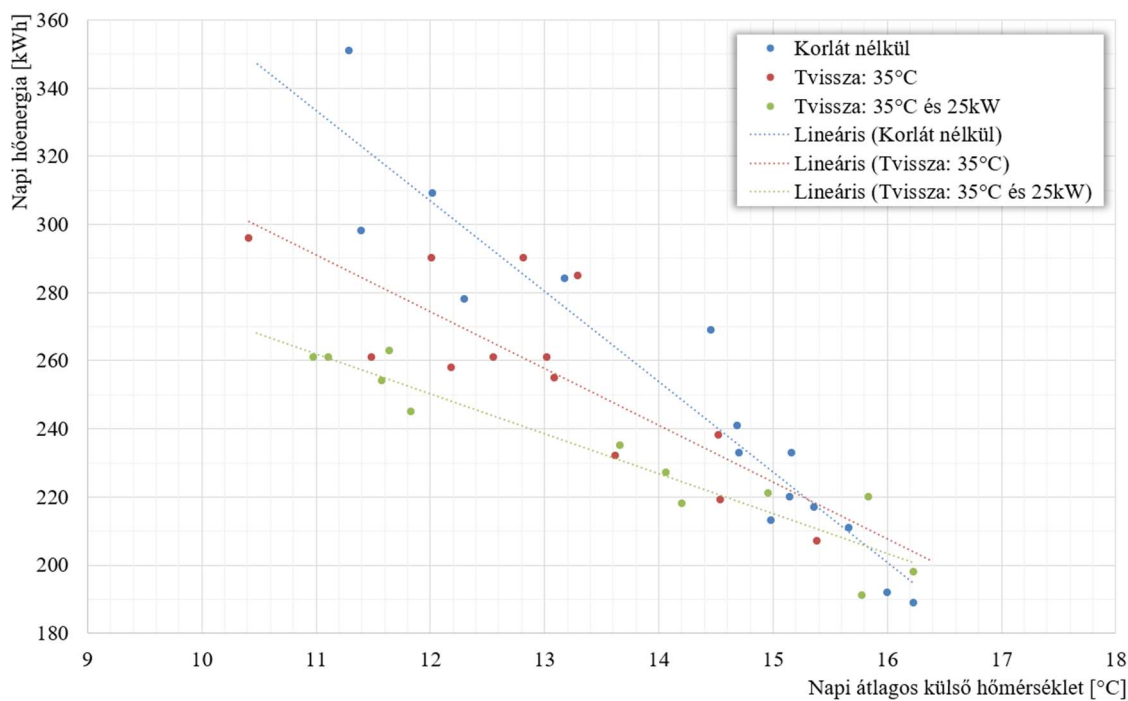
14. ábra Hőteljesítmény és visszatérő hőmérséklet korlát

A 2.5.2-es fejezetben kifejtett indok miatt alkalmaztam a visszatérő hőmérséklet és a hőteljesítmény határ korlátokat egyidőben. A 35 °C-os visszatérő hőmérséklet korláton felül 25 kW hőteljesítmény határ is be lett állítva. A számított alapjelen felül így két érték is korlátozhatja a szelep nyitását.

2.4.5. Korlátok összehasonlítása hőenergia felhasználás szerint

Arra számítottam, hogy a napi hőenergia felhasználás kevesebb lesz, amikor egy korlát aktív, hiszen ilyenkor kevesebb primer víz és ezáltal kevesebb hőenergia kerül a fűtési körbe. A napi hőenergia felhasználást a göngyölt fűtési hőenergia értékéből – ami egy gyűjtött adat - számítottam úgy, hogy az adott nap éjszéli értéket kivontam az előző nap

éjféli adatából. A napi átlagos külső hőmérsékletet pedig a 10 perces adatok átlaga alapján határoztam meg.



15. ábra Napi hőenergia a napi külső átlaghőmérséklet függvényében

A (15. ábra) mutatja a napi hőenergia felhasználást a külső hőmérséklet függvényében. A jelölések a következők:

- Kék pont: azok a napok, amikor nem volt korlát beállítva
- Piros pont: azok a napok, amikor a visszatérő hőmérséklet korlát 35 °C volt
- Zöld pont: azok a napok, amikor a 35 °C-os visszatérő hőmérséklet korlát mellett a hőtéljesítmény határ 25 kW-ra volt beállítva
- Szaggatott vonalak mutatják a trendvonalakat a három korlát szerinti opcióhoz

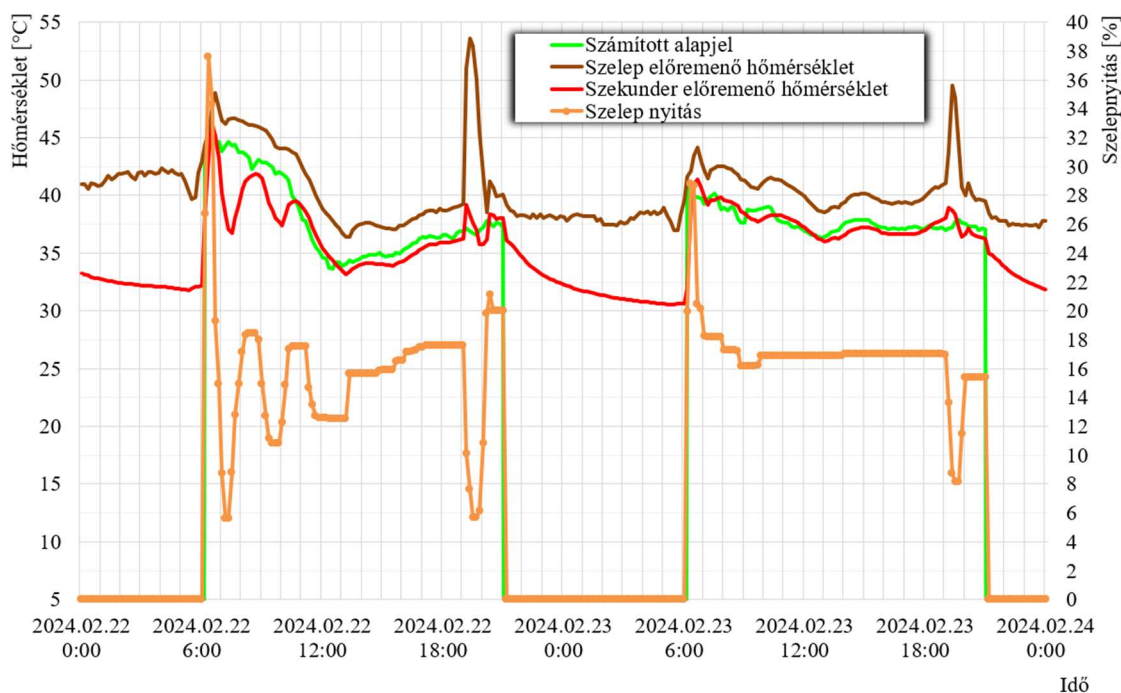
A trendvonalak jól mutatják, hogy alacsonyabb hőmérsékletek mellett a hőenergia kevesebb, amikor a korlátok aktívak. Magasabb külső hőmérsékletnél a trendvonalak találkoznak, mivel ilyenkor az előremenő hőmérséklet is alacsony, ezért nem érvényesülnek a korlátozó funkciók. A hőenergia csökkenését az okozza, hogy a MIXIT nyitja a bypass ágot, ha a valamelyik korlát aktív. Például, ha a visszatérő hőmérséklet magasabb, mint 35 °C. Ezáltal kevesebb primer vizet és ezáltal kevesebb hőenergiát enged a körbe.

2.5. A keverőkör finomhangolása

A stabil szabályozás eléréséhez meg kell teremteni a szelep számára azokat a feltételeket, hogy a felesleges szelepnýtásokat és -zárásokat elkerüljük vagy minimalizáljuk. Az adatokat elemezve, azonban megfigyelhető két olyan zavaró tényező is, amikor a szelep feleslegesen mozog. Az egyik a hőközpont többi fűtési körének zavaró hatása az esti órákban. a másik a visszatérő hőmérséklet korlát alkalmazása, főleg a délelőtti órákban.

2.5.1. A hőközpont időprogramjának módosítása

A hőközpont többi fűtési köre egy időpontban (19:00kor) állt le. Ennek következtében, minden fűtési kör szivattyúja egy időben állt le és a motoros szelepek is egy időben zártak le. Ekkor a hőközpont hőigénye hirtelen lecsökkent, de a primer oldali motorosszelep zárása lassabb folyamat, átmenetileg a hőcserélőre ugyanannyi primer víz érkezett, de a szekunder oldal ezt a hőt már hasznosítja. Az ábrán (16. ábra) látható, hogy a szelep előremenő hőmérséklet 19:00 és 20:00 óra között megugrik. A MIXIT arra kényszerül - a túlfűtés elkerülése miatt -, hogy zárja a szelepet. A primer oldali motorosszelep zárása után, rövid időn belül helyreáll a hőmérséklet a hidraulikai váltón és a MIXIT-nek – most a fűtéselmaradás elkerülése miatt - újra nyitni kell a szelepet.



16. ábra Szelepnitás az időprogram módosítása előtt és után

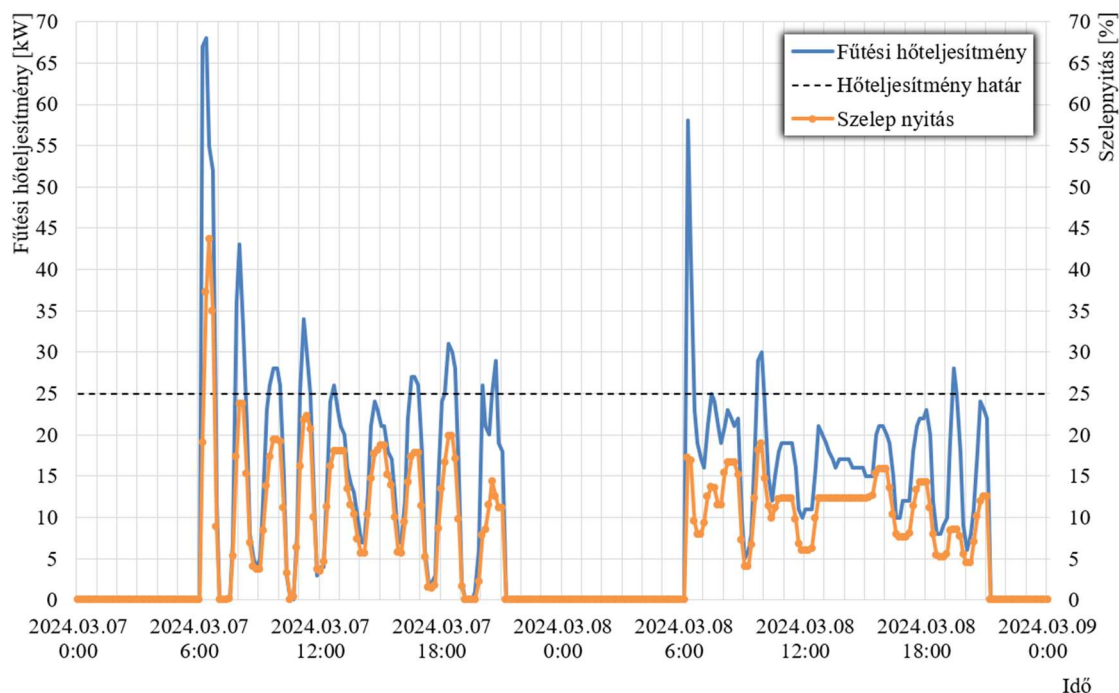
A szelep előremenő hőmérséklet kilengésének csökkentése reményében a többi fűtési kör időprogramját február 23-án egymástól 5 perccel eltoltam, hogy a hirtelen szeleplezárások ne egy időben történjenek. Ennek hatására az ábra (16. ábra) jobb oldalán látható módon a szelep előremenő hőmérsékletének kilengése kisebb lett és így a szelep zárása, majd nyitása is kisebb lett. A távhőrendszerben máshol is alkalmazunk ilyen pár perces eltolást az éjszakai csökkentésben, hogy ne minden hőközpontban egyszerre történjen a szelepek zárása, majd a hajnali órákban a nyitása, hogy a hirtelen teljesítmény csökkenést és növelést elkerüljük.

A vizsgált időszakban a szelep előremenő hőmérsékletének a kilengését figyeltem úgy, hogy minden nap a 18:50-es és a 19:20-as adatok hőmérséklet különbségének átlagát vettem figyelembe. Az átlag hőmérséklet kilengés az időprogram beavatkozása előtt 17,04 °C volt, után pedig 9,32 °C-ra csökkent.

2.5.2. Hőmérséklet lengések visszatérő hőmérséklet korlát alkalmazásakor

Az éjszakai leállás miatt reggelre a fűtési rendszerben a víz hőmérséklete alacsony. A fűtés indításával a MIXIT az elméleti előremenő hőfokig nyitja a szelepet, ami a külső hőmérséklet függvényében változik, hidegebb külső hőmérséklet esetén az elméleti

előremenő magasabb. A beállított visszatérő hőmérséklet korlát azonban egy fix érték, a tornacsarnok körén 35°C . Viszont a magas előremenő hőmérséklet miatt a visszatérő hőmérséklet is nagyobb lehet 35°C -nál. A magas visszatérő hőfok azonban csak késleltetve jelenik meg a körön, a szelep zár és mire az alacsonyabb hőfok megjelenik a visszatérő ágon addig a szelep túlzár. Ez a jelenség az ábra (17. ábra) bal oldalán, a március 7-i adatokon jól látható nemkívánatos nyitást, zárást eredményez a szelepen.

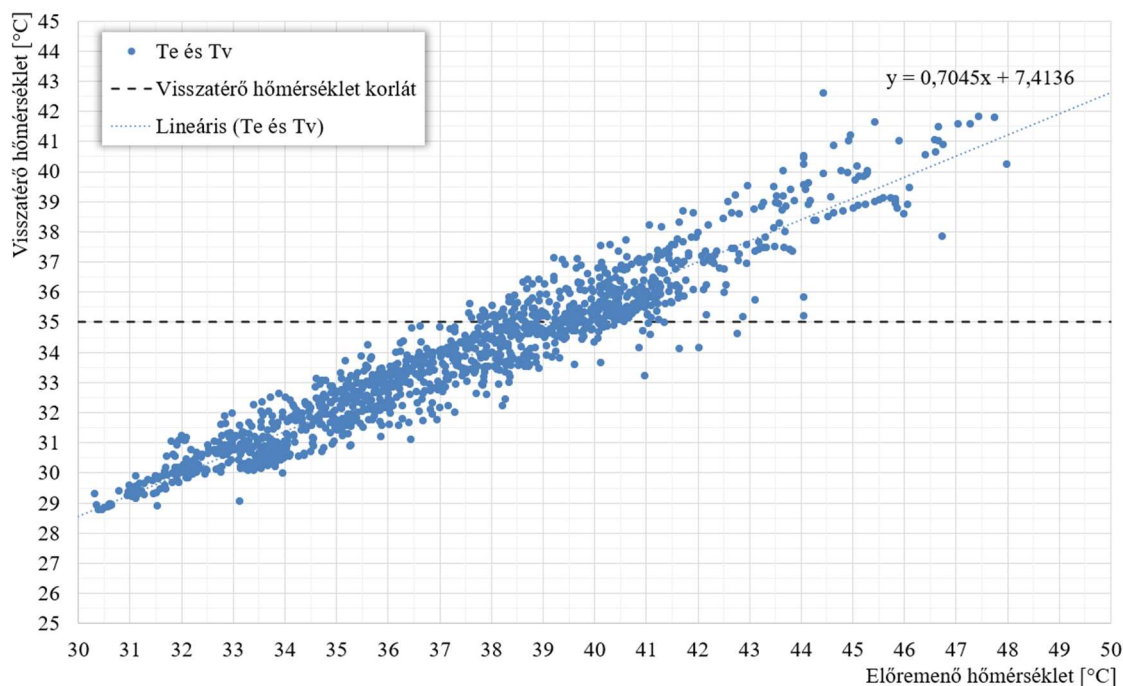


17. ábra Hőteljesítmény

Ennek elkerülése miatt változtattam a PI szabályozást, az integrálási időt (T_i) növeltem, de az adatok alapján ezt az ingadozást nem lehet kiküszöbölni a PI szabályozás állításával. Másik megoldás a hőteljesítmény korlát alkalmazása, hogy a szelep túlnyitását elkerüljük. Március 8-án fűtésindulás előtt az előző nap értékei alapján egy 25 kW-os hőteljesítmény korlátot állítottam be a rendszerbe a 35°C -os visszatérő hőmérséklet korlát mellett. Ennek a korlátnak az előnye, hogy a korlátot kiváltó ok nem késleltetve jelenik meg a visszatérő ágban, hanem a szelep előremenő hőmérséklet, a visszatérő hőmérséklet és a tömegáramból számított értékből. Az ábra (17. ábra) jobb oldalán, a március 8-i adatokon látható, hogy a szelep nem nyitott túl fűtésinduláskor és ezért egész nap stabilabb lett a működése, mint a korábbi napon, amikor nem volt hőteljesítmény korlát.

2.5.3. Hőfokgörbe alkalmazása visszatérő hőmérséklet korlátnál

A MIXIT korlátok fix értékek, például a visszatérő hőmérséklet korlátot 35 °C-ra vettem fel, de épületfelügyeleti rendszerben (BMS) megoldható lehet külső hőmérséklet függvényében megadni a korlát értékét. Ebben a fejezetben arra kerestem a választ, hogy amikor nem volt korlát alkalmazva, akkor milyen összefüggés volt a visszatérő hőmérséklet és a belső hőmérséklet között. Először a visszatérő hőmérséklet értékét határoztam meg az előremenő hőmérséklet függvényében. Csak azokat az értékeket vettem alapul, amikor a szivattyú legalább 1 órát üzemelt – általában reggel 7:00tól – azért, hogy biztosan átcirkulálja a teljes rendszert.

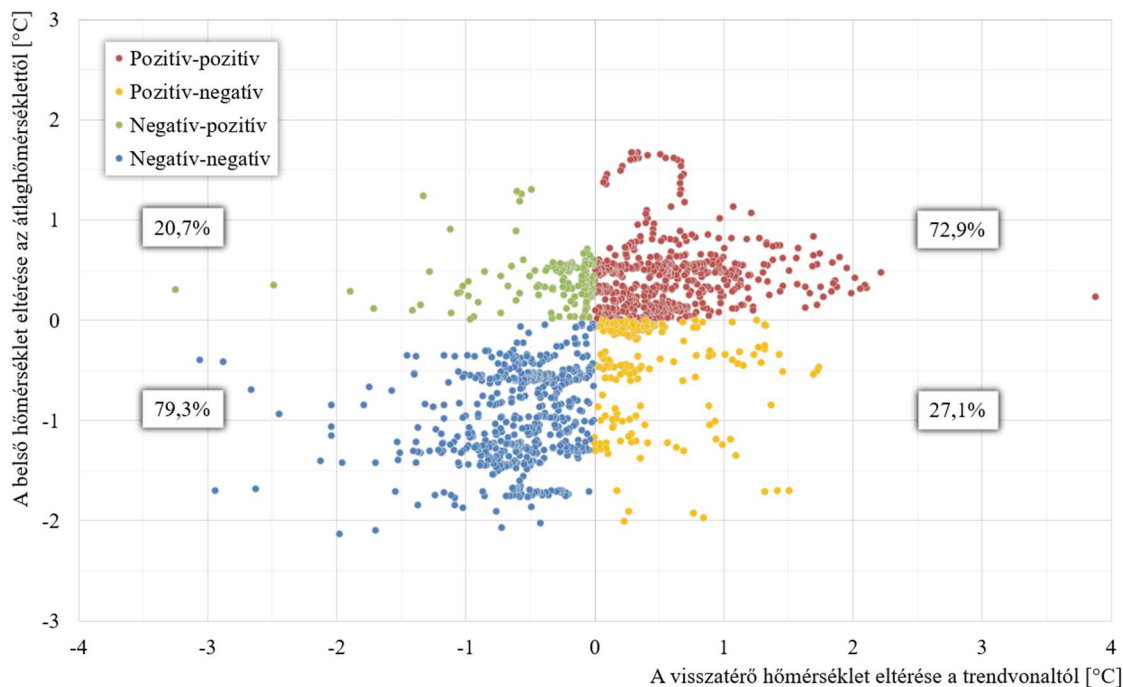


18. ábra Visszatérő hőmérséklet az előremenő hőmérséklet függvényében

Az ábra (18. ábra) a visszatérő hőmérséklet értékét mutatja az előremenő hőmérséklet függvényében, amikor semelyik korlát sem volt aktív. A szaggatottan jelölt, konstans 35 °C-hoz képes jól kivehető, hogy magasabb előremenő hőmérséklethez magasabb visszatérő hőmérséklet tartozik. Egy trend is kirajzolható az adatokból melynek matematikai képlete:

$$T_{vissza} = 0,7045 * T_{előre} + 7,4136$$

A következő lépésben az vizsgáltam, hogy a belső hőmérséklet és a visszatérő hőmérséklet között tapasztalható-e összefüggés. Ehhez 10 percenként meghatároztam az átlagos belső hőmérsékletet - amit a 2.7 fejezetben részletezek – és ezt vettem össze a visszatérő hőmérséklettel. Mivel a tornacsarnokban nincs belső szabályozás, termosztatikus radiátorszelep ezért a feltételezésem az volt, hogy magasabb belső hőmérséklet mellett a visszatérő hőmérséklet is magasabb lesz.



19. ábra Belső hőmérséklet és a visszatérő hőmérséklet eltérése

Az ábra (19. ábra) X tengelyén a visszatérő hőmérséklet értékeit mutatja. Negatív irányban, amikor alacsonyabb és pozitív irányban, amikor magasabb volt a korábban meghatározott trendvonalától. Az Y tengelyen a belső átlaghőmérséklethez való eltérést mutatja abban a mérési időben, amikor visszatérő hőmérséklet értéke volt. Az ábrát négy részre osztottam, ezek a következők:

- Piros színnel: magasabb visszatérő mellett magasabb belső hőmérséklet
- Sárga színnel: magasabb visszatérő mellett alacsonyabb belső hőmérséklet
- Zöld színnel: alacsonyabb visszatérő mellett magasabb belső hőmérséklet
- Kék színnel: alacsonyabb visszatérő mellett alacsonyabb belső hőmérséklet

Amikor a trendhez képest magasabb visszatérő hőmérséklet volt az idő 72,9 %-ban magasabb volt a belső hőmérséklet és 27,1 %-ban volt alacsonyabb. Amikor alacsonyabb

volt a visszatérő hőmérséklet, akkor az idő 79,3 %-ban alacsonyabb volt a belső hőmérséklet és 20,7 %-ban volt magasabb. Ezek alapján a feltételezés, miszerint a magasabb belső hőmérséklet magasabb visszatérő hőmérsékletet okoz helyesnek mondható.

Amennyiben lenne belső szabályozás, akkor ilyen összefüggést nem lehetne megállapítani, mert akkor a szelep lezárhatna, és a keringtetett víz visszatérne a körön anélkül, hogy a radiátoron lehülhetne.

Az adatok trendvonala alapján számított elméleti visszatérő hőmérséklet a következő képlettel számítható:

$$T_{vissza} = 0,7045 * T_{előre} + 7,4136$$

A hőfokgörbe értékeit kiegészítve egy elméleti visszatérő hőmérséklet az alábbi táblázat mutatja be.

Külső hőmérséklet	Elméleti előremenő hőmérséklet	Elméleti visszatérő hőmérséklet
-20 °C	84 °C	67 °C
-8 °C	70 °C	57 °C
5 °C	52 °C	44 °C
20 °C	30 °C	29 °C

Előnyös lehetne egy fix korlát helyett egy külső hőmérséklet függvényében beállított korlát alkalmazása, amit hasonlóan lehetne állítani az elméleti előremenő hőmérsékletéhez, hőfokgörbéhez hasonlóan. Ennek vizsgálatára már nem volt lehetőségem.

A MIXIT másik három korlátjára is lehetséges külső hőmérséklet függvényében görbét állítani.

2.6. Szivattyú vezérlés

A szivattyú vezérlési módokat a táblázatban jelölt időpontokban és módokon vizsgáltam.

	1. vizsgált időszak	2. vizsgált időszak
AUTOADAPT	02.08-02.26	04.04-

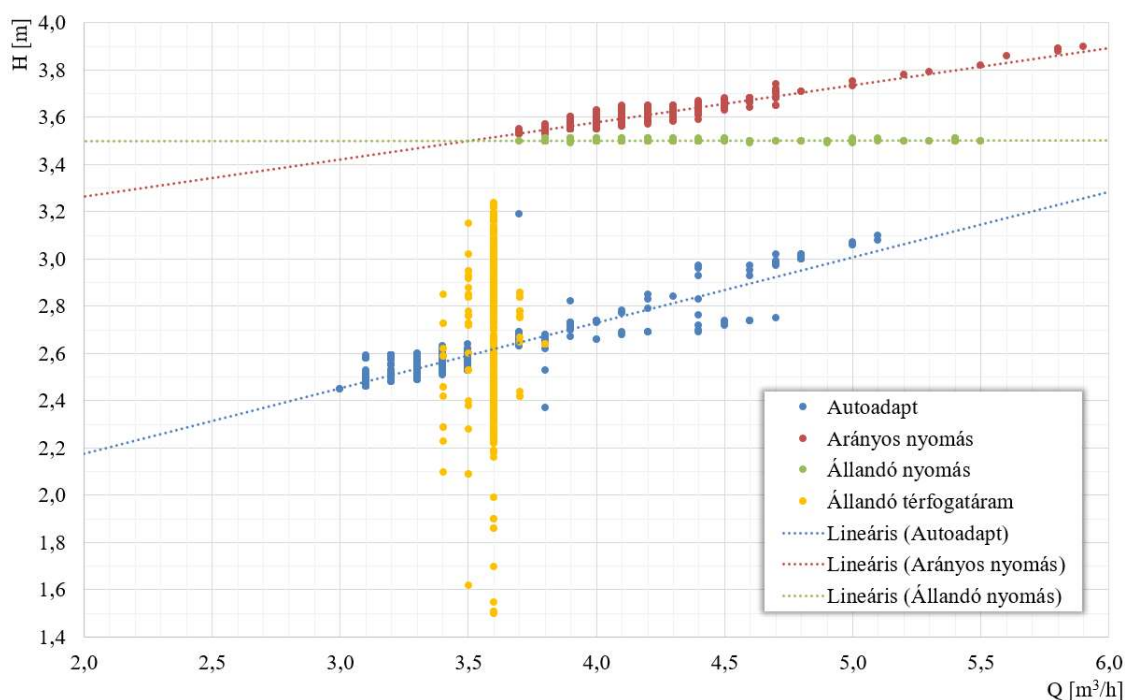
Arányos nyomás	02.26-03.05	03.21-04.04
Állandó nyomás	03.05-03.17	
Állandó térfogatáram	03.17-03.21	

A szivattyú referencia munkapontját a méretezési állapot értékére vettem fel, tehát a MIXIT-nek megadott paraméterek a szállítómagasságra 3,5 m; a térfogatáramra 3,6 m³/h. Vezérlési módtól függően nem lehetséges mindkét értéket megadni, hiszen az állandó nyomás tartásnak a lényege, hogy a megadott nyomásértéket tartja a szivattyú változó térfogatáram mellett, az állandó térfogatáramnál pedig a térfogatáramot tartja változó nyomás mellett. Az AUTOADAPT vezérlési módban pedig egyik érték megadása sem lehetséges, mert azokat a szivattyú a saját algoritmusa alapján határozza meg. Ez a mód jó lehet azokon a rendszereken, ahol a méretezési állapot értékei nem ismertek vagy nem pontosak.

A szivattyú alapjel értékeit az alábbi táblázatban írtam össze.

Vezérlési mód	Szállítómagasság [m]	Térfogatáram [m ³ /h]
AUTOADAPT	-	-
Arányos nyomás	3,5	3,6
Állandó nyomás	3,5	-
Állandó térfogatáram	-	3,6

Az ábrán (20. ábra) látható a különböző vezérlési módok munkapontjai.



20. ábra A szivattyú munkapontja

Állandó térfogatáram módban a szivattyú 3,4-3,8 m³/h között tartotta a beállított 3,6 m³/h térfogatáramot, tehát $\pm 0,2$ m³/h szórással, lényegében Q =állandó mentén szabályozott. A szivattyú emelőmagassága 1,5-3,2 m, a felvett teljesítmény 34-74 W között változott.

Állandó nyomás módban H =állandó mentén történt a szabályozás. A vizsgált időszakban szivattyú emelőmagassága pontosan 3,5 m. A szivattyú által szállított térfogatáram 3,7-5,5 m³/h a felvett teljesítmény 81-99 W között változott.

Arányos nyomás módban a térfogatáram csökkenésekor a szállítómagasság is csökkent a piros trendvonal mentén. A referencia munkapontnak megadott értékek felett dolgozott a szivattyú, az emelőmagasság 3,5-3,9 m, a térfogatáram 3,7-5,9 m³/h, a felvett teljesítmény 81-147 W között változott.

AUTOADAPT módban az arányos nyomáshoz hasonlóan a térfogatáram csökkenésekor a szállítómagasság is csökkent a kék trendvonal mentén. Az emelőmagasság 2,4-3,2 m, a térfogatáram 3,0-5,1 m³/h, a felvett teljesítmény 51-65 W között változott.

A villamos teljesítmény felvétel szempontjából az AUTOADAPT mód volt a legkedvezőbb.

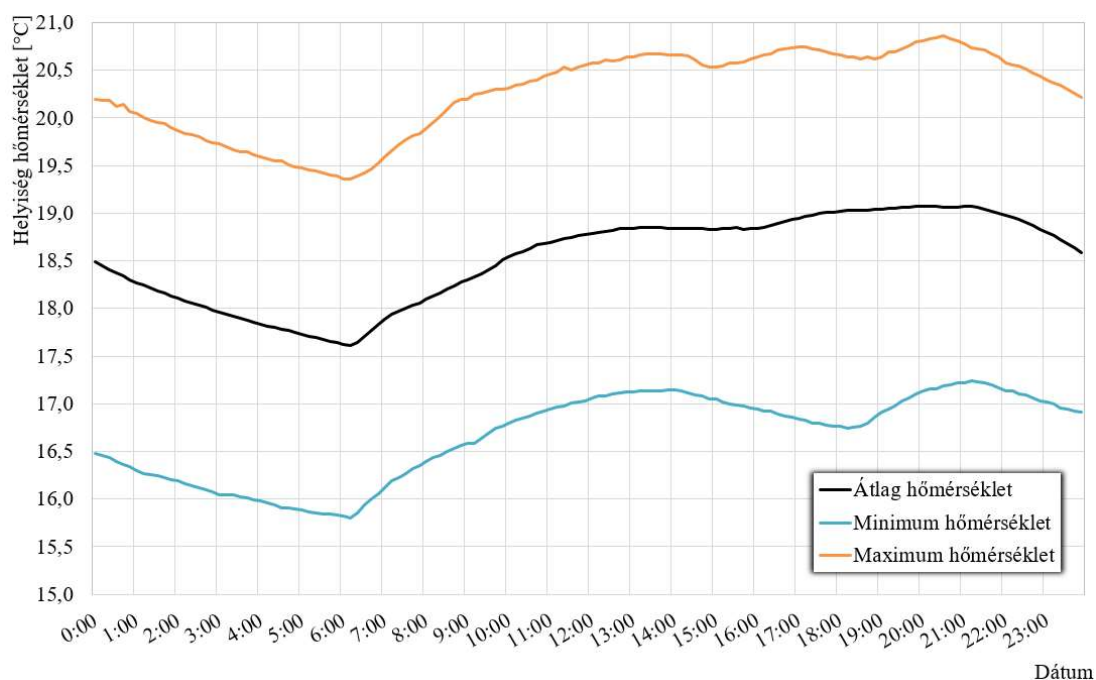
Az alábbi táblázatban gyűjtöttem össze a szivattyú átlagos munkapontjait és teljesítmény felvételét.

Vezérlési mód	Átlagos szállítómagasság [m]	Átlagos térfogatáram [m ³ /h]	Átlagos fordulatszám [%]
AUTOADAPT	2,5	3,3	45
Arányos nyomás	3,6	4,1	54
Állandó nyomás	3,5	4,1	53
Állandó térfogatáram	2,7	3,6	46

Beüzemelésétől 2024.04.08-ig 3678 órát üzemelt a szivattyú ez idő alatt 270 kWh volt a villamos energia fogyasztás. Ez alapján az átlagos felvett teljesítmény 73,4 W.

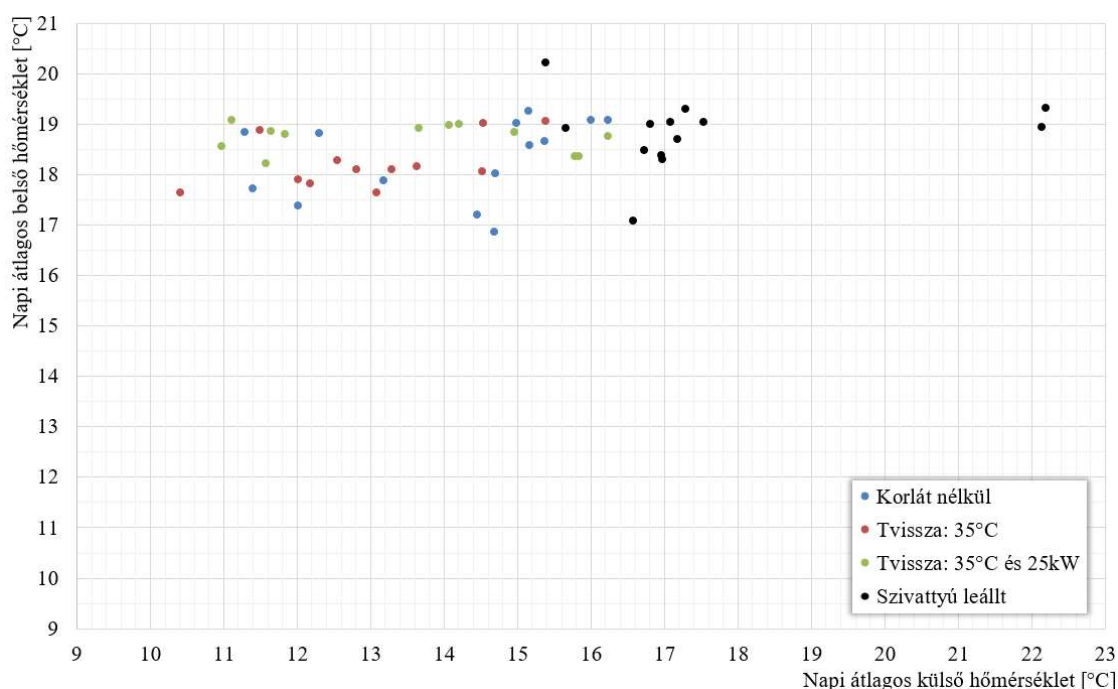
2.7. Belső komfort

Az ábrán (21. ábra) látható a tornacsarnok hőmérséklet értékei 24 órára lebontva. Narancssárga színnel az adott 10 perces adathoz tartozó legmagasabb hőmérséklet értéke, feketével az átlaga, kékkel pedig a legalacsonyabb.



21. ábra Belső hőmérséklet

Az átlagtól a minimum és maximum hőmérséklet értékek egyformán körülbelül 2 °C eltérésben van. A gyűjtött adatokból továbbá megállapítható, hogy a tornacsarnok hőmérséklete ebben a 4 °C-os sávban egyenletesen előfordult. Ezt a hőmérséklet eltérést számos körülmény okozhatta, mint például a szoláris nyereség, nagyobb sportesemény, rendezvény belső hőterhelése stb., illetve a korlátozások is okozhatták. Szükséges volt megvizsgálni, hogy az alacsonyabb belső hőmérséklet a korlátozások miatt következett be vagy a szabályozástól független tényezők okozták.



22. ábra Napi belső átlaghőmérséklet a napi külső átlaghőmérséklet függvényében

Az ábra (22. ábra) pontokkal jelöli a tornacsarnok egy napi belső átlaghőmérsékletét az adott napi külső átlaghőmérséklet függvényében. Kék pont jelöli, amikor nem volt korlát beállítva, pirossal, amikor a visszatérő hőmérséklet korlát, zölddel, amikor a visszatérő hőmérséklet korlát mellett a hőteljesítmény korlát is aktív volt. Fekete pont azokat a napokat jelöli, amikor magas külső hőmérséklet vagy ünnepnap miatt a szivattyú leállt. Az adatokból az szűrhető le, hogy a tornacsarnok átlaghőmérséklete 17-20 °C között volt. Az ábra alapján kijelenthető, hogy nem a korlátok okozhatták a belső hőmérséklet eltéréseit.

Összefoglalás, következtetések, javaslatok

Tehát a vizsgálat alapján elmondható, hogy a MIXIT mindent a beállításoknak megfelelően csinált.

A visszatérő hőmérséklet egy visszajelzést ad a belső hőmérsékletről ezért szerintem lehet egy korláttal szabályozni a túlfűtés elkerülése miatt. Viszont egy FIX korlát helyett, mind a négy korlátnál lehetne időjáráskövető.

Egy DDC szabályozóval, távfelügyeleti programmal érdemes lehetne a jövőben ezzel kísérletezni.

Ábrajegyzék

1. ábra MIXIT keverőkör (2)	8
2. ábra Áramlásérzékelő pontossága	9
3. ábra Golyósszelep (1)	9
4. ábra Két- és háromjáratú működés (Felül: kétjáratú működés, alul: háromjáratú működés) (1)	10
5. ábra Szabályozószelepek kezdeti ugrása (5)	11
6. ábra Szelepkarakterisztikák (1)	11
7. ábra A keverőkör átalakítás előtt és után	16
8. ábra MAGNA 40-120 F jelleggörbéje	17
9. ábra MAGNA3 40-120 F jelleggörbéje	18
10. ábra Tornaterem hidraulikai kapcsolása	19
11. ábra A MIK hőközpontjának külső hőmérséklet értékei	23
12. ábra Korlát nélküli szabályozás	25
13. ábra Visszatérő hőmérséklet korlát	26
14. ábra Hőteljesítmény és visszatérő hőmérséklet korlát	27
15. ábra Napi hőenergia a napi külső átlaghőmérséklet függvényében	28
16. ábra Szelepnnyitás az időprogram módosítása előtt és után	30
17. ábra Hőteljesítmény	31
18. ábra Visszatérő hőmérséklet az előremenő hőmérséklet függvényében	32
19. ábra Belső hőmérséklet és a visszatérő hőmérséklet eltérése	33
20. ábra A szivattyú munkapontja	36
21. ábra Belső hőmérséklet	37
22. ábra Napi belső átlaghőmérséklet a napi külső átlaghőmérséklet függvényében	38

Irodalomjegyzék

1. **Grundfos.** Katalógusok MIXIT, Minden az egyben keverőkör. [Online] <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature-6012795.pdf>.
2. —. GRUNDFOS MIXIT: A KEVERŐKÖRÖK ÚJ GENERÁCIÓJA KERESKEDELMI ÉPÜLETEKBE. [Online] https://product-selection.grundfos.com/content/dam/global/page-assets/products-and-services/products/documents/CBS_MIXIT_Brochure_GHU_new.pdf.
3. —. Grundfos Flow sensors (Grundfos Direct Sensors™) (Data booklet). [Online] <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature-4362713.pdf>.
4. *Vortex Anemometer Using MEMS Cantilever Sensor.* **Zylka, Paweł, Modrzyński, Paweł és Janus, Paweł.** VOL. 19, NO. 6, DECEMBER 2010, JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, : ismeretlen szerző, 2010.
5. **Belimo.** Belimo szabályozó golyóscsap. [Online] <https://www.e-gepesz.hu/letoltes/a-belimo-golyoscsapok-8-elonye.pdf>.

Mellékletek
