

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

BALASSAI BOLDIZSÁR
MATÁSZSZ DR. BÜKI GERGELY TÁVHŐ ÍGÉRETE
ELISMERÉS PÁLYAMUNKA
Társasház hőellátása hőszivattyús rendszerrel
és távhőellátással

Konzulens:

Némethi Balázs
osztályvezető

Témavezető:

Bokor Balázs
adjunktus

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke	iii
1. Bevezetés	1
1.1. Célkitűzések	1
2. A tárgyépület bemutatása	2
2.1. Építészeti kialakítás	2
2.2. Meteorológiai adottságok és a hőigények bemutatása	3
2.3. A meglévő hőellátó rendszer bemutatása	4
2.3.1. A hőközpont	5
3. Az üzemvitel optimalizálása	7
3.1. A számítások menete	8
3.1.1. COP és primerenergia-átalakítási tényező, -szorzó	8
3.1.2. Széndioxid-kibocsátás	10
3.1.3. Üzemeltetési költségek	10
3.1.4. Teljesítmények, és egyéb energetikai jellemzők	11
3.1.4.1. Az épület összteljesítmény-igénye	11
3.1.4.2. Az összes hőteljesítmény-igény a HMV-rendszerben	11
3.1.4.3. Az összes fűtési hőteljesítmény-igény	11
3.1.4.4. A fűtési hőcserélőn mérhető hőfoklépcső	12
3.1.4.5. A fűtési hőcserélőn mérhető előremenő hőmérséklet	12
3.1.4.6. A fűtési hőcserélőn mérhető visszatérő hőmérséklet	12
3.1.4.7. Hőszivattyú fűtési hőteljesítménye	12
3.1.4.8. Távhőellátás fűtési hőteljesítménye	13
3.1.4.9. Hőszivattyú hőteljesítménye a HMV-előállításban	13
3.1.4.10. Távhőellátás a hőteljesítménye a HMV-ellátásban	13
3.1.4.11. Összes távhő hőteljesítmény	13
3.1.4.12. Összes hőszivattyú hőteljesítmény	13
3.1.4.13. Az energiamennyiség és teljesítmény összefüggése	14
3.1.4.14. Hőenergia átszámítása villamos energiává	14
3.1.4.15. Hőenergia átszámítása primer energiává	14
3.1.4.16. Megújulóenergia-részarány	14
3.2. Primerenergia-fogyasztás minimalizálása	15
3.3. Üzemeltetési költség minimalizálása	21
3.4. CO ₂ -emisszió minimalizálása	22
4. Összefoglalás/Eredmények értékelése	27
4.1. Eredmények	27
4.2. Tanulságok	30
5. Felhasznált források	31

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

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

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
A_{hsz}	a hőszivattyú hőteljesítmények aránya az épület teljes fűtési hőigényében	1
C	konstans	1
COP	hőszivattyú „jóságfoka” (coefficient of performance)	1
E	energia (általános)	Wh
e	primerenergia-átalakítási tényező	1
LF	kihasználtsági tényező	1
P	teljesítmény (itt villamos teljesítmény)	W
t	hőmérséklet	°C
Q	hőenergia	Wh
$\dot{Q}$	hőteljesítmény	W
q	fajlagos hőenergia	kWh/m ²
R^2	determinációs együttható	1
S	primerenergia-átalakítási szorzó	1
$SCOP$	szezonális COP	1
W	munka (itt villamos munka)	Wh
Y	tetszőleges energetikai jellemző (energia vagy teljesítmény)	változó

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
τ	idő	h
α	rendszerkomponens által lefedett hőigény aránya	1

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
<i>cirk</i>	cirkuláció
<i>egyens</i>	egyensúlyi
<i>előre</i>	előremenő
<i>éves</i>	egy évre vetített érték
<i>f</i>	fűtési
<i>fel</i>	felvett
<i>hasznos</i>	hasznos munkára fordított
<i>hideg</i>	ivóvízhálózatról felvett hidegvíz
<i>HMV</i>	használati melegvíz
<i>h</i>	hőigény
<i>hő</i>	hő-
<i>hsz</i>	hőszivattyú
<i>i</i>	futóindex
<i>k</i>	külső
<i>környezet</i>	környezet
<i>le</i>	leadott
<i>max</i>	a legmagasabb mérhető érték
<i>mér</i>	méretezési
<i>n</i>	darabszám
<i>össz</i>	összes
<i>primer</i>	primer-
<i>sz</i>	keringtetés (rendeletben alkalmazott index)
<i>t</i>	tárolás
<i>táv hő</i>	táv hőellátás
<i>v</i>	villamos (rendeletben alkalmazott index)
<i>valós</i>	ténylegesen mérhető
<i>vill</i>	villamos-
<i>vissza</i>	visszatérő
<i>x</i>	épületgépészeti rendszer indexe

1. BEVEZETÉS

1.1. Célkitűzések

Napjaink környezetvédelmi és gazdasági trendjei és viszonyosságai indokoltá teszik életünk valamennyi területén a tevékenységeink energia- és költséghatékony módon történő folytatását és berendezéseink, épületeink hasonló üzemeltetését. Emellett fontos szempontot jelent jövőnk szempontjából a széndioxid-kibocsátás is. Mindezek ösztönzésére születtek EU-s és egyéb nemzetközi, hazai szabályozások, melyek előírnyozzák kötelezettségek formájában azon célértékeket, amelyek mentén a fent említett törekvéseket a fenntarthatóságnak megfelelően közelíthetjük.

A szakdolgozat során vizsgált épületben jelentkező energiafelhasználás mértéke szükségelteti, hogy a fent említett szempontok szerinti vizsgálatnak vessük alá, majd ezek mentén optimumkeresést hajtsunk végre az épület fűtési és használatimelegvíz-rendszerének üzemeltetési menetrendjére a fennálló energetikai, jogi és gazdasági környezetet figyelembe véve.

A ház hőigényeit hőszivattyús és távhős rendszerrel látják el, melyek működési időszakaira bivalens pontot keresve végezzük az egyes optimumkereséseket mindig egy szempontot szem előtt tartva. A primerenergia-fogyasztás optimumának kereséséhez a primerenergia-átalakítási tényezőket és a hőszivattyú COP-értékét vesszük összehasonlítási alpnak. Ahhoz, hogy az üzemeltetési költségeket határozzuk meg kedvező szintre, a fajlagos energiaköltségek mentén haladunk majd, ahol szintén szerepet játszik a hőszivattyú COP-ja. Végül pedig a széndioxid-kibocsátás szempontjából a fajlagos környezetterhelési indexét használjuk fel az adott gázra vetítve az egyes rendszereknek, és ez alapján határozzuk meg az épület „legzöldebb” menetrendjét.

Az így kapott három üzemállapotra felmérjük a korábban említett három fő energetikai, gazdasági és környezetvédelmi mutatót, hogy összehasonlíthassuk az eredményeket. Ezen tanulságok alapján alkotható végül javaslat a szakdolgozat tárgyát képező épület fűtési és használatimelegvíz-rendszerének üzemeltetésére, amely mellett az épület a vizsgálataink három szempontja szerint várhatóan optimálisan fog üzemelni.

2. A TÁRGYÉPÜLET BEMUTATÁSA

2.1. Építészeti kialakítás



1. ábra – A tárgyépület elhelyezkedése [9.]

A vizsgált épület a BKM Budapesti Közművek Nonprofit Zrt. Főtáv Távhőszolgáltatási Divízió (későbbiekben Főtáv) által a szakdolgozat tárgyául kijelölt, a BudaPart lakótelep „BRE” jelű, újonnan épített lakossági célközönségnek szánt társasháza. Az európai uniós és hazai követelményeknek (EPBD, TNM rendelet) megfelelő minőségben építették meg, így egy épületfizika tekintetében korszerű épületről van szó.

Elhelyezkedését tekintve a dél-budai régióba tartozik a Főtáv szolgáltatási régiói közül, melynek részét képezi a Lágymányosi-öböl is. Az épület a „BRF”, „BRA” jelzésű, szintén a BudaPart lakótelephez tartozó egységek között, a BudaPart City-vel határosan, közel az épülő MOL Campushoz áll. Lokálisan zöld környezet övezi, azonban igen közel halad hozzá a Budafoki út és a Rákóczi híd is.

A terület sűrű beépítettsége csökkenti a homlokzatokat érő szélterhelést, ami kedvező a transzmissziós és filtrációs hőveszteségek szempontjából. Közelsége a Dunához azonban a páratartalom fokozott szabályozását igényelheti. Ezt erősíti a tény, hogy felületfűtés/-hűtés van a lakásokban, melyet többnyire egy alacsony hőfoklépcsővel üzemelő levegő/víz típusú hőszivattyú lát el energiával. Túlzott páratartalom és alacsony előremenő hőmérséklet esetén párakicsapódás jelenhet meg a lakásokban, ami kedvezőtlen egyaránt komfort és az épületszerkezet, valamint a berendezések élettartamának szempontjából.

Az épület modern stílusban épült, változatos színű és anyagú homlokzati részek váltakoznak rajta: a külső határoló szerkezetek környezettel határos oldalán nemesvakolat és elemes homlokzatburkolat található.

A merevítő falak monolit vasbetonból készültek, míg a külső határoló szerkezetek 25 cm vastagságú falazóblokkokból és a rájuk hőtechnikailag méretezett hőszigetelő homlokzati rendszerből állnak. A lakásokon belül található válaszfalak 10 cm vastagok; 2x2 réteg, szerelt fémszerkezetre helyezett gipszkartonból, míg a vizes blokkokban impregnált lapokból kerültek kialakításra. Ezen falazóelemek közetgyapot szigeteléssel lettek feltöltve. Az egyes lakások közt térelválasztó szerkezetek hangszigetelő tulajdonságú falazóblokkok.

Az épület cölöpökkel megerősített monolit vasbeton lemezalapozáson nyugszik. A földemek szintén monolit vasbeton elemekből készültek, melyekre lépéshanggátló úsztatott aljzatbeton került.

Az épület teteje lapostetős kialakítású, amire vízszigetelésnek PVC, gumi vagy bitumenes lemezt és hőszigetelést is helyeztek.

Az épület nyílászárói háromrétegű, fokozott légtömörségű, műanyag profilos ablakok, melyek közül lakásonként kettő résszellőzőkkel lett ellátva. Az épület árnyékolása és éjszakai sötétítése redőnyökkel lett megoldva.

A sarki lakásokhoz saját méretes terasz tartozik, ami nyáron jó árnyékoltságot kölcsönöz a vele határos belső tereknek, ezzel csökkentve a szoláris hőnyereséget; télen pedig a falak menti légáramlást fékezi, azáltal csökkentve a transzmissziós és filtrációs hőveszteségeket. A többi lakások egy része pedig az átrium udvarra nyílik, ami hasonlóan kedvezően hat nap- és szélárnyékolás szempontjából.

[9.]

2.2. Meteorológiai adottságok és a hőigények bemutatása

Az épület hőszükségletének számításához fontos ismerni a hőmérsékletviszonyokat az épület környezetében.

A külső méretezési hőmérséklet $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$, ugyanis szabvány szerint ennek értéke Budapesten, a BRE lakóház régiójában ennyi. Az épület méretezési egyensúlyi hőmérséklete $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, e fölött már nincs szükség fűtésre. Az egyensúlyi hőmérséklet a gyakorlatban bevett $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ helyett azért alacsonyabb értékre került meghatározásra, mert az épület igen jó építészeti adottságokkal rendelkező újjépítésű szerkezet, valamint az ipari konzulens által rendelkezésre bocsátott adatsorban a tervezés során meghatározott fűtési teljesítményigény $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ esetén érte el a 0 kW -ot. A 3. ábrán látható adatsor segítségével számíthatjuk majd, hogy mennyi energiát fogyaszt az épületgépészeti rendszerünk fűtésre és HMV-előállításra. Az egyes hőmérsékletértékekhez rendeljük az azokhoz tartozó, számított teljesítményigényt és az éves gyakorisággal ezt megszorozva kaphatunk fűtési energiafogyasztás értéket.

A Főtvál által számított és a szakdolgozat-készítéshez rendelkezésre bocsátott méretezési hőigények az egyensúlyi és a méretezési külső hőmérsékletekre lettek meghatározva. -13 °C mellett 601,4 kW, míg 10 °C esetén 66,4 kW hőteljesítményre van szükség. Ebből a HMV-igény átlagosan 66,4 kW értékkel lett számítva. A továbbiakban ezen átlag teljesítményigényt használjuk konstans értéként, hiszen a külső hőmérséklettől nagyjából függetlenül alakul a valóságban, várhatóan jó közelítést ad a számításaink során.

Külső hőmérséklet [°C]	Összes hőteljesítmény-igény [kW]	Fűtési hőteljesítmény-igény [kW]	HMV hőteljesítmény-igény [kW]
-13	601,4	535	66,4
10	66,4	0	66,4

1. táblázat – A méretezési és egyensúlyi állapot hőteljesítmény-igényei

A fent leírt határállapotok közt, a hőmérséklet változásával fordítottan arányosan alakul az épület hőszükséglete. Feltételezzük továbbá az állandó tömegáramot a fűtési és HMV rendszerben a számítás egyszerűsítése végett. Ez a becslés jó közelítést ad az épület várható viselkedésére.

Az így szükséges teljesítményváltozást az előremenő hőmérséklet emelésével és csökkentésével tudjuk előidézni. Kisebb hőteljesítmény-igény esetén alacsonyabb előremenő hőmérsékletet állítunk be. Ezáltal a hőfoklépcső is kisebb lesz az előremenő és a visszatérő ágak közt.

Az előremenő és visszatérő hőmérséklet meghatározása során a fent említett állandó tömegáramú rendszer mellett még stacioner állapotot is feltételeztünk a modell meghatározásához.

[10.]

2.3. A meglévő hőellátó rendszer bemutatása

A BRE épület fűtését távhőellátás és hőszivattyús rendszer végzi. Elsősorban a lapostetőre szerelt Daikin EWYQ330F-XR folyadékhűtős hőszivattyú felelős a hőszükségletek kielégítéséért. Fagyvédelmi okokból csak -10 °C-ig üzemeltethető a berendezés teljes teljesítményen, részteljesítményen pedig -17 °C-ig. A fűtési menetrendben a hőszivattyú által kielégített hőteljesítmény-igényen – mely 45 °C-os távozó víz- és 7 °C-os környezeti hőmérséklet esetén 362 kW [15.] – felüli ellátást a Főtvál távhőszolgáltatása végzi.



2. ábra – EWYQ-F-XR típusú Daikin hőszivattyú, ami a tárgyépületen is található [15.]

Az épületben felületfűtés- és hűtés van kialakítva mennyezetbe szerelt csőkígyó formájában. Az ilyen rendszerekhez jellemzően alacsony hőmérsékletű fűtés szükséges, amire a hőszivattyú ideális megoldás. A fűtési hőcserélő előremenő hőmérséklete $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a visszatérő $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. A fűtési előremenő szabályozása MODBUS kommunikáción keresztül épületfelügyleti (BMS) rendszerrel történik.

A használatimelegvíz-előállításért fűtési üzemben a távhő és általában a hőszivattyú együttesen felelnek, ahol ez utóbbi előfűtő szerepet tölt be. Nyári állapotban azonban a hőszivattyú hűtési módban van, ezáltal a távhőnek egyedül kell ellátnia a használatimelegvíz-igényeket.

Az épület nyáron jelentkező hűtési igényét kizárólag a hőszivattyú látja el hűtési üzembe kapcsolva. A csatlakozási ponton szükséges $16/19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőfoklépcső biztosításához a hőszivattyú $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os előre és $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os visszatérő hőmérséklettel dolgozik.

A téli és nyári üzemállapot közti átváltás egyszerre történik az egész épületben, tehát nem lehetséges – és nem is igényelt – párhuzamosan hűtés és fűtés üzemeltetése.

2.3.1. A HŐKÖZPONT

A Főtáv-tól érkező távhővezeték a hőközpontba télen 110 , nyáron $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on lép be. A primer körí víz először a használati melegvíz (későbbiekben HMV) modulra csatlakozik egy 270 kW -os utófűtő hőcserélővel, melynek hőfoklépcsője primer oldalon $60/45\text{ }^{\circ}\text{C}$, szekunder oldalon $50/10\text{ }^{\circ}\text{C}$, amennyiben a hőszivattyú nem fűti elő a használati melegvizet.

Innen tovább haladva érkezik a fűtési modulba, ahol a fűtési hőcserélőn halad át, melynek névleges teljesítménye 530 kW , hőfoklépcsője primer oldalon $110/55\text{ }^{\circ}\text{C}$ és szekunder oldalon $40/30\text{ }^{\circ}\text{C}$ méretezési külső hőmérséklet ($-13\text{ }^{\circ}\text{C}$) mellett.

Miután a primer víz leadta hőteljesítményét a HMV és fűtési körnek, elhagyja az épületet és visszatér a távhőrendszerbe. A fűtési rendszer szekunder oldalának csupán kis hányada található már a hőközpontban, ennek említendő tényezője a fűtési kör keringtető szivattyú, mely a fűtési hőcserélő előtt található a szekunder kör visszatérő ágán.

A hőközpontot egy csővezetékéből kialakított hidraulikai leválasztónál hagyja el ez a kör. Ezen berendezésnél csatlakozik a fűtési szekunder előremenő vezeték a felületfűtésekhez vezető vezetékekhez. A hidraulikai leválasztó képezi azt a pontot, ahol a hőszivattyú és a távhő által leadott fűtési teljesítmény találkozik, ugyanis itt csatlakozik a hőszivattyú primer köre is a felületfűtésekhez és -hűtésekhez vezető csőrendszerre.

A hőközpontban található a HMV rendszer nagy része is. A korábban már említett HMV hőcserélőről előremenő vezeték egy 750 literes Dincox FTV-750-10 típusú HMV tárolóba csatlakozik.

Ezen a vezetéken helyezkedik el a HMV kör keringtető szivattyúja, mely egy Grundfos Magna1 65-100 F típusú berendezés. A hőtárolóból két további vezeték távozik. Az egyik a frissvízellátást biztosító csővezetékre csatlakozik vissza, de még a hőcserélő előtt. Ezen vezetéken található egy visszacsapó szelep, valamint egy bypass ágon ezzel párhuzamosan kapcsolva egy fojtó szelep. Ezen szakaszon két irányban is áramolhat üzemállapottól függően a víz a bypass ágnak köszönhetően. Ennek szerepéről majd később. A tárolóból távozó másik vezetéken keresztül történik a csapolás, ez vezet az egyes fogyasztókhoz. Erre az ágra csatlakozik továbbá a cirkulációs hálózat is, mely a kétirányú vezetékhez hasonlóan a HMV hőcserélő előtt csatlakozik vissza a HMV rendszerbe.

A frissvízellátás szintén a hőközpontban lép az épületbe. Innen halad a vezeték – a belépési pont után egy hurokkal és légbeszívó szeleppel ellátva – egy újabb hőcserélőig, melynek névleges teljesítménye 120 kW.

Ez tölti be az előfűtő szerepét, ugyanis ennek másik oldalán a hőszivattyú primer köre halad. Ez a hőcserélő manuális zárású szelepekkel kizárható a HMV rendszerből. Innen a friss víz elérkezik a HMV utófűtőhöz, mely előtt a korábban már említett két vezeték (kétirányú cső a tárolóból és a cirkulációs visszatérője) beletorkollik.

[11.]

3. AZ ÜZEMVITEL OPTIMALIZÁLÁSA

A szakdolgozatban végzett vizsgálat célja az épület fűtési és HMV rendszereinek az üzemi optimumának meghatározása. Ezen vizsgálat három fő szempont szerint kerül a továbbiakban fejezetekre bontásra:

1. Primerenergia-fogyasztás minimalizálása
2. Üzemeltetési költség minimalizálása
3. CO₂-emisszió minimalizálása

Az imént felsorolt esetekre fel lehet állítani egy-egy optimális üzemállapotot, melyek az adott célt a legjobban kiszolgálják. Ezen szempontok a villamosenergia-rendszerről üzemeltetett hőszivattyú és a távhőellátás eltérő primerenergia-tényezői, széndioxid-kibocsátási értékei és üzemeltetési költségei közti különbségek alapján kerültek felvétele. A számításokhoz hivatalos forrásokból gyűjtött mutatószámokkal kell számolni, hogy a rendszerre vonatkozó értékek relevánsak és naprakészek legyenek. A számolások és a diagramok készítése a Microsoft Excel programban történtek.

Alább következnek a számítások során használatos összefüggések.

Aktuális értékek az energetikai értékeléshez			
Távhő	Primerenergia-átalakítási tényező [13.][12.]	0,745	[kWh/kWh]
	CO ₂ -kibocsátás [13.]	0,149	[kg/kWh]
	Távhő alapidj [10.]	12 385 623	[HUF/a]
	Távhő energiadíj [10.]	8,899	[HUF/kWh]
Villamos energia	Primerenergia-átalakítási tényező [7.]	2,500	[kWh/kWh]
	CO ₂ -kibocsátás [14.]	0,233	[kg/kWh]
	Villamosenergia-alapidj [10.]	2 844 708	[HUF/a]
	Villamosenergia-díj (KIF III) [10.]	29,060	[HUF/kWh]

2. táblázat – Az energetikai értékelés során használatos aktuális értékek az egyes ellátásokra

A hőszivattyú esetében azonban a primerenergia-átalakítási tényezőn felül még a berendezés COP-értékével is számolni kell ahhoz, hogy ekvivalens primerenergia mennyiséget kapjunk a hőenergiából.

Fontos alapfeltevés, hogy a hőszivattyú előremenő hőmérsékletét, annak érdekében, hogy képes legyen a HMV-termelésben részt véve a fűtési igényt esetenként akár 100%-ban is teljesíteni, 45 °C-ra állítjuk.

3.1. A számítások menete

3.1.1. COP ÉS PRIMERENERGIA-ÁTALAKÍTÁSI TÉNYEZŐ, -SZORZÓ

A COP egy hőszivattyú fűtési üzemére adja meg az összefüggést a felvett villamos (kompressziós) teljesítmény és a leadott hőteljesítmény közt. Ez egy dimenzió nélküli arányszám. Ezt befolyásolja a külső (a hőszivattyú kültéri egységének környezetében mérhető) hőmérséklet és a gépből előremenő közeg hőmérséklete közti különbség. Az így felírható képlet típusonként változik. A tárgyépületre telepített hőszivattyú COP-ját leíró képletet a gyártóval (Daikin) történő kapcsolatfelvételt követően kapott adatsor segítségével lehetett kiszámítani. Az adatok alább láthatóak 45 °C-os előremenő víz hőmérsékletre:

COP változása a külső hőmérséklet függvényében (EWYQ330F-XR)			
t_k [°C]	$\dot{Q}_{le}$ [kW]	P_{fel} [kW]	COP [1]
-10	256	111	2,306
-5	281	111	2,532
0	311	112	2,777
2	324	112	2,893
7	362	113	3,204
10	389	114	3,412

3. táblázat – A hőszivattyú COP-értékeinek változása a külső hőmérséklet függvényében [15.]

Fontos megfigyelni, hogy egyes hőmérsékleti tartományokban a hőszivattyú maximális leadott hőteljesítménye kisebb, mint az épület hőigénye. Ezt a későbbiekben az ezen tartományokat érintő üzemállapotok vizsgálata során figyelembe kell venni, hiszen ilyenkor nem lehetséges a fűtési és HMV-igényeket 100%-ban hőszivattyúval fedezni.

Ezekből az adatokból az egyes hőmérsékletekhez tartozó COP-értékeket az alábbi képlettel kaptuk meg:

1. egyenlet

$$COP = \frac{\dot{Q}_{le}}{P_{fel}}$$

Az így kapott adatsorra pedig a Microsoft Excelben egy trendvonalat illesztve, annak egyenletét felhasználva kaphatjuk meg a hőszivattyú COP-jának alakulását – ezen esteben – közelítő függvényt, melynek képlete:

2. egyenlet

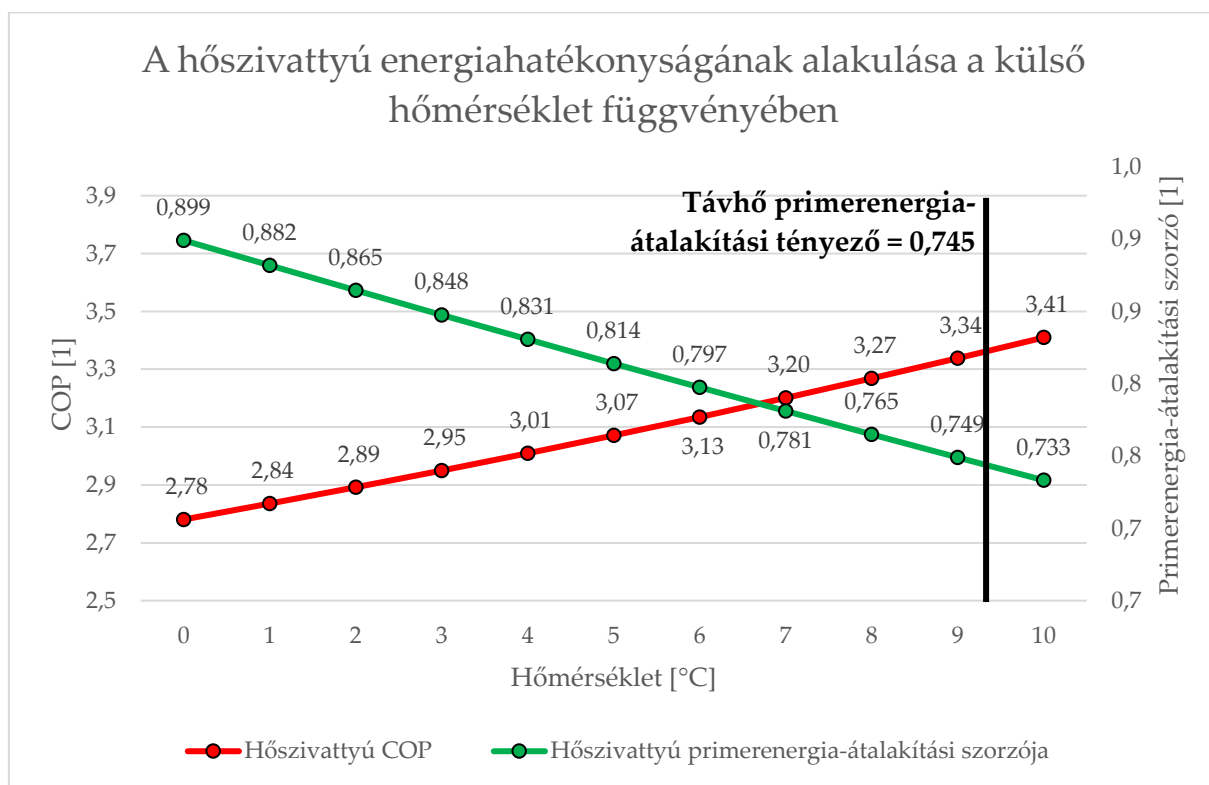
$$COP = 1 \cdot 10^{-5} \cdot t_k^3 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot t_k^2 + 5,39 \cdot 10^{-2} \cdot t_k + 2,7806$$

$R^2 = 0,99997$ mellett.

A későbbiekben megfigyelhető volt, hogy az előremenő közeg hőmérséklete a külső, környezeti hőmérséklet függvénye, azzal fordítottan arányos, hiszen minél hidegebb van az épületen kívül, annál nagyobb hőteljesítmény szükséges a kívánt belső méretezési hőmérséklet fenntartásához. A képletből pedig látható, hogy minél kisebb a különbség ezen két számérték közt, annál magasabb COP érhető el. Tehát a hőszivattyú energiahatékonyság szempontjából annál kedvezőbben fűti az épületet, minél melegebb van a környezetben és annál több villamos energiára van szüksége egységnyi hőenergia leadásához, minél hidegebb van.

Ezen kívül azonban az előzőekben látottak alapján a hőmérsékletváltozás nem csak ekképpen tudja befolyásolni az energiafogyasztást, hanem a hőszivattyú COP-értéke is ennek függvénye.

Ezen összefüggést az alábbi diagram ábrázolja:



3. ábra – Közelítő COP-trend és a primerenergia-átalakítási szorzó a külső hőmérséklet alakulásának függvényében

A második (zölddel jelölt) adatsor pedig a hőszivattyú leadott egységnyi hőteljesítményéhez szükséges primer energia mennyiségét határozza meg. Ennek külsőhőmérséklet-függését a COP-tól való függése okozza, ugyanis ezen mutató képlete a következő:

3. egyenlet

$$S_{hsz} = \frac{e_{f,hsz}}{COP_{hsz}}$$

A Főtáv távhőellátására a Lechner Tudásközponton keresztül 2020-ban közzétett primerenergia-átalakítási tényező konstans 0,745. Ezt nem befolyásolják a környezeti hatások.

Annak az oka, hogy a hőszivattyúra egy köztes szorzót alkalmazunk és nem közvetlenül a primerenergia-átalakítási tényezőt, míg a távhőnél nincs szükség efféle módosításra az, hogy a hőszivattyú üzemeléséhez a primer energiából először **hőenergia**, majd **villamos energia**, végül pedig ismét **hőenergia** kerül előállításra, viszont a távhő esetén a primer energiából átalakított **hőenergia** kerül közvetlenül felhasználásra.

Látható, hogy kettővel több átalakításon „megy keresztül” az energia, míg ténylegesen felhasználásra kerül. Ebből az első lépés okozza a lényegesen nagyobb ($0,745 < 2,5$) primerenergia-átalakítási tényezőt, míg a második a COP-val történő számolás igényét, hiszen ez a „fűtési jóságfok” írja fel az összefüggést a villamos energia hőenergiává történő átalakítására.

Fontos továbbá tisztázni az SCOP képletét is, mely a szezonális átlag COP-ja a hőszivattyúnak a fűtési időnyire. Ezt befolyásolja az üzemeltetési stratégia is. Számítása az alábbi képlettel történik:

$$SCOP = \frac{Q_{le,össz}}{E_{fel,össz}}$$

4. egyenlet

3.1.2. SZÉNDIOXID-KIBOCSÁTÁS

A Főtáv kelenföldi erőműhöz tartozó hőkörzetére vonatkozó széndioxid-kibocsátási mutatója a 0,149 [kg/kWh] [13.]. Ezen érték a villamosenergia-ellátásra az épület régiójában felelős E.ON Hungária Zrt. forrásösszetétele alapján 0,233 [kg/kWh]. Ezen értékekkel a fogyasztott primer energia mennyiségét kell beszorozni ahhoz, hogy az egy évben kibocsátott széndioxid-mennyiséget megkapjuk.

3.1.3. ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGEK

Mind a távhőszolgáltatás, mind a villamosenergia-ellátás üzemeltetési költségeinek számítása az a Főtávtól kapott adatok alapján történt. A távhő esetében számolni kell éves szinten az épületre jellemző hasznos m³-enként számított 27,6 (HMV)+360,36 (fűtés) HUF alapidíjjal, amire 8,9 HUF/kWh energiadíj számolandó.

A villamosenergia-ellátásért az ELMŰ Hálózati Kft. felel. Az épület a KIF III. elszámolás alapján, azaz a kisfeszültségű feszültségszinten, a III.-as tarifával vételezi a villamos energiát. Az így felmerülő költségek egy csatlakozási pontra vonatkozó éves 34 188 HUF, valamint a lekötött teljesítmény függvényében kW-onként 7 596 HUF alapidíjból és 29,06 HUF/kWh energiadíjból tevődnek össze. A lekötött teljesítményt

mértékét nem ismerjük, ezért a számítások során annak a hőszivattyúra eső része (370 kW) kerül figyelembevételre.

3.1.4. TELJESÍTMÉNYEK, ÉS EGYÉB ENERGETIKAI JELLEMZŐK

A számítások során az alábbi energetikai jellemzőket a külső hőmérséklet függvényében kell kalkulálni. Ebből fakadóan a következő mutatók mindegyike vagy közvetlenül t_k -tól, vagy egy egy abból korábban származtatott mennyiségtől függ.

3.1.4.1. Az épület összteljesítmény-igénye

Első lépésben a Főtv által az adatszolgáltatás során megadott szélsőértékek ismeretében, azok közt a külső hőmérséklettel arányosan meghatározzuk az épület összes hőteljesítmény-igényét. Ez magában foglalja a fűtési hőigényt, a HMV-hőigényt és a HMV-rendszerre kötött cirkulációs rendszer működtetéseként felmerülő hőigényt is. Ennek képlete a következő:

Ha $t_k < t_{k,egyens}$

$$P_{össz} = P_{össz,egyens} + \frac{P_{össz,mér} - P_{össz,egyens}}{t_{k,mér} - t_{k,egyens}} \cdot (t_k - t_{k,egyens}) \quad 5. \text{ egyenlet}$$

Ha $t_k \geq t_{k,egyens}$

$$P_{össz} = P_{össz,egyens} \quad 6. \text{ egyenlet}$$

3.1.4.2. Az összes hőteljesítmény-igény a HMV-rendszerben

Ezen mennyiségre egy konstans értékkel számolunk, hiszen ez az év során a külső hőmérséklettől közel független. Így 66,397 kW teljesítményigényt veszünk az egész évre, mely megegyezik az egyensúlyi összes hőteljesítmény-igénnyel, hiszen 10°C-nál már csupán a HMV-hőigény jelentkezik.

Ennek képlete:

$$P_{HMV} = P_{össz,egyens} \quad 7. \text{ egyenlet}$$

3.1.4.3. Az összes fűtési hőteljesítmény-igény

Az eddig már kiszámolt értékek segítségével határozható meg a fűtési hőigény:

$$P_f = P_{össz} - P_{HMV} \quad 8. \text{ egyenlet}$$

3.1.4.4. A fűtési hőcserélőn mérhető hőfoklépcső

A fűtési rendszer fenti kifejtése alapján mostanra már ismeretes, hogy a fűtési rendszer szekunder köre a távhőellátás hőközpontban található hőcserélőjénél kezdődik, melyet előfűt a hőszivattyú is. Az itt mérhető előremenő és visszatérő hőmérsékletek közti különbség kiszámítása a következő módon, ismét az ismert méretezési szélsőértékre támaszkodva történik:

$$\text{Ha } t_k < t_{k, \text{egyens}}$$

9. egyenlet

$$\Delta t_f = \frac{P_f}{P_{f, \text{mér}}} \cdot (t_{f, \text{előre, mér}} - t_{f, \text{vissza, mér}})$$

$$\text{Ha } t_k \geq t_{k, \text{egyens}}$$

Nincs fűtés

3.1.4.5. A fűtési hőcserélőn mérhető előremenő hőmérséklet

Az ismert méretezési és egyensúlyi hőmérsékletek és teljesítményigények segítségével további arányosságokat felállítva kapható a fűtési előremenő hőmérséklet:

10. egyenlet

$$t_{f, \text{előre}} = t_{f, \text{előre, mér}} + (t_{f, \text{előre, egyens}} - t_{f, \text{előre, mér}}) \cdot \frac{(t_k - t_{k, \text{mér}})}{(t_{k, \text{egyens}} - t_{k, \text{mér}})}$$

3.1.4.6. A fűtési hőcserélőn mérhető visszatérő hőmérséklet

Az előbb kiszámolt hőmérsékletekből ez az érték már könnyedén kapható:

11. egyenlet

$$t_{f, \text{vissza}} = t_{f, \text{előre}} - \Delta t_f$$

3.1.4.7. Hőszivattyú fűtési hőteljesítménye

Itt fontos kitérni egy tényezőre, mely megadja, hogy a hőszivattyú teljesítménye hányad része a teljes fűtési hőteljesítmény-igénynek. Ennek jeléül A_{hsz} -t választjuk. Ez fogja meghatározni a hőszivattyú fűtési teljesítményét. A_{hsz} meghatározása a Microsoft Excel Solver bővítményének segítségével történik. Az egyes üzemállapotok (optimumkeresések) esetén a Solver A_{hsz} -t használja változtatható adatsorként (szintén külső hőmérsékletenként). Attól függően, hogy épp melyik vizsgálatban számolunk, választjuk a majd később kifejtésre kerülő primerenergia-mennyiség, üzemeltetési költség vagy széndioxid-kibocsátás értékeket célértéknek a Solver számára és kerestjük meg vele a minimumát. Fontos a kritériumok beállítására is ügyelni, mellyel szabályozhatjuk a bővítmény működését. Itt meg kell adni, hogy A_{hsz} értelemszerűen ne léphesse túl a 100%-ot, de ne is essen 0% alá. Fontos kikötés még, hogy a szintén később tárgyalandó hőszivattyú maximum villamos teljesítményét se engedjük a Solvernek meghaladni. Ez a széndioxid-minimalizálás során merült fel problémaként.

Végül pedig meg kell szabni a Solvernek azt is, hogy a primerenergia-optimum számítás esetén ügyeljen a kötelező 25%-os minimum megújuló részarány betartására, ugyanis a távhő ellátás az esetek nagy részében alacsonyabb primerenergia-átalakítási tényezővel üzemel, mint a hőszivattyú szorzója.

A fent leírt Solver-művelet csak a táblázat teljes elkészítése után volt lehetséges, hiszen így látja csak a bővítmény az összefüggéseket. A hőszivattyú fűtési hőteljesítménye tehát:

12. egyenlet

$$P_{f,hsz} = P_f \cdot A_{hsz}$$

3.1.4.8. Távhőellátás fűtési hőteljesítménye

Az előzőek ismeretében ez is könnyedén számítható:

13. egyenlet

$$P_{f,távhő} = P_f - P_{f,hsz}$$

3.1.4.9. Hőszivattyú hőteljesítménye a HMV-előállításban

Mivel a hőszivattyú alacsonyabb előremenő hőmérséklettel dolgozik, mint ami a HMV-igénynek megfelelne, nem lesz képes fedezni a teljes igényt, ezért csupán előfűtő szerepet tölt be. A kapcsolásból eredően a cirkuláció többletteljesítmény-igénye nem a hőszivattyút terheli, ezért ezt a számítás során kivonjuk az összteljesítmény-igényből.

Itt látható a képlet, mellyel számoltunk:

14. egyenlet

$$P_{HMV,hsz} = P_{HMV} \cdot (1 - C_{cirk}) \cdot \frac{(t_{f,előre} + 5) - t_{hideg}}{t_{HMV,előre,mér} - t_{hideg}}$$

3.1.4.10. Távhőellátás a hőteljesítménye a HMV-ellátásban

Az előbbiekből adódik ennek eredménye a következő módon:

15. egyenlet

$$P_{HMV,távhő} = P_{HMV} - P_{HMV,hsz}$$

3.1.4.11. Összes távhő hőteljesítmény

Ez egyszerűen a távhőellátás fűtési és HMV teljesítményigényeinek összege:

16. egyenlet

$$P_{össz,távhő} = P_{f,távhő} + P_{HMV,távhő}$$

3.1.4.12. Összes hőszivattyú hőteljesítmény

Ez egyszerűen a hőszivattyú fűtési és HMV teljesítményigényeinek összege:

17. egyenlet

$$P_{össz,hsz} = P_{f,hsz} + P_{HMV,hsz}$$

3.1.4.13. Az energiamennyiség és teljesítmény összefüggése

Ezzel az egyszerű képlettel számítható, hogy adott külső hőmérséklet melletti teljesítményszinten az épületnek mekkora energiaigénye lesz:

18. egyenlet

$$E_{i,x} = P_{i,x} \cdot \tau$$

3.1.4.14. Hőenergia átszámítása villamos energiává

Ezen képlet jelen esetben a hőszivattyúra vonatkozik csak, a COP segítségével határozhatjuk meg a szükséges villamos teljesítményt vagy energiát:

19. egyenlet

$$Y_{i,vill} = \frac{Y_{i,hő}}{COP}$$

3.1.4.15. Hőenergia átszámítása primer energiává

A hőszivattyú és a távhőellátás által szükségelt hőenergia vagy -teljesítmény a primerenergia-átalakítási tényező vagy szorzó segítségével történik. Erre azért van szükség, mert az egyik optimumkeresés a primerenergia-fogyasztás minimalizálására összpontosul. Alább olvasható a képlet:

20. egyenlet

$$Y_{i,x,primer} = Y_{i,x,hő} \cdot e_x$$

3.1.4.16. Megújulóenergia-részarány

A megújuló energia részarányát az épület összes fűtési és HMV energiafelhasználásában úgy számíthatjuk ki, hogy a hőszivattyú környezetből felvett energiamennyiségét (mely a leadott hőenergia és a felvett villamos energia különbsége) elosztjuk az előbb említett összes energiával, mely a teljes épület teljes fűtési és MHV rendszerére vonatkozik. Alább látható a képlet:

21. egyenlet

$$\text{Megújulóenergia} - \text{részarány} = \frac{E_{hsz,környezet}}{E_{össz,primer}}$$

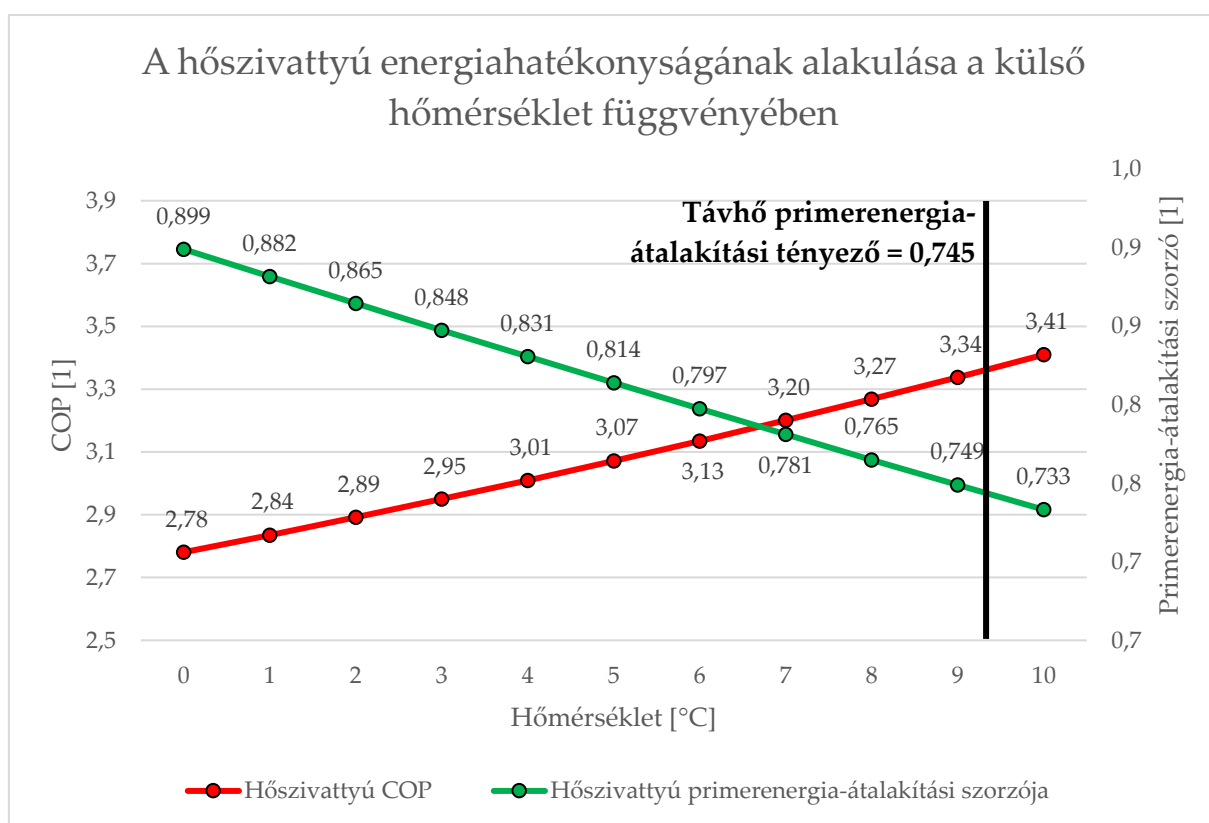
Mint az korábban látható volt, ennek rendeletben meghatározott kötelező minimális értéke az épület összes energiafelhasználásának 25%-a. Mivel az épületben központi szellőztetőrendszer nincs kiépítve, valamint egyéb jelentős villamosenergia-fogyasztó az üzemvitelben nem található, azon egyszerűsítéssel élhetünk, hogy csak a hőszivattyú és a távhő által fogyasztott energiamennyiségre végezzük el a számításokat. [7.]

3.2. Primerenergia-fogyasztás minimalizálása

Napjaink energiahatékonysági törekvései indokoltta teszik vizsgálni, hogy az egyes, akár újonnan épülő, akár már létező rendszerek energiafogyasztását milyen módszerekkel lehet hatékonyan csökkenteni. Hazánkban a Nemzeti Energia- és Klímaterv célkitűzései szerint 2030-ra az ország végsőenergia-fogyasztását lecsökkentjük a 2005-ös értékre.

Ennek ismeretében látható, hogy a jelen szakdolgozatban vizsgált épület energiafelhasználása egy fontos tényező, melyet az egységes összehasonlíthatóság érdekében primer energia formájában célszerű számítani.

A fent leírt módon történnek a számolások. A Microsoft Excel Solver bővítményének segítségével ezen számítás során csupán kiegészítő jelleggel határozzuk meg az A_{hsz} értékeit. Első lépésben ugyanis a távhő primerenergia-átalakítási tényezőjét és a hőszivattyú primerenergia-átalakítási szorzóját összevetve keresünk egy bivalens pontot, ahol a két rendszer felváltja egymást. Ehhez tekintsük meg ismét az alábbi diagramot:



4. ábra – Közelítő COP-trend és a primerenergia-átalakítási szorzó a külső hőmérséklet alakulásának függvényében

A korábban már említett távhő primerenergia-átalakítási tényező, melynek értéke 0,745 látható, hogy még a legalacsonyabb hőszivattyú primerenergia-átalakítási szorzó alatti érték. Így a jelen rendszer esetén nem lesz olyan pont, amely primerenergia-fogyasztás szempontjából a hőszivattyú számára kedvezne.

Ezen összehasonlítás alapján úgy érhető el az épület minimális primerenergia-fogyasztása, hogy a teljes fűtési szezonban kizárólag távhőellátással oldjuk meg a fűtési és HMV-igények kielégítését.

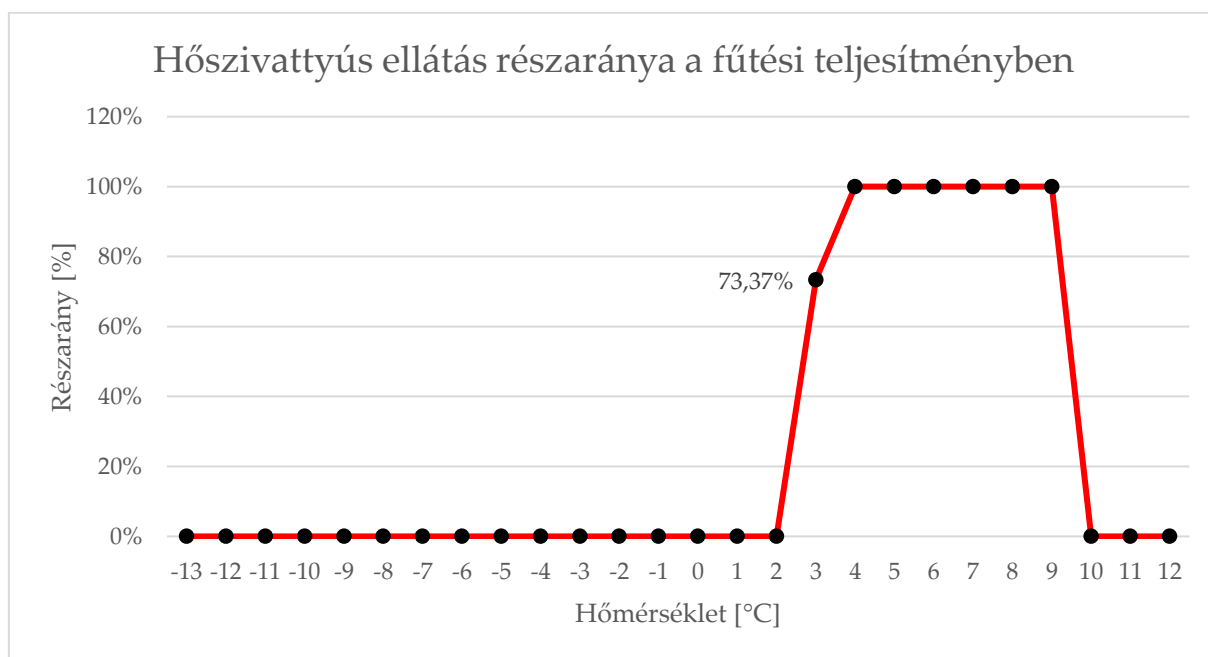
Ezzel a megoldással azonban az épület energiafelhasználása nem érne el a 25%-os megújuló részarányt, tehát nem működtethető ilyen módon. Ezért az A_{hsz} adatsort a Solver segítségével optimalizáljuk úgy, hogy továbbra is a primerenergia-fogyasztás minimumát kerestetjük vele, de ebben az esetben kikötésként megadjuk, hogy a megújuló részarány ne lehessen kisebb 25%-nál. A Solver beállításait ezen esetre az alábbi táblázat tartalmazza:

Érték típusa	Értéke
Célérték	$E_{össz,primer} = \text{minimális}$
Kikötés a számításra	$\text{Megújulóenergia} - \text{részarány} \geq 25\%$
Változók	A_{hsz} adatsor
Kikötés a változókra	$0\% \leq A_{hsz} \leq 100\%$

4. táblázat – Solver beállítások a primerenergiafogyasztás-optimum számítására

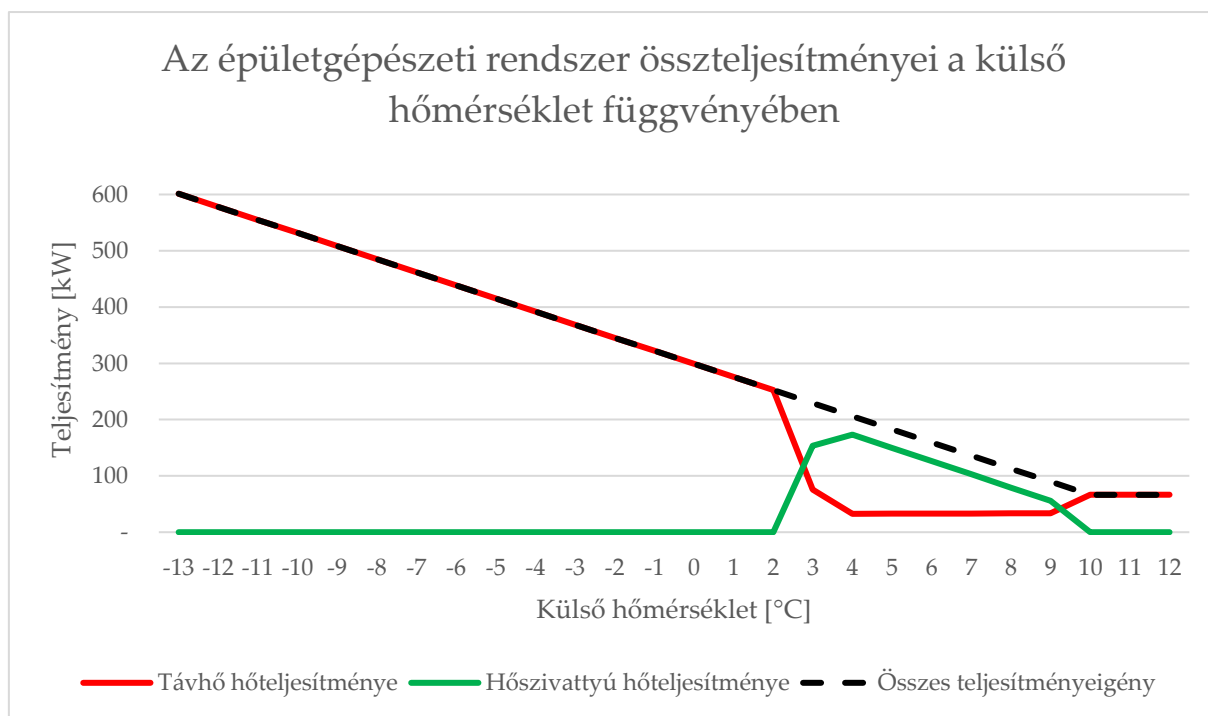
Így kapjuk eredményül, hogy a 3 °C külső hőmérsékletig a fűtési hőigényről 100%-ban a hőszivattyú gondoskodik, míg 3 °C mellett a hőszivattyúval a fűtési teljesítményigény 73,37%-át elégítjük csak ki, azalatt pedig lekapcsoljuk. Így a megújuló részarány kötelező minimumának betartása mellett a lehető legalacsonyabb lesz a primerenergia-felhasználás. Ezáltal az elérhető 659 792 kWh fűtési szezon alatt fogyasztott primerenergia-mennyiség helyett 681 676 kWh-t fogyasztana várhatóan az épület a rendeleti kötelezettsége miatt.

Ezt a menetrendet a következő diagram szemlélteti:

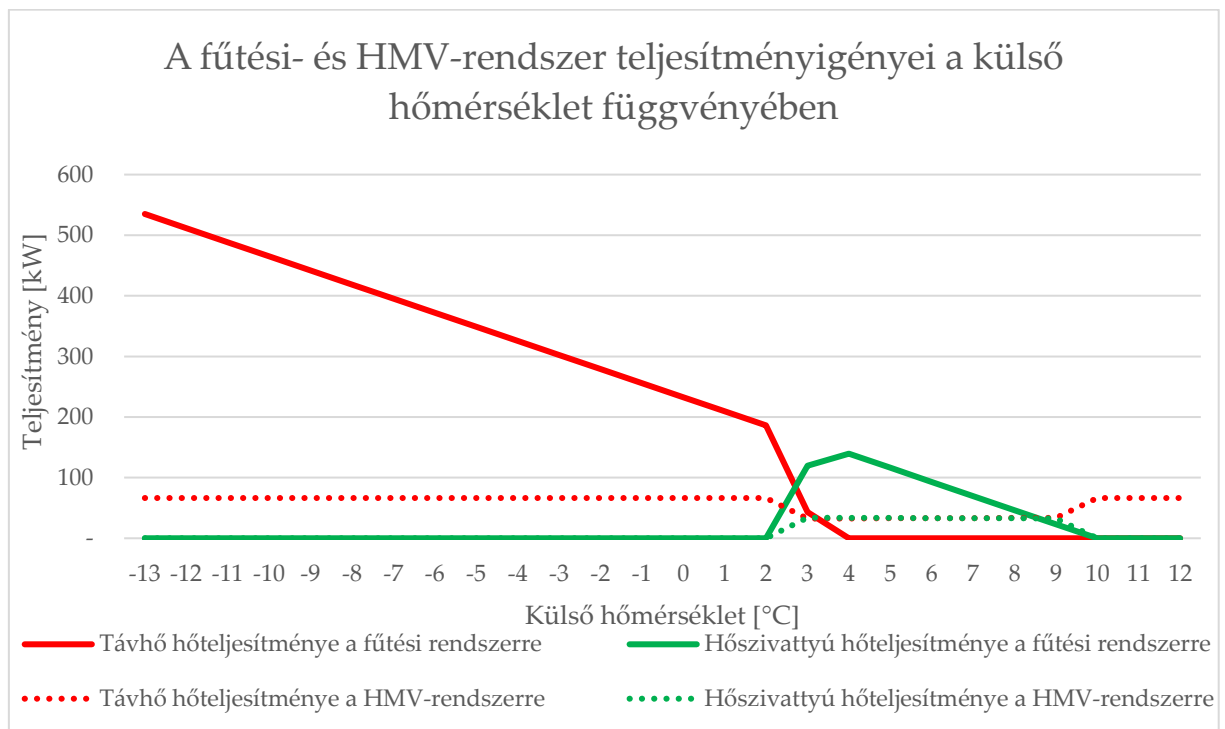


5. ábra – A hőszivattyús ellátás részaránya a fűtési hőteljesítmény-igényben primerenergia-minimumra optimalizálva

Az alábbi két grafikon mutatja, hogy az így előálló teljesítményviszonyok hogyan oszlanak meg a hőszivattyú és a távhőellátás közt:

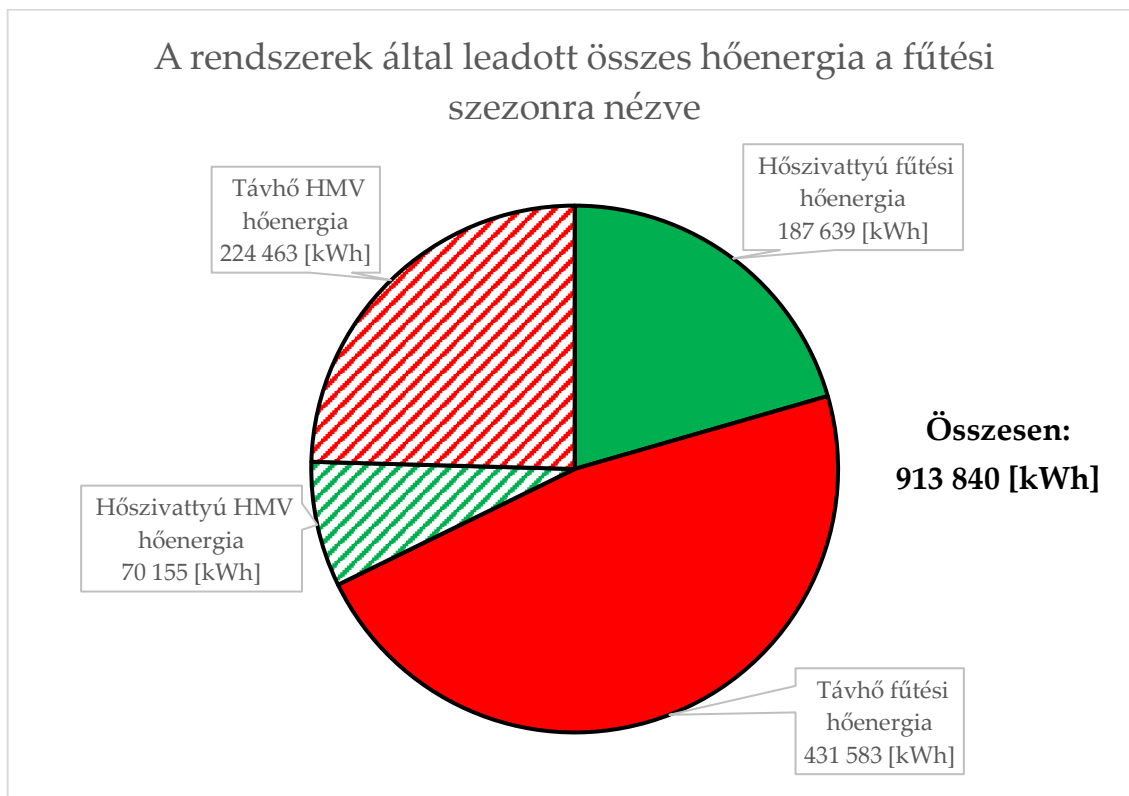


6. ábra – A távhőellátás és a hőszivattyú hőteljesítménye a külső hőmérséklet függvényében primerenergia-minimumra optimalizálva

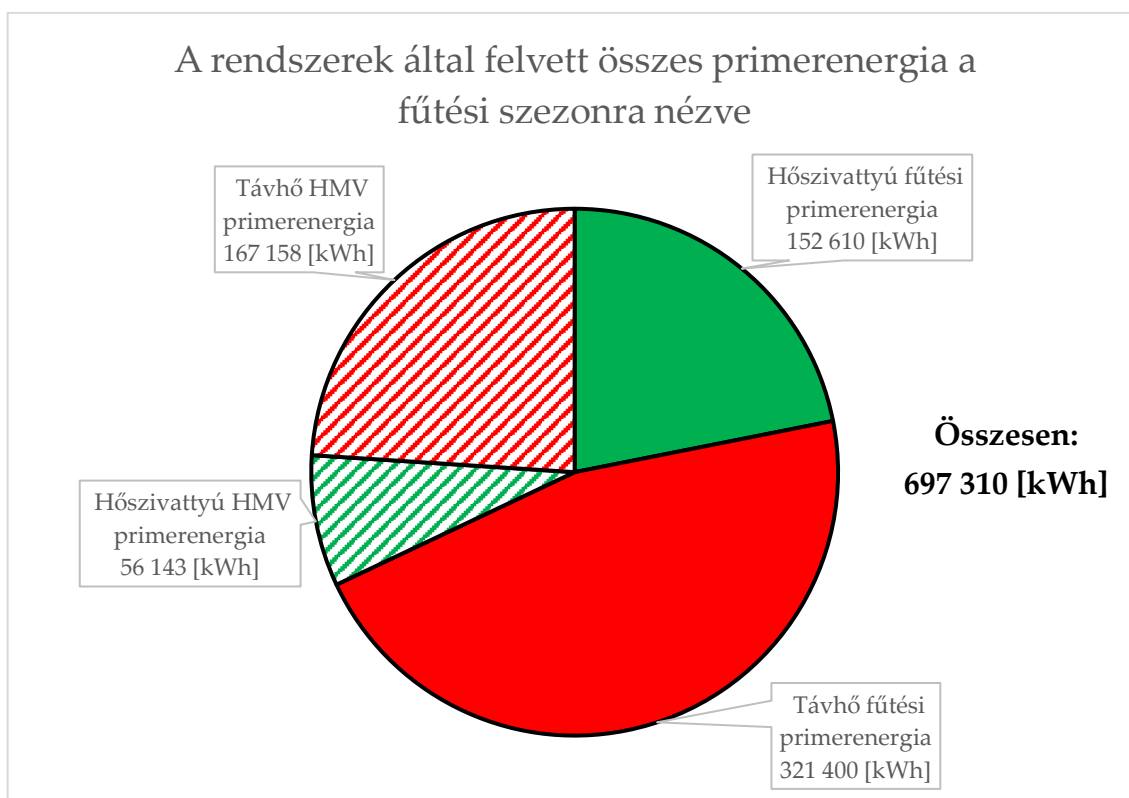


7. ábra – A fűtési és HMV rendszer hőteljesítmény-igényei a külső hőmérséklet függvényében primerenergia-minimumra optimalizálva

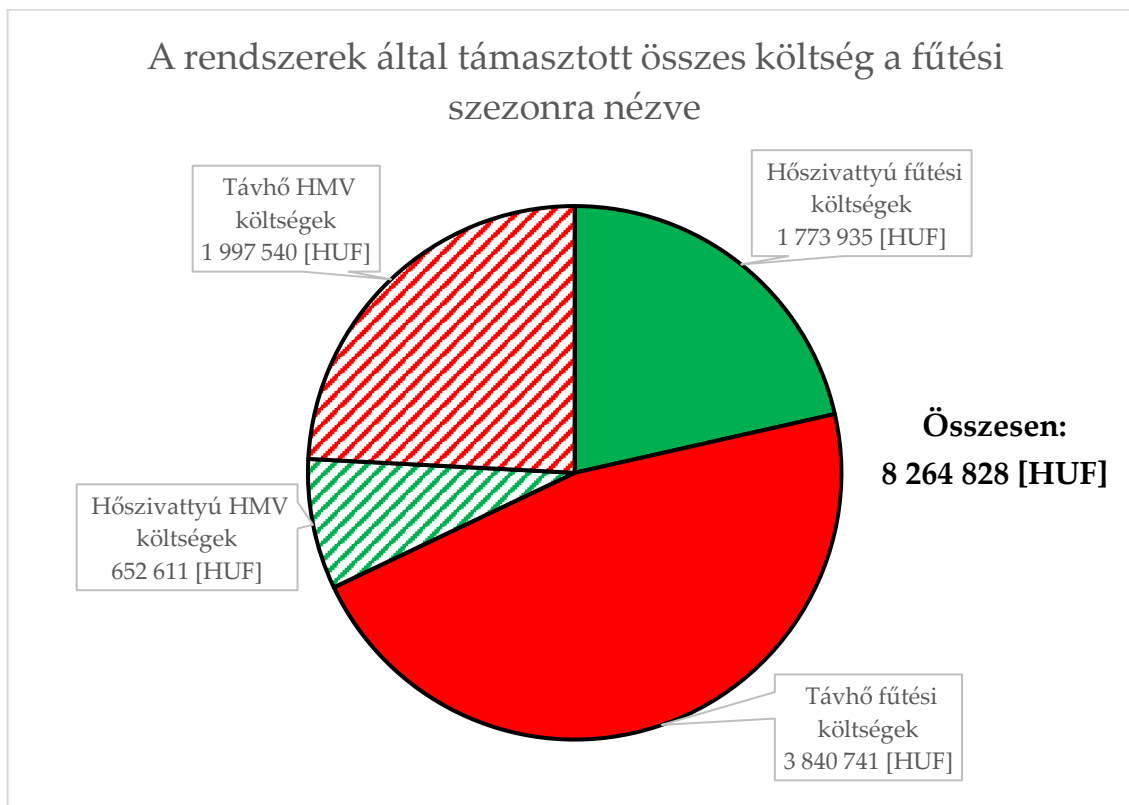
Látható az ábrákon, hogy a hőszivattyú és a távhő teljesítményei kiegészítik egymást mind az összes fűtési, mind az összes HMV igény kielégítéséhez. Megfigyelhető továbbá, hogy a hőszivattyú fűtési teljesítményének csökkenésével ezzel arányosan a HMV-teljesítménye is csökken, ami azzal magyarázható, hogy a hőszivattyúról előremenő víz először a HMV előfűtő hőcserélőjén halad át, majd onnan érkezik a fűtési rendszerbe. Ezáltal a fűtési teljesítmény modulálásával a HMV teljesítményt is befolyásoljuk. Ezt a csökkenést a távhőrendszerről pótolja a HMV utófűtő hőcserélő. Az ezen optimumkeresés során meghatározott menetrend mellett az egyes rendszerek energiafogyasztása, üzemeltetési költségei és széndioxid-kibocsátása az következő diagramokon látható:



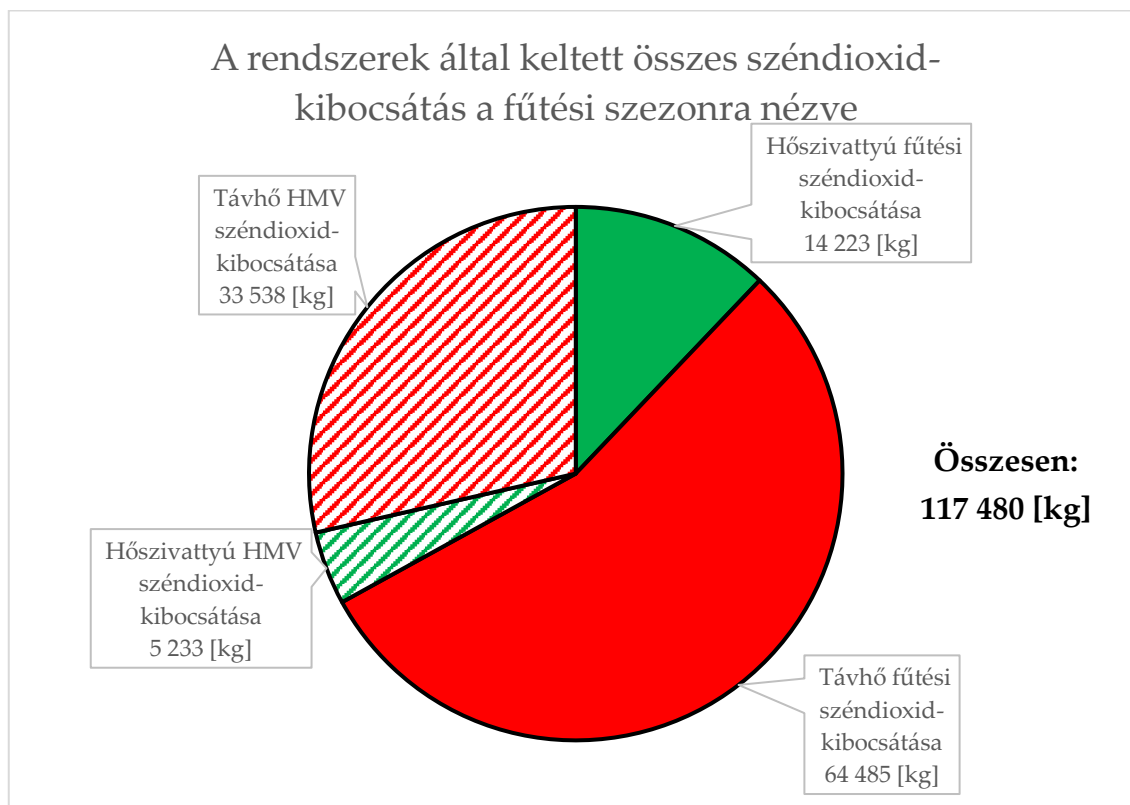
8. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető hőenergia-fogyasztás primerenergia-minimumra optimalizálva



9. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető primerenergia-fogyasztás primerenergia-minimumra optimalizálva



10. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető üzemeltetési költségek primerenergia-minimumra optimalizálva

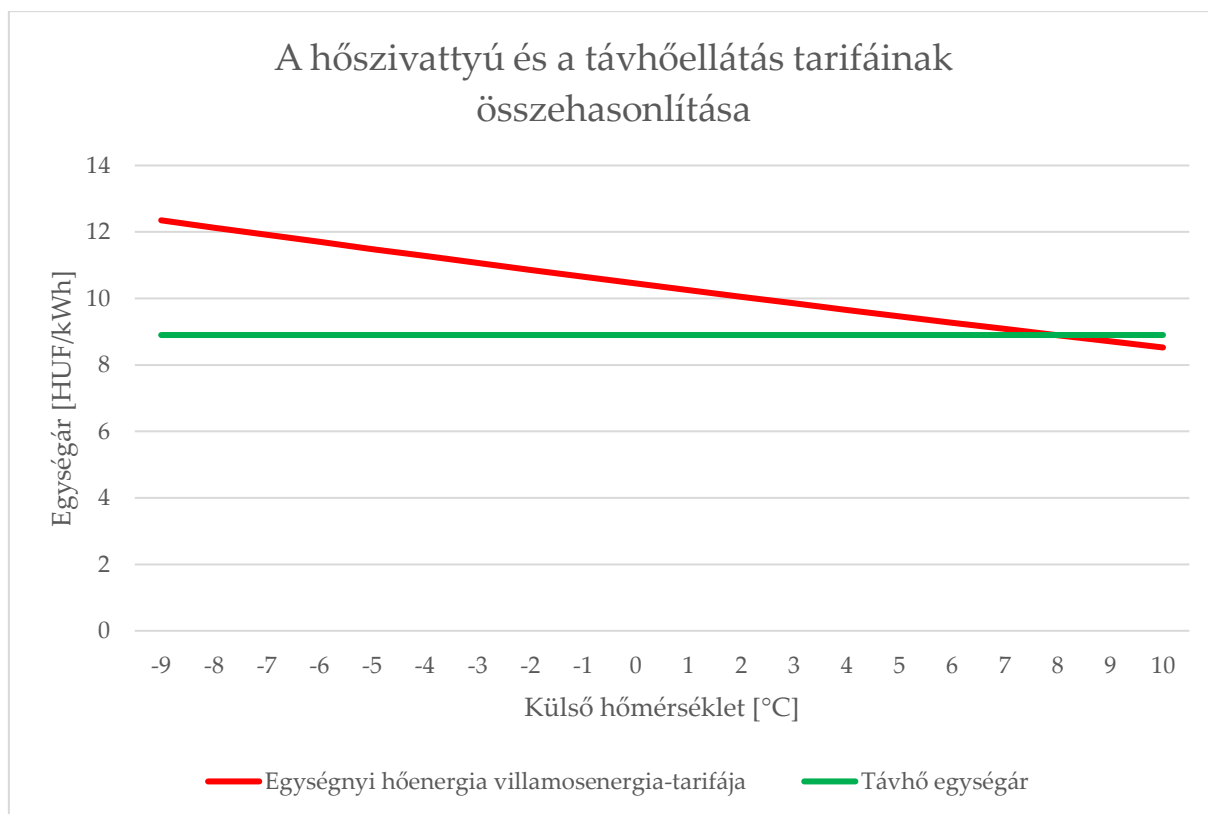


11. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető széndioxid-kibocsátás primerenergia-minimumra optimalizálva

Látható, hogy ebben az esetben az energiafogyasztás és ezáltal a költségek háromnegyedéért a távhős rendszer a felelős, míg a széndioxid-kibocsátásnak 80-85%-a belőle származik. A 12. ábra megmutatja, hogy habár a többi diagramon a hőszivattyús termelés az összes energiafogyasztásnak a negyedét okozza, a széndioxid-kibocsátáshoz csak jóval kevesebb, 15-20%-ban járul hozzá. Ez is szemlélteti, hogy a hőszivattyús energiaellátás előnyben részesítése környezettudatos megoldás, így várhatóan ez meg fog mutatkozni az erre vonatkozó optimumkeresés során is majd.

3.3. Üzemeltetési költség minimalizálása

Az üzemeltetési költség optimumát szintén főleg a hőszivattyú COP-jának változása fogja megszabni. Ennek oka, hogy a távhős és a hőszivattyús rendszer energiadíjai nem egyeznek meg: a távhőellátásért fizetendő egységár 8,899 [HUF/kWh] hőenergiára számítva, míg a villamos energia egységára, amely a hőszivattyú működtetéséhez szükséges, 29,06 [HUF/kWh]. Az optimumot a konstans alapidíjak nem befolyásolják. Azonban a villamos energia tarifáját még át kell számolni hőenergia-egységre, hiszen így lesz összehasonlítható a távhőével. Erre pedig a korábban is alkalmazott COP-t használjuk. A villamosenergia-egységárat a COP-val leosztva megkapjuk, hogy mennyibe kerül az egységnyi hőenergia előállításához szükséges villamosenergia-mennyiség. Ez már összevethető a távhő tarifájával. Alább látható a karakterisztika:



12. ábra – A tárgyépület villamos- és távhőenergia egységárainak változása a külső hőmérséklet függvényében

Megfigyelhető a diagramon, hogy a 7 °C-nál magasabb külső hőmérsékletek esetén kedvezőbb áron üzemeltethető a hőszivattyú. Azonban az előző vizsgálathoz hasonlóan ebben az esetben sem felelne meg az épület a TNM rendeletben meghatározott 25%-nak, így az előzőhöz hasonló módszerrel módosítani kell a bivalens pontot a 25% eléréséhez.

Ebből az okból ugyanazt a menetrendet kapjuk, mint az előbbi (4.2) esetben.

A Solver beállításait ezen esetre alább olvashatjuk:

Érték típusa	Értéke
Célérték	Üzemeltetési költségek = minimális
Kikötés a számításra	Megújulóenergia – részarány $\geq 25\%$
Változók	A_{hsz} adatsor
Kikötés a változókra	$0\% \leq A_{hsz} \leq 100\%$

5. táblázat – Solver beállítások az üzemeltetési költség-optimum számításra

Ezen menetrend esetén is igazak a primerenergia-optimumnál leírtak. Ebben az esetben sem üzemeltethető a rendszer az abszolút optimumon a TNM rendelet miatt.

3.4. CO₂-emisszió minimalizálása

Ahogy azt a korábbi vizsgálatok során megfigyelhettük, a hőszivattyú üzemeltetésének karbonlábnyoma lényegesen kisebb, mint a távhőellátásé. Ebből fakadóan annak érdekében, hogy a széndioxid-kibocsátást a lehető legkisebb értéken tartsuk, a hőteljesítmény-igényeket a lehető legnagyobb mértékben a hőszivattyúval kell kielégítenünk. A külső hőmérséklet csökkenésével azonban -2 °C-nál elérkezünk olyan teljesítményigényhez, melyet a hőszivattyú azon COP érték mellett már nem képes egymagában ellátni. Így fokozatosan egyre nagyobb részben kell a távhőnek is kiegészítenie a hőteljesítményt. Emiatt tapasztalható a 30. ábrán ettől a hőmérséklettől -9 °C-ig a fokozatosan csökkenő jelleg, hiszen a hőszivattyú maximális teljesítménye – amely a külső hőmérséklet csökkenésével arányosan szintén csökken – az egyre növekvő hőteljesítmény-igényt egyre kisebb arányban képes csak kielégíteni.

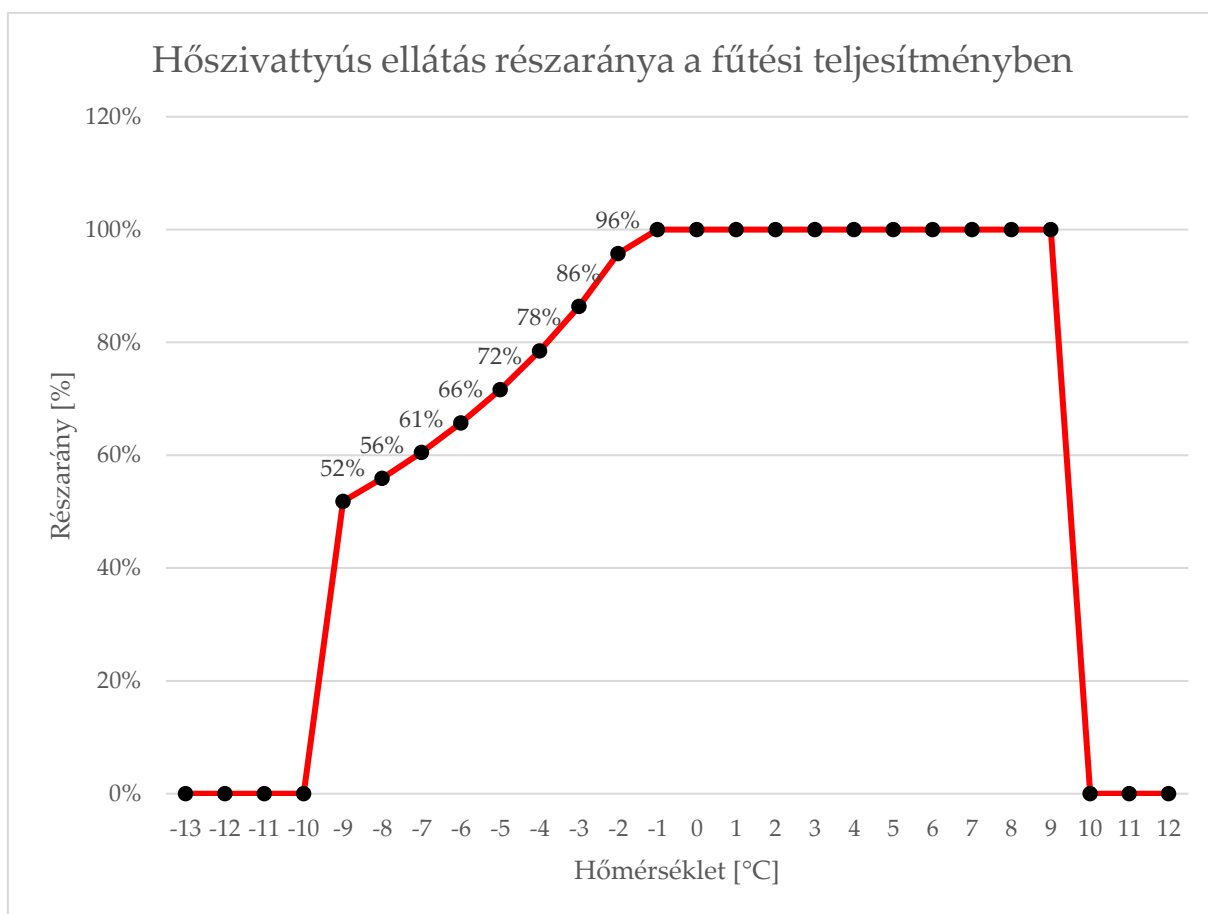
A számítások során ismét a Solvert érdemes használni. Ebben az esetben azonban olyan beállítást adunk meg, hogy úgy keresse az A_{hsz} értékek változtatásával a széndioxid-kibocsátás érték minimumát, mint célértéket, hogy közben a hőszivattyú villamos teljesítményeit tartalmazó cellák egyike se léphesse át a hőszivattyú névleges (113 kW) maximális villamos teljesítményét.

Alább kerültek összefoglalásra a Solver beállításai a jelen esetre:

Érték típusa	Értéke
Célérték	<i>Széndioxid – kibocsátás = minimális</i>
Kikötés a számításra	$P_{hsz,vill} \leq 113 \text{ kW}$
Változók	A_{hsz} adatsor
Kikötés a változókra	$0\% \leq A_{hsz} \leq 100\%$

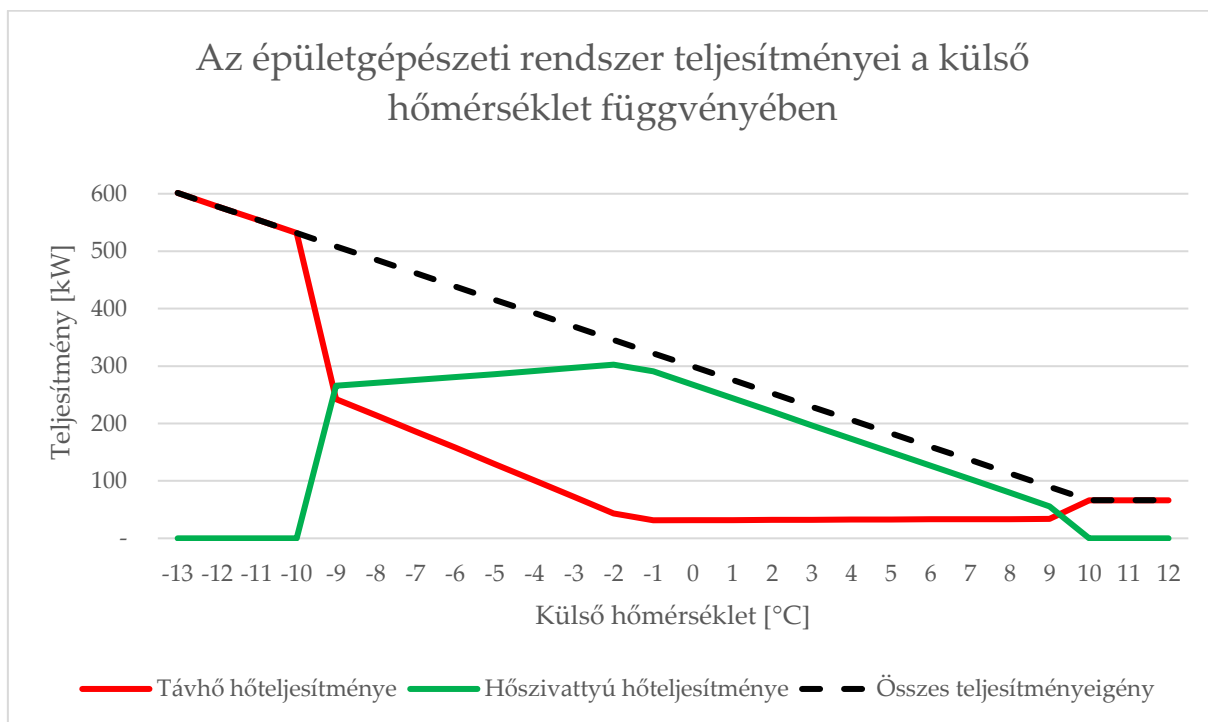
6. táblázat – Solver beállítások a széndioxidkibocsátás-optimum számítására

Ezzel a módszerrel az alábbi menetrend adódott:

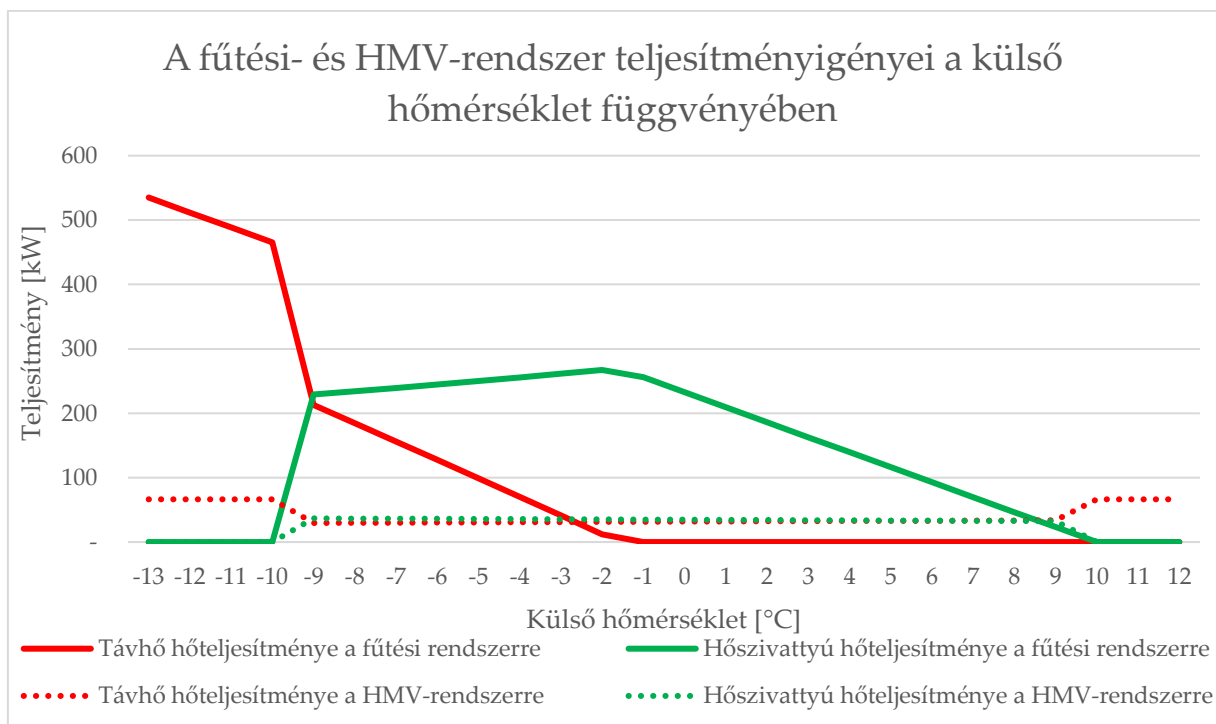


13. ábra – A hőszivattyús ellátás részaránya a fűtési hőteljesítmény-igényben széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva

A következő grafikonok pedig a hőteljesítmény-viszonyokat ábrázolják:



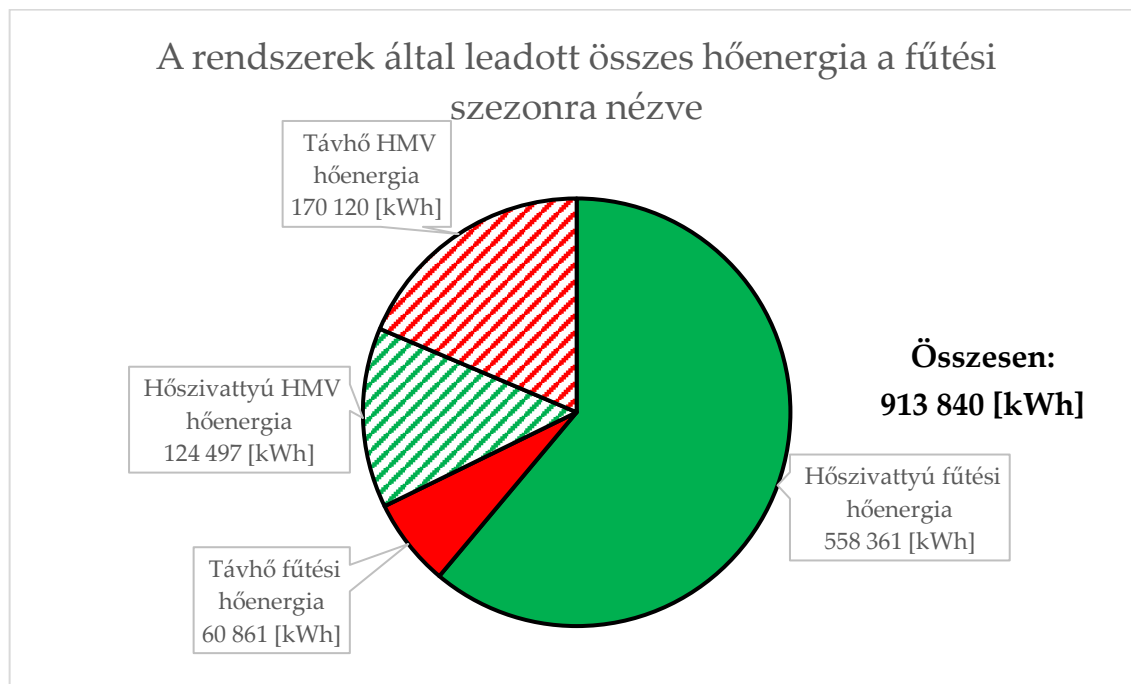
14. ábra – A távhőellátás és a hőszivattyú hőteljesítménye a külső hőmérséklet függvényében széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva



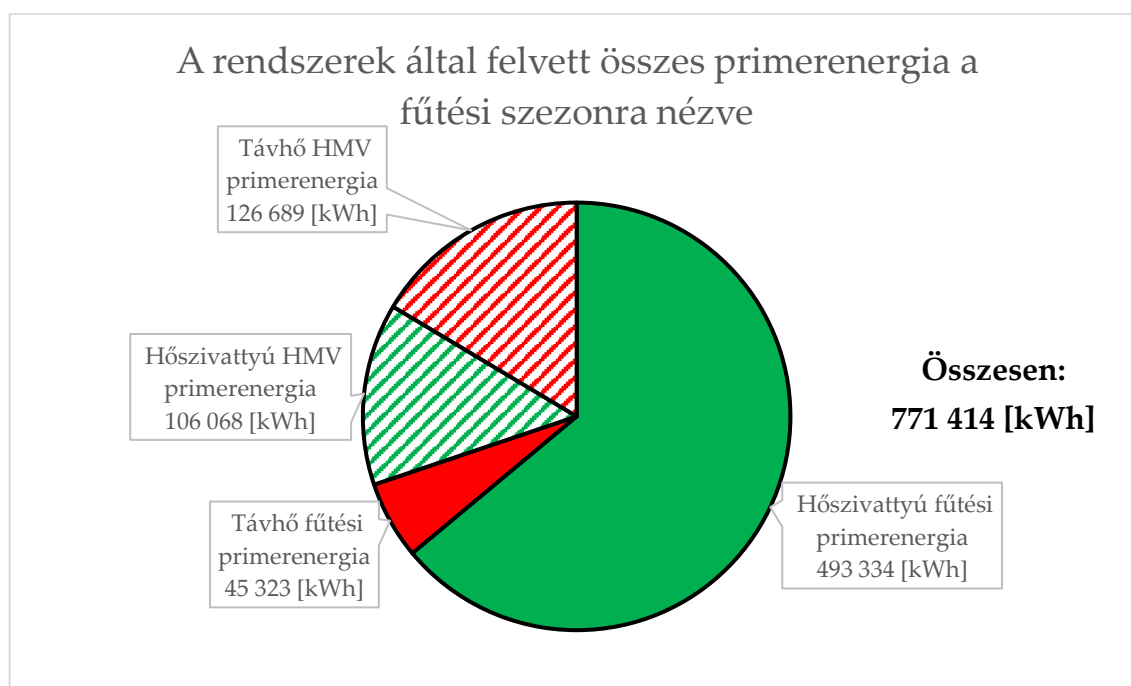
15. ábra – A fűtési és HMV rendszer hőteljesítmény-igényei a külső hőmérséklet függvényében széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva

Látható, hogy ebben az esetben már jóval alacsonyabb (-9 °C) külső hőmérséklet alatt kapcsoljuk csak ki a hőszivattyút, de -2 °C-tól már megfigyelhető a teljesítmény-hányadának folyamatos esése. Ezt a távhő kompenzálja a fűtési hőcserélőn.

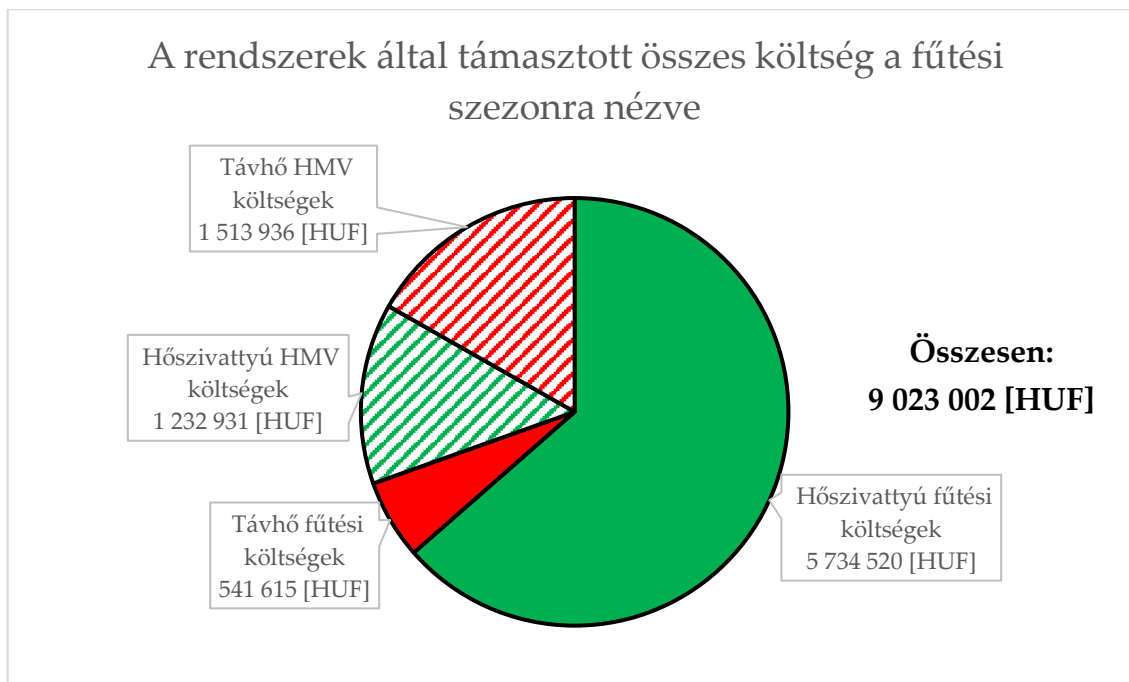
A korábban bemutatott energetikai jellemzők erre a vizsgálatra a következők:



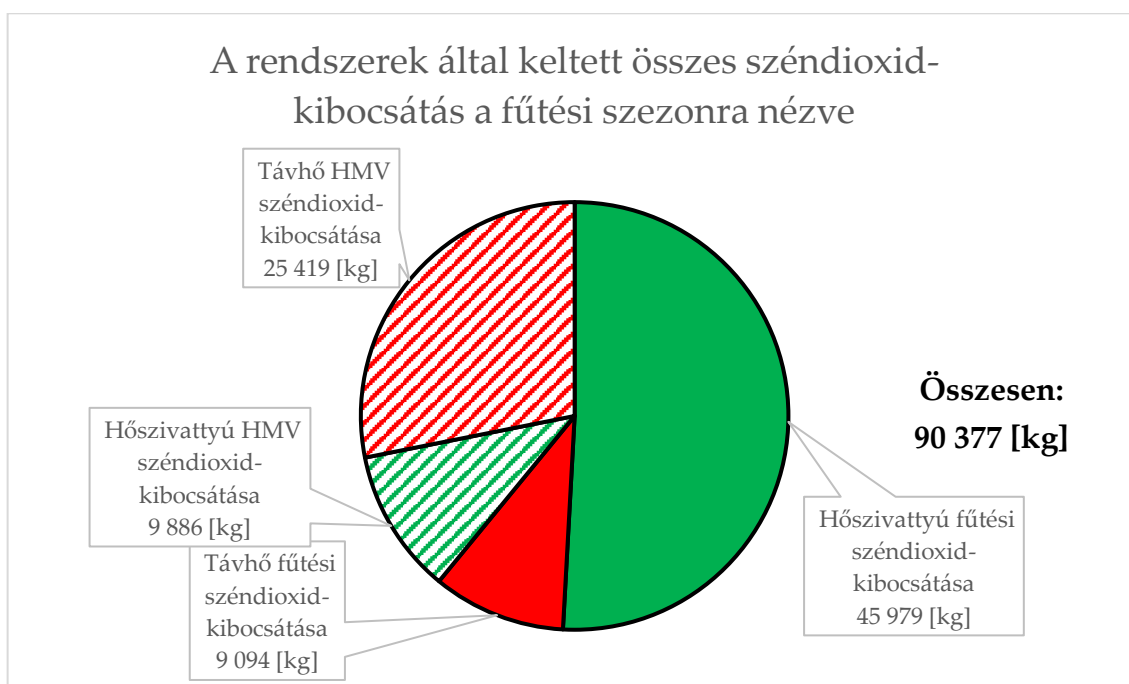
16. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető hőenergia-fogyasztás széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva



17. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető primerenergia-fogyasztás széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva



18. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető üzemeltetési költségek széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva



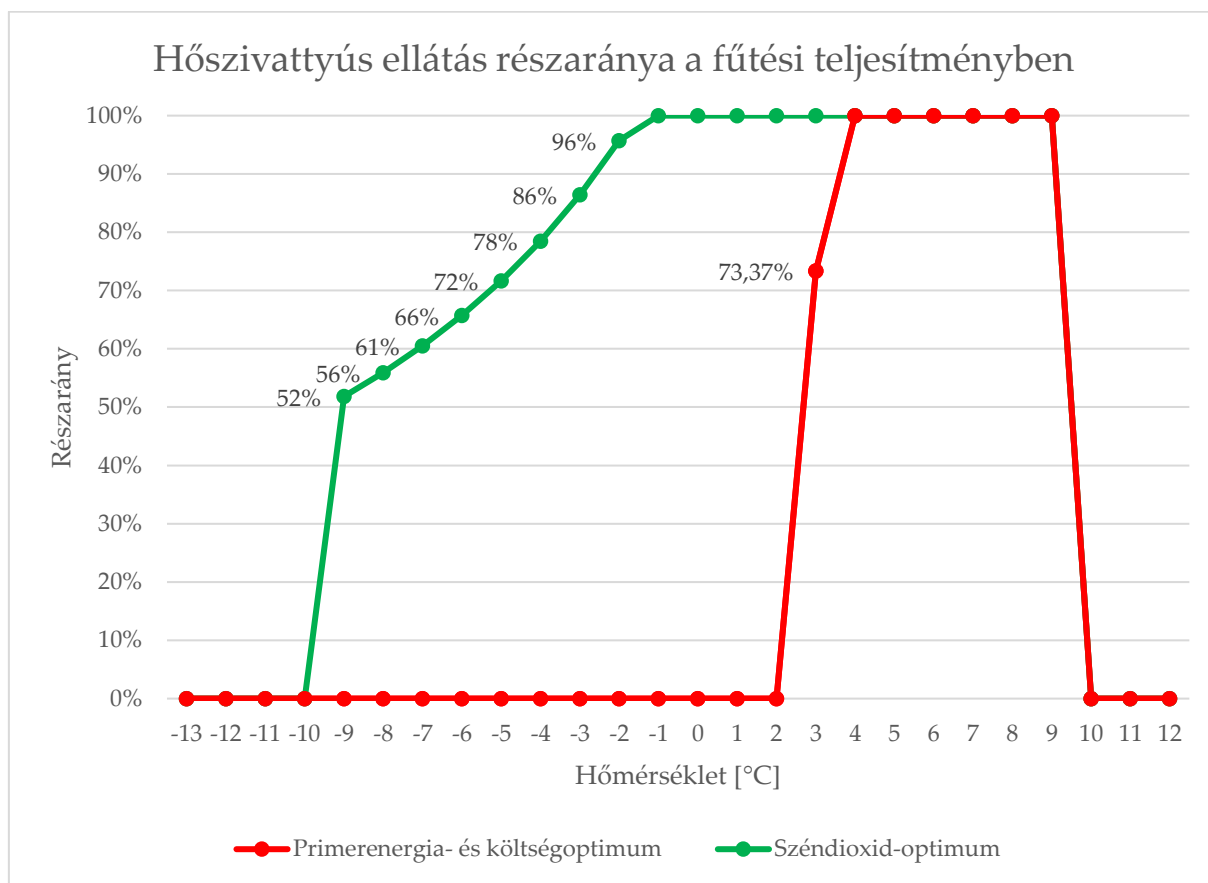
19. ábra – A fűtési és HMV rendszerek hőigényeinek hőszivattyúval és távhőellátással történő kielégítése során becsülhető széndioxid-kibocsátás széndioxidkibocsátás-minimumra optimalizálva

Ezen menetrenddel sikerült elérni, hogy a teljes energiafogyasztás közel 75%-a a hőszivattyúból származzon. A széndioxid-kibocsátás ezáltal lényegesen lecsökkent, bár annak harmadát még így is a távhő produkálja.

4. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

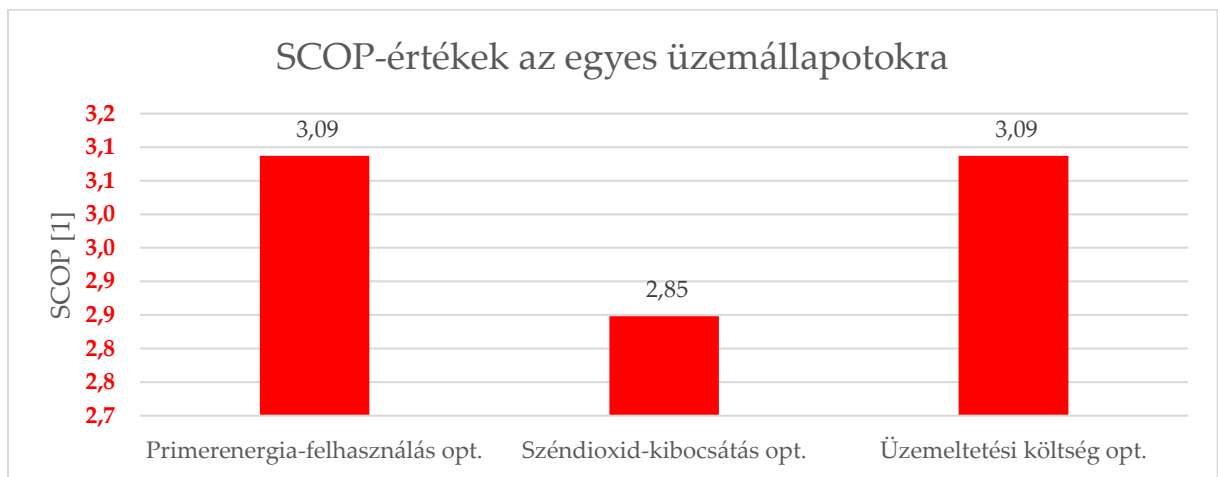
4.1. Eredmények

A vizsgálatok során három különböző szempont szerint három különböző menetrendet kaptunk, melyeket együtt az alábbi ábrán tekinthetünk meg:

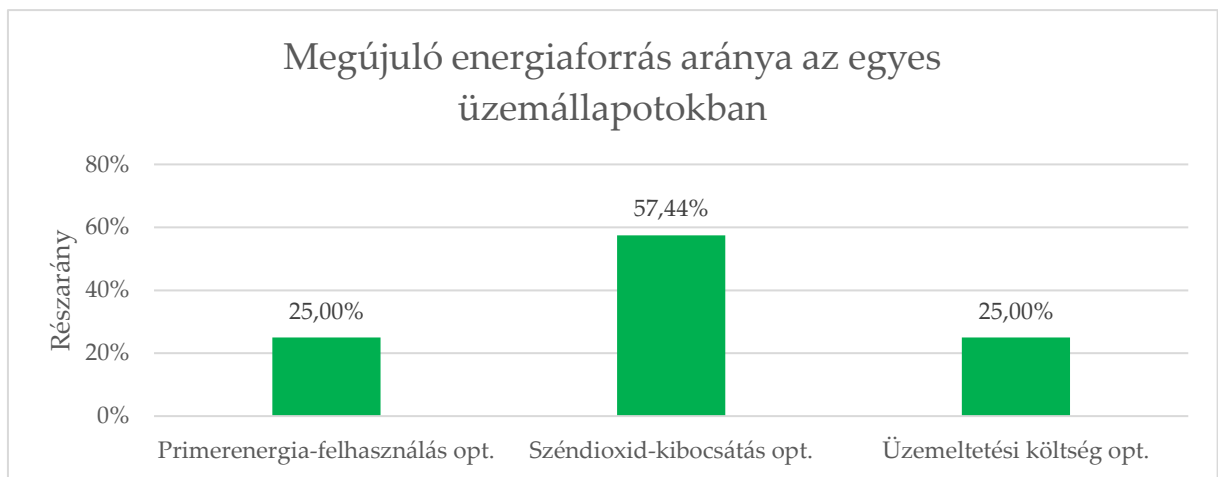


20. ábra – Az egyes optimális menetrendek összehasonlítása

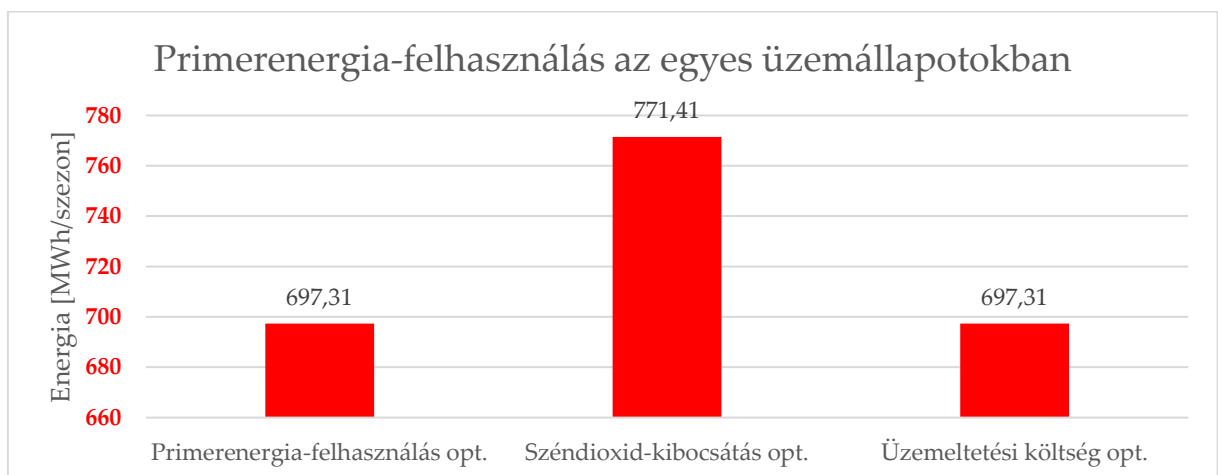
Az így adódott három üzemeltetési stratégia energetikai mutatóinak viszonyát a következő diagramok szemléltetik (néhány diagramnál a függőleges tengely **pirossal** lett ábrázolva, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy itt a skálázás nem 0-tól kezdődik a látványosabb ábrázolás és jobb kivehetőség érdekében):



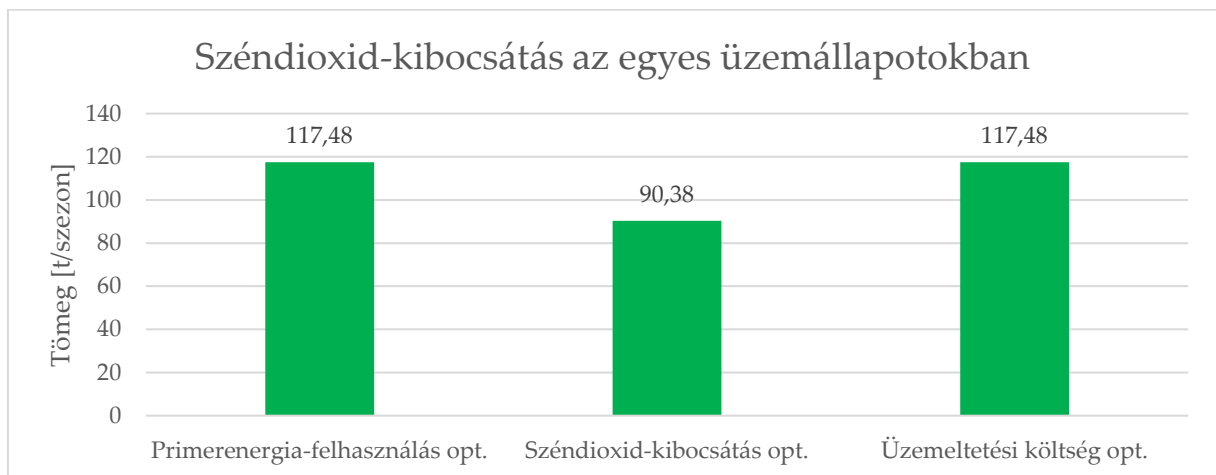
21. ábra – Az SCOP-értékek összehasonlítása az egyes optimális menetrendekre



22. ábra – A megújuló részarányok összehasonlítása az egyes optimális menetrendekre



23. ábra – A primerenergia-felhasználás összehasonlítása az egyes optimális menetrendekre



24. ábra – A széndioxid-kibocsátás összehasonlítása az egyes optimális menetrendekre



25. ábra – Az üzemeltetési költségek összehasonlítása az egyes optimális menetrendekre

Megfigyelhetők összefüggések az egyes diagramok közt. A megújuló részarányval fordítottan arányosan változott a széndioxid-kibocsátás mértéke, azonban minél nagyobb hányadát termeltük hőszivattyúval a hőigénynek, annál magasabb lett a primerenergia-fogyasztás és ezzel az üzemeltetési költség is, bár ezek csupán kis mértékben térnek el egymástól.

4.2. Tanulságok

A vizsgálatokból levonható tanulságként a szakdolgozat során számolt épületre, hogy a széndioxid-kibocsátás minimalizálásának érdekében fel kellene áldozni az energia- és költséghatékony működtetést. Habár a hazai és nemzetközi törekvések célja az energiahatékonyság szorgalmazásával és az energiafogyasztás csökkentésével a károsanyag-kibocsátás visszafogása, a jelen épület rendszerének esetében ezek éppen elmentéses üzemeltetési stratégiát kívánnak meg.

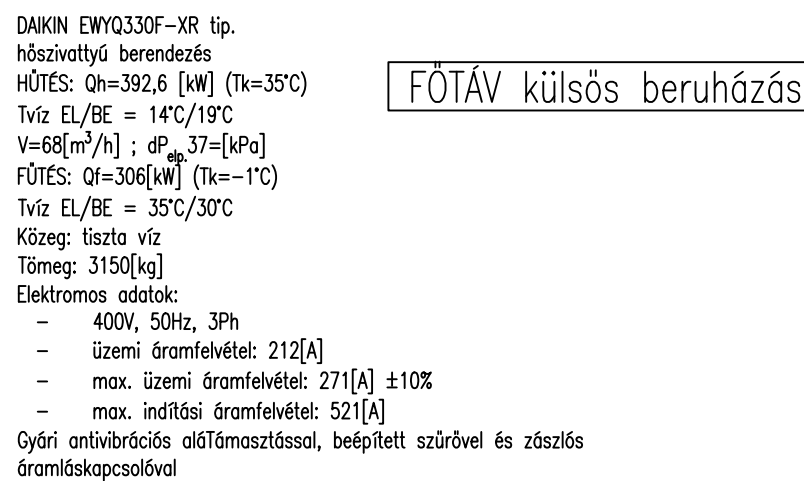
A diagramokon is látható, hogy fűtési szezononként 700 000-800 000 forintért cserébe megtakarítható 25-30 tonna széndioxid-kibocsátás. Ez az épületüzemeltető és -tulajdonos preferenciától függően eldöntendő kérdés, azonban mind a hazai és EU-s szabályozási környezet, mind gazdaságosság szempontjából kedvezőbb lenne a primerenergia- és költségoptimumra meghatározott stratégiát alkalmazni. Ezekkel szemben a széndioxid-kibocsátásra vett optimumnak a tulajdonos és üzemeltető javára legfeljebb marketingértéke lehet.

Javaslom tehát az épület fűtési hőigényét a 4 °C-tól 9 °C-ig terjedő külsőhőmérséklet-tartományban 100%-ban, 3 °C mellett 73,37%-ban hőszivattyúval ellátni, míg a maradék hőteljesítményigényt (amely a HMV-előállítás során is jelentkezik) a távhőellátással biztosítani. Ezáltal a TNM rendeletben előírt 25%-os minimális megújuló részarány mellett elérhető maximális energia- és költséghatékonyság szintjén üzemel az épület.

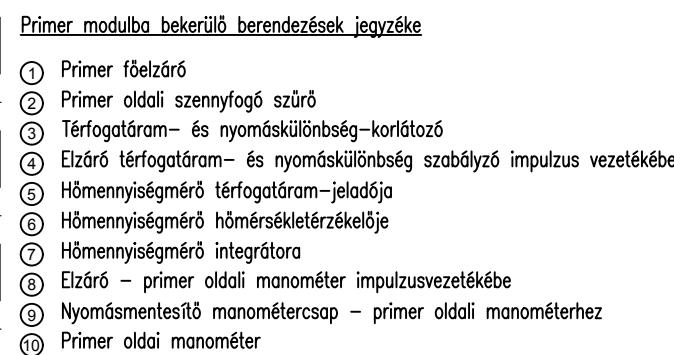
5. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1.] EPBD (Energy Performance of Buildings Directive): 4. cikk
- [2.] EPBD: 6. cikk
- [3.] EPBD: 7. cikk
- [4.] EPBD: 8. cikk
- [5.] EPBD: 9. cikk
- [6.] EED (Energy Efficiency Directive): 17. pont
- [7.] 7/2006. (V.24.) TNM rendelet
- [8.] 1/2012. (I. 20.) NFM rendelet
- [9.] BudaPart honlap: BRE lakóépület műszaki tartalom (<https://www.budapart.hu/hu/muszaki-tartalom-bre-lakoepulet-standard>)
- [10.] Főtv Nonprofit Zrt.: Adatszolgáltatás
- [11.] Az ipari konzulens által rendelkezésre bocsátott kapcsolási vázlat (lásd utolsó oldali melléklet)
- [12.] Lechner Tudásközpont Területi, Építészeti és Informatikai Nonprofit Kft.
- [13.] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal; Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége: A magyar távhőszektor 2020. évi adatai (http://mekh.hu/download/4/5b/01000/CP21_004_katalogus_tavho.pdf)
- [14.] Az E.ON Áramszolgáltató Kft.: Villamos energia felhasználóknak értékesített villamos energiájának forrásösszetétele 2020. évben
- [15.] Daikin: EWYQ-F Databook (CSS - Rev. 9.2)
- [16.] Fodor Zoltán (2013.): A bivalencia pont, valamint az ár-érték összefüggései a hőszivattyús rendszereknél I. Magyar Installateur
- [17.] Fodor Zoltán (2013.): A bivalencia pont, valamint az ár-érték összefüggései a hőszivattyús rendszereknél II. Magyar Installateur
- [18.] Rajat Gupta, Robert Irving (2013): *Development and application of a domestic heat pump model for estimating CO2 emissions reductions from domestic space heating, hot water and potential cooling demand in the future* Energy and Buildings
- [19.] Claudia Naldi, Gian Luca Morini, Enzo Zanchini (2014): *A method for the choice of the optimal balance-point temperature of air-to-water heat pumps for heating* Sustainable Cities and Society
- [20.] G. Bagarella, R. Lazzarin, M. Noro (2016): *Annual simulation, energy and economic analysis of hybrid heat pump systems for residential buildings* Applied Thermal Engineering
- [21.] Oussama Ibrahim et al. (2014): *Air source heat pump water heater: Dynamic modelling, optimal energy management and mini-tubes condensers* Energy

FÖTÁV Modul rendszerű hőközpont

HŐSZIVATYÚ ELPÁROLOGTATÓ
FAGYVÉDELMI MELEJTÉSE KETTŐS BETÁRÓL MEGTÁRI ÁLV

FÖTÁV saját beruházás



HMV modulba bekerülő berendezések jegyzéke

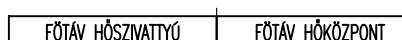
- 11 Egyúti motoros szabályzószelap – HMV–kör
- 12 HMV hőcserélő – utófűtő
- 13 Primer oldali szakszelelt elzáró – HMV–kör
- 14 Primer oldali ürtöltőszelvény
- 15 Hővezig – fűtőzár
- 16 Szennyfogó szűrő – hőháztartí vívfűz
- 17 Visszacsapó szelap – hőháztartí vívfűz
- 18 Impulzusadósi hővezig/ztmérő
- 19 Műfő–beszabályzó szelap – hővezig/zt vezetéktbe
- 20 Rugóterhelési biztonsági szelap – HMV–kör
- 21 Visszacsapó szelap – cirkulációs vezetéktbe
- 22 Szennyfogó szűrő – cirkulációs vezetéktbe
- 23 Visszacsapó szelap – cirkulációs vezetéktbe
- 24 Helyi hőmérő
- 25 Elzáró – szekunder HMV–kör monométerének impulzusvezetéktbe
- 26 Nyomásmérőstől monométerelap – szekunder HMV–kör monométeréhez
- 27 Monométer – szekunder HMV–kör
- 28 Tűlfűtővélésűd termosztát – HMV–kör
- 29 Hőmérséklet–érztelő
- 30 Keringtető szivattyú – HMV–kör
- 31 HMV fűtőzár
- 32 Visszacsapó szelap – tárolótöltő vezetéktbe
- 33 Fűtő szelap – tárolótöltő vezetéktbe

Fűtési modulba bekerülő berendezések jegyzéke

- (34) Primer- és másodlagos elzáró – fűtési kör
 (35) Fűtési hőcserélő – fűtési kör
 (36) Egyfali motoros szabályozószelap – fűtési kör
 (37) Szekunder fűtési felosztó – fűtési kör
 (38) Gumikompenzátor
 (39) Szekunder szennyfogó szűrő – fűtési kör
 (40) Nyomástartó
 (41) Fűtési rendszert töltő szerelvény
 (42) Keringtető szivattyú – fűtési kör
 (43) Helyi hőmérés
 (44) Hőmérséklet-érzékelő
 (45) Rugóterhelhető biztonsági szelep – fűtési kör
 (46) Elzáró – szekunder fűtési kör monométerén
 impulzusvezetékébe
 (47) Nyomásmérőből monométercsap –
 szekunder fűtési kör monométeréhez
 (48) Monométer – szekunder fűtési kör

FŐTÁV külsős beruházás

FÖTÁV saját beruházás



JELMAGYARÁZAT:

- primer előremenő vezeték
 primer visszatérő vezeték
 fűtési előremenő vezeték
 fűtési visszatérő vezeték
 hűtési előremenő vezeték
 hűtési visszatérő vezeték
 hidegvíz vezeték
 használati melegvíz vezeték
 keringési vezeték
 impulzus vezeték vezeték

Csonttáblázat		
Jel	Megnevezés	Csatlakozó méret
C1	Fűtés előre	DN150 - karimapár
C2	Fűtés vissza	DN150 - karimapár
C3	HMV előfűtő be	2 1/2" - menetes csatlakozás
C4	HMV előfűtő ki	2 1/2" - menetes csatlakozás
C5	Fűtés -hűtés előre	DN150 - karimapár
C6	Fűtés -hűtés vissza	DN150 - karimapár
C7	Hidegvíz	DN80 - menetes csatlakozás
C8	HMV	DN80 - menetes csatlakozás
C9	Cirkuláció	DN65 - menetes csatlakozás

Kiviteli terv

elmű·émász 
Part of innogy

KLÍMA-ÉS HŰTÉSTECHNOLÓGIA H-1131 Bp. Reitter F. u. 132/c.
TERVEZŐ, SZERELŐ ÉS KERESKEDELMI KFT. Tel.: +36 1 666 7007
E-mail: info@klima.hu

Tárgy.: BR-E épület Hűtési Fűtési energiaellátás

Megnevezés: **Primer hűtési-fűtési vezeték
Kapcsolási séma**

Cím: Budapest XI. ker. Lágymánvosi öböl HRSZ: 4042/130

Vezető tervező: Bicskei Attila	Tervező: Döményi Tamás	Generál tervező: 	Munkaszám: 2019/FBK_30
G-T 01-5934	okl. gépészmérnök	Megbízó: 	Dátum: 2020.03.27

EV szám:	R-00
ajzsám:	Gfh-01

Előzetes: -
 Funkciószám: 019/FBK_30
 Dátum: 2020.03.27