

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

KOCSIS KENDE

PÁLYAMUNKA A DR. BÜKI GERGELY TÁVHŐ ÍGÉRETE
ELISMERÉSRE

Irodaépület egyidejű fűtési és hűtési igényeinek hőszivattyúval történő fedezési
stratégiája

Konzulens:

Némethi Balázs

Főtáv üzemvitel-irányítási
osztályvezető

Témavezető:

Dr. Bokor Balázs

Egyetemi adjunktus

Budapest, 2021

TA

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke	iii
1. Bevezetés és a vizsgált épület bemutatása	0
2. A hőellátó rendszer bemutatása	1
2.1. Daikin EWYT 500B-XRA2 hőszivattyú	1
3. A meglévő rendszer üzemének optimalizálása	3
3.1. Hőtermelők üzemviteli stratégiája	3
3.1.1. Különböző üzemelési módok	3
3.2. Az optimális üzemvitel koncepciói	5
3.2.1. Primerenergia-fogyasztás szerinti optimum	5
Az üzemeltetési optimum meghatározásának módszerei:	6
3.2.1.1. Alternáló üzemállapot	12
3.2.1.2. Párhuzamos üzemállapot	14
3.2.1.3. A három eset összegzése	17
3.2.2. Gazdasági optimum	18
Az üzemeltetési optimum meghatározásának módszerei:	18
3.2.2.1. Alternáló üzemállapot	19
3.2.2.2. Párhuzamos üzemállapot	20
3.2.2.3. Kizárólag távhővel ellátott	21
3.2.2.4. Gazdasági összegzés	21
3.2.3. Környezetvédelmi optimum	22
3.2.3.1. Alternáló üzemállapot	23
3.2.3.2. Párhuzamos üzemállapot	23
3.2.3.3. Kizárólag távhős üzemállapot	24
3.2.3.4. A három üzemállapot összegzése	24
3.2.4. Optimalizálás összegzése	25
3.3. Szabályozástechnika	25
3.3.1. Hőszivattyú szabályozása	26
3.3.1.1. Időfüggő kapcsolás	26
3.3.1.2. Hőmérséklet tehetetlenség	26
4. Összefoglalás/Eredmények értékelése	28
5. Felhasznált források	29

* * *

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és *angol* 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 helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
a	épület hőtechnikai arányossági tényezője	1
$A_{\text{lakás}}$	a lakórészek területe	m^2
A_{iroda}	az irodák területe	m^2
$A_{\text{össz.}}$	az összes belső alapterület	m^2
$C_{\text{áram}}$	a hőszivattyú villamosenergia-fogyasztásának órai költsége	Ft/h
$C_{\text{távhő}}$	a távfűtés hőenergia-fogyasztásának órai költsége	Ft/h
$C_{\text{csak távhő}}$	a kizárólag távhővel ellátott rendszer hőenergia-fogyasztásának órai költsége	Ft/h
COP_{i-1}	„i-1”-edik COP adat	1
COP_i	„i”-edik COP adat	1
COP_{-10}	-10°C-ra kapott COP adatok	1
COP_{10}	10°C-ra kapott COP adatok	1
$E_{\text{fűtés}}$	éves fűtési energiaigény az egész épületre vetítve	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{év}$
$E_{\text{lakás}}$	a lakások éves energiaigénye	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{év}$
E_{iroda}	az irodák éves energiaigénye	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{év}$
$E_{\text{fűtési igény}}$	az épület fűtési energiafelhasználása	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{leadott, fűtési}}$	a hőszivattyú által leadott fűtési energia	kWh
$E_{\text{bevezetett, villamos}}$	a hőszivattyúba bevezetett villamos energia	kWh
$E_{\text{lakás fűtés}}$	a lakások fűtési energiaigénye	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{iroda fűtés}}$	az irodák fűtési energiaigénye	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{villamos, hsz}}$	a hőszivattyú villamos energiafogyasztása	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{primer, hsz}}$	a hőszivattyú primerenergia felhasználása	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{primer, TH}}$	a távfűtés primerenergia felhasználása	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{távhő, alternáló}}$	távhő energiafelhasználása alternáló üzemben	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{távhő, párhuzamos}}$	távhő energiafelhasználása alternáló üzemben	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$E_{\text{primer, csak távhő}}$	a kizárólag távhővel ellátott üzem primerenergia-felhasználása	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{óra}$
$e_{\text{primer, hsz}}$	a hőszivattyú primerenergia-átalakítási tényezője	1
$e_{\text{primer, TH}}$	a távfűtés primerenergia-átalakítási tényezője	1
F	metán fűtőértéke	kWh/kg
G	órára vetített hőfokhíd	$^{\circ}\text{C}$
m_{TH}	a távhő szén-dioxid kibocsátása energiára vonatkoztatva	kg/kWh
$\dot{m}_{\text{villamos}}$	a magyar energiamix szén-dioxid kibocsátása energiára vonatkoztatva	kg/kWh
$\dot{m}_{\text{alternáló}}$	az alternáló üzem órai szén-dioxid kibocsátása	kg/h

$\dot{m}_{\text{párhuzamos}}$	az párhuzamos üzem órai szén-dioxid kibocsátása	kg/h
$\dot{m}_{\text{csak TH}}$	a kizárólag távhővel ellátott fűtési üzem órai szén-dioxid kibocsátása	kg/h
$p_{\text{áram}}$	a villamosenergia fajlagos ára	Ft/kWh
$p_{\text{távhő}}$	a távhő fajlagos ára	Ft/kWh
t_b	belső hőmérséklet	°C
t_k	külső hőmérséklet	°C
$t_{k,i-1}$	„i-1”-edik külső hőmérsékleti adat	°C
$t_{k,i}$	„i”-edik külső hőmérsékleti adat	°C
t_{k1} és t_{k2}	a megkapott COP adatokhoz tartozó hőmérséklet értékek	°C
$\dot{Q}_{\text{hősz},i}$	a hőszivattyú teljesítménye az „i”-edik pontban	kW
$\dot{Q}_{\text{hősz},i-1}$	a hőszivattyú teljesítménye az „i-1”-edik pontban	kW
$\dot{Q}_{\text{hősz},\text{max}}$	a hőszivattyú maximális teljesítménye	kW
$\dot{Q}_{\text{iroda fűtés},i}$	az irodák fűtési teljesítményigénye az „i”-edik pontban	kW
$\dot{Q}_{\text{iroda fűtés},i-1}$	az irodák fűtési teljesítményigénye az „i-1”-edik pontban	kW
$\dot{Q}_{\text{iroda},\text{max}}$	az irodák méretezési fűtési teljesítményigénye	kW
Z	t_k hőmérsékletű órák száma	1

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
i	általános futóindex (egész szám)
opt	legkedvezőbb (optimális) érték

1. BEVEZETÉS ÉS A VIZSGÁLT ÉPÜLET BEMUTATÁSA

A pályamunkám tárgya a Budapest XI. kerület Vahot utca 6. szám alatt található, 2021 negyedik félévében átadott multifunkcionális iroda és lakóépület. Megvizsgálom, hogy az adott rendszerrel milyen lehetőségek között mozogva optimalizálhatjuk az épületüzemeltetést – tekintettel léve a hőtermelők be- és kiléptetésére, illetve a hőigény optimális hőtermelővel való fedezésére.

A fűtési igényeket a Főtáv által szolgáltatott távfűtés és a tetőn elhelyezett Daikin hőszivattyú szolgáltatja, míg a hűtési igényeket egy – szintén a tetőn elhelyezett – Daikin folyadékhűtő és az imént említett hőszivattyú látja el.

Az épület helyet ad magában egy irodarésznek és három, szinte identikus lakótoronynak.



1. ábra: Az épület látványterve [3.]

Az épület lakórésze 5126 m², az iroda és közös helyiségek pedig 4692 m² alapterületűek.

Az épület várható éves hőenergiafelhasználásait a tervező becsülte meg a 7/2006 TNM rendeletnek megfelelően. Ezek a következőképpen alakulnak:

Energia felhasználás célja	Szükséges energia megnevezése	Épület éves fűtési és hűtési energia-felhasználása
Fűtés (Lakások)	távhő és villamos en.	34,87 kWh/m ² /év
HMV (Lakások)	távhő és villamos en.	30,00 kWh/m ² /év
Hűtés (Lakások)	hűtési energia	19,75 kWh/m ² /év
Fűtés (Iroda)	távhő és villamos en.	40,52 kWh/m ² /év
Hűtés (Iroda)	hűtési energia	65,00 kWh/m ² /év
Free Cooling téli hűtés	hűtési energia	15,00 kWh/m ² /év

2. ábra: Az épület becsült energiafelhasználása [4.]

2. A HŐELLÁTÓ RENDSZER BEMUTATÁSA

2.1. Daikin EWYT 500B-XRA2 hőszivattyú

A hőszivattyú egy Daikin gyártmányú, EWYT 500B-XRA2 modellű elem, amely spirálkompresszorral van felszerelve. A hőszivattyú a tervek szerint gazdaságossági okokból nem üzemel 5 °C-os külső hőmérséklet alatt, a teljes épület fűtésének egészét onnantól kezdve a Főtáv által megtáplált szekunder rendszer fogja ellátni távhővel.



3. ábra: A Daikin EWYT 500B-XRA2 hőszivattyú képe [8.]

Ezt a bivalens pontot - amit a tervek 5°C-ra helyeztek – fogom megvizsgálni energetikai, gazdasági és környezettudatossági szempontból a későbbiekben, és a kapott adatok alapján optimalizálom. A hőszivattyú fűtő és hűtő üzemet is ellát, de tekintettel arra, hogy a pályamunkám a fűtési üzemre koncentrál, a hűtési üzemet nem vizsgálom.

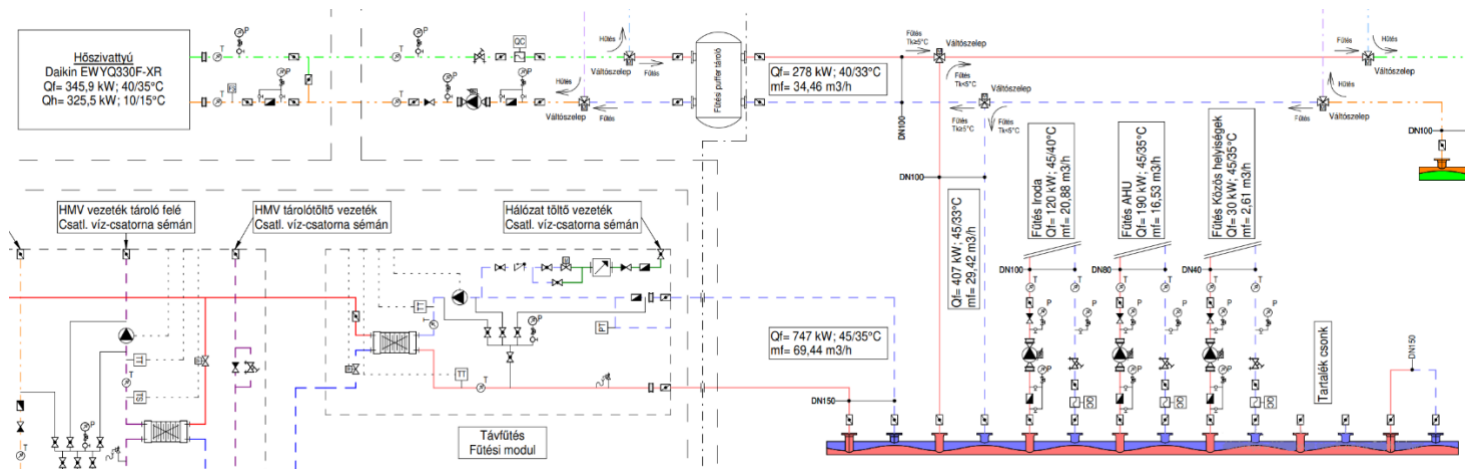
A hőszivattyú műszaki adatai fűtési üzemben:

- | | |
|----------------------------------|-----------|
| • Fűtési teljesítmény: | 415 kW |
| • Előremenő hőfok (fűtés): | 40 °C |
| • Visszatérő hőfok (fűtés): | 35 °C |
| • Vízoldali térfogatáram: | 19,88 l/s |
| • Környezeti levegő hőmérséklet: | 0 °C |

A fűtési rendszer bivalens üzemben működik: a hőszivattyú és a Főtáv által szolgáltatott fűtés váltja egymást, amelyet a külső hőmérséklet változása határoz meg. A hőszivattyú 5°C felett kapcsol be és látja el a lakórészek fűtési feladatát. A fűtési hidraulikus váltón keresztül halad az előremenő térfogatáram, majd a váltó után beépített váltócsap egyenes ágában halad át. A hőszivattyú előremenő hőmérséklete 40°C, visszatérője pedig 33°C. Érdeemes megjegyezni, hogy a hőszivattyú után nincsen tároló beépítve, csak a hidraulikus váltó, amely komoly problémákat fog okozni a jövőben.

Az fűtési osztót kizárólag a távfűtés tudja ellátni konstrukciós okokból, ebbe beletartoznak az irodarészek, a közös helyiségek és a légkezelő fűtése is.

A fűtési rendszer kapcsolásának egy részletét az alábbi ábrán láthatjuk:



4. ábra: A fűtési kör primer kör, illetve a távhő által megtáplált fűtési osztó kapcsolási rajza [6.]

A fűtési előremenő mindkét üzemiállapotban át fog haladni egy második motoros váltószelep páron, amelyek egyenes ágban nyitottak fűtési üzemben. A szelepek feladata hűtési üzemben jelenik meg, amikor is a hűtési osztóból érkező hűtőközeget továbbítja a korábban fűtési használatú csöveken keresztül a lakások osztójába.

Ennek értelmében kijelenthető, hogy a lakások felületfűtése és -hűtése csak felváltott üzemben képes működni.

A tervezett állapot alapján 5°C alatt a hőszivattyú teljesen leáll és helyét a távhő által szolgáltatott hőellátás veszi át. Ebben az üzemiállapotban a hőszivattyú és a fűtési hidraulikus váltó egyaránt lekapcsolódik a rendszerről, az előremenő hőmérséklet 45°C , ami 5 fokkal magasabb a hőszivattyú előremenőjénél. A fűtési osztóba visszatérő fűtőközeg hőmérséklete viszont ugyanúgy 33°C -osnak van jelölve a tervrajzokon, ami arra enged következtetni, hogy a lakás fűtési-hűtési osztóban megváltoztatják a bekeverési arányt a távfűtési üzem alatt, máskülönben nem lehetne megoldani.

A fűtési osztó 4 kört lát el, továbbá rendelkezik egy tartalék csonkkal és egy hidraulikai rövidzárral az osztó legvégébe építve, ezáltal az kisnyomású lesz.

Az osztó bal oldalába érkezik be a távfűtés által fűtött szekunder víz szintén 45°C -os hőmérsékleten. A tápláló kört egy szivattyú keringteti, amely nyomáskülönbséggel terheltté teszi a fűtési osztót. A szivattyú emiatt rától az osztó utáni körökben üzemelő kisebb szivattyúkra, turbinaüzemet hozva létre, ami nagyon kedvezőtlen üzemeltetési szempontból. Ennek kiegyensúlyozására az osztó végébe behelyeztek egy hidraulikai rövidzárat, ami gyakorlatilag egy egyszerű csőösszekötése az osztónak és a gyűjtőnek, ami által a nyomás kiegyenlítődik részlegesen. Ez a megoldás a mai rendszerek körében elavultnak számít, és több problémát is hordoz magában, többek között a visszatérő fűtőközeg hőmérséklet emelkedését, hatásfokromlást és egyenlőtlen nyomásviszonyokat az osztón belül. Ezeket a későbbiekben részletezni fogjuk.

3. A MEGLÉVŐ RENDSZER ÜZEMÉNEK OPTIMALIZÁLÁSA

Három szempontot veszünk figyelembe a bivalens pontok meghatározására, ezen szempontok az energetikai, a gazdasági és a környezetvédelmi optimum, melyek mindegyike más-más megfontolások előtérbe helyezésével foglalkozik. Az elemzés végén ezen paraméterek összevetésével fogjuk megtalálni az optimális üzemállapotot.

3.1. Hőtermelők üzemviteli stratégiája

A bivalens rendszerek alapja, hogy egynél több hőtermelőt alkalmaznak, amelyek közül az egyik a fő szerepet tölti be, mellette pedig a kiegészítő hőforrás teszi lehetővé a minél jobb hatásfokon való üzemelést.

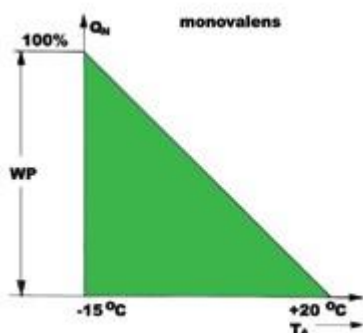
Gyakori manapság fő hőtermelőként egy hőszivattyút alkalmazni, amely mellé társulhat szilárdtüzelésű vagy gázkazán, elektromos fűtés, távhő stb. Ezek azért szükségesek, mert a hőszivattyú COP értéke jelentősen függ a hőforrás és az ellátott rendszer hőmérsékletétől. Ezek okán a hőszivattyú nem képes jó hatásfokkal üzemelni olyan időszakokban, ahol a legnagyobb hőszükséglet jelentkezik.

Az általunk vizsgált épületben a hőszivattyú mellett Főtáv szolgáltat hőt, ezek bivalens alternáló üzemben működnek 5°C-os bivalens átváltási hőmérséklettel. Mivel az épületünkben távhő a kiegészítő hőforrás, minden üzemállapotban távhőt veszek kiegészítő energiaforrásnak.

Bivalens pontnak nevezzük azt a határhőmérsékletet, ahol az elsődleges hőszolgáltató teljesen vagy parciálisan átadja a fűtési feladatot a távhőnek.

3.1.1. KÜLÖNBÖZŐ ÜZEMELESI MÓDOK

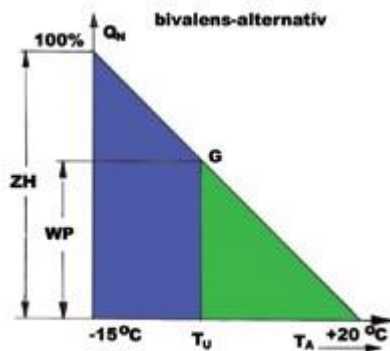
1. Monovalens üzem:



Ebben az üzemállapotban kizárólag egy hőtermelő van jelen a rendszerben, avagy csak azt üzemeltetjük. A hőtermelő ebben az esetben a levegő-víz hőszivattyú, ami a maximális hőigények lefedésére van méretezve. Akkor alkalmazzuk, ha az egyik hőtermelő üzemeltetése gazdaságilag még az esetleges hatásfok csökkenés ellenére is kifizetődőbb.

5. ábra: Az monovalens üzem diagramja [36.]

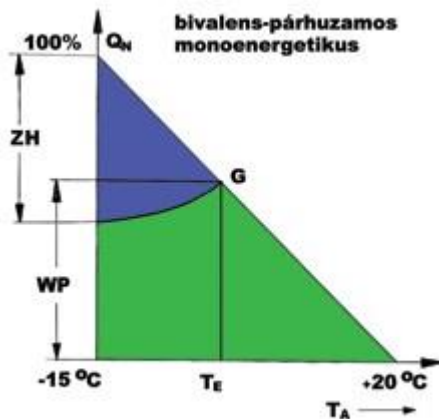
2. Bivalens alternáló üzem:



Ebben az üzemállapotban a rendszerben két hőtermelő van jelen. A hőszivattyú egy bizonyos külső hőmérsékletig üzemel, amely alatt a teljes fűtési feladatot átadja a távhőnek. A váltás oka a külső hőmérséklet esése és a fűtési teljesítményigény növekedése által okozott COP csökkenés. A bivalens pont alatt a távhő teljes egészében átveszi a fűtési feladatot.

6. ábra: Az alternáló rendszer diagramja [36.]

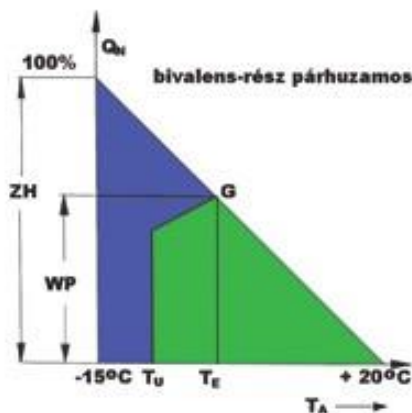
3. Bivalens párhuzamos üzem:



Ebben az üzemállapotban szintén két hőtermelő van jelen a rendszerben, ám ezek nem egymást váltják. A hőszivattyú a bivalens pontig lefedi a teljes hőigényt, majd annak elérésekor részterhelésre kapcsol, és a fennmaradó hőigényt a távhő fedezi. Ennek előnye az, hogy a hőszivattyú a fűtési idény teljes hosszában üzemelhet, a bivalens pont alatt is kedvező COP-vel működhet részterhelésen.

7. ábra: Az párhuzamos üzem diagramja [36.]

4. Bivalens részpárhuzamos üzem:



Ebben az üzemállapotban is 2 hőtermelő van. A különbséget az jelenti a párhuzamos üzemhez képest, hogy itt nem működik folyamatosan a hőszivattyú. A bivalens pont elérése után a távhővel párhuzamosan üzemel a távhő, ám egy kijelölt határhőmérséklet elérése után kikapcsol teljesen a hőszivattyú, így magára hagyva a távhőt.

8. ábra: Részpárhuzamos üzem diagramja [36.]

3.2. Az optimális üzemvitel koncepciói

3.2.1. PRIMERENERGIA-FOGYASZTÁS SZERINTI OPTIMUM

Az első – és egyben a legfontosabb – elemzési paraméter az energetikai optimum. Fontosságát a jelenleg életben lévő szabályozási rendszer adja és az a tény, hogy a másik két elemzési módszer szorosan ráépül az energetikai elemzés eredményeire. A szabályzás kötelezővé tette az újonnan kivitelezett épületek összes energiaigényének 25%-át megújuló energiaforrásokkal fedezni.

A jelenlegi szabályozás értelmében a hőszivattyúk megújulót hasznosító hőtermelő berendezésként kezelendőek - habár ez a kijelentés kizárólag csak akkor állná meg a helyét, ha az eszköz működtetéséhez szükséges elektromos áram megújuló forrásból érkezne, ami sajnos nem áll fenn a projektünkben. A rendszerbe az imént említett 25%-os kvóta kielégítéséért épült be a hőszivattyú.

A következő részekben a hőszivattyú és a távfűtés üzemeltetési kapcsolatait fogjuk vizsgálni különböző bivalens és monovalens működési elvek mellett.

„A hazai épületenergetikai rendelet szerint az épületek összes energiafogyasztását, azaz az épület épületgépészeti és világítási rendszereinek energiafogyasztását primer energiában kell kifejezni. Így kapjuk az úgynevezett összesített energetikai jellemzőt, melyre az egyik követelményszint épül, és képezi az energetikai tanúsítás szerinti osztályba sorolás alapját is. A primerenergiaigény számításakor a különböző forrásból származó végenergiát egy-egy váltószámmal szorozzuk meg, így az energiaigények összeadhatóvá válnak. Ez azért fontos, mert energiahordozóink nem egyformán értékesek, az előállításukhoz nem ugyanannyi természetből vett energia szükséges.” [25.]

Ezt a váltószámot primerenergia átalakítási tényezőnek hívjuk, ami megadja, hogy egy egységnyi szekunder energia előállításához (pl.: elektromosság, távhő, stb.) mennyi primerenergia kell (kinyert szénhidrogénekből). Számunkra azon energiahordozók lesznek a legkedvezőbbek amelyek a lehető legkisebb átalakítási tényezővel rendelkeznek, mivel ezzel a rendeleti szabályozás értelmében csökkentettük az energiafelhasználásunkat.

V.1. táblázat: Primer energia átalakítási tényezők

	A	B
1.	Energia	e
2.	elektromos áram	2,50
3.	csúcson kívüli elektromos áram	1,80
4.	földgáz	1,00
5.	tüzelőolaj	1,00
6.	szén	1,00
7.	megújuló: tűzifa, biomassza, biomasszából közvetve vagy közvetlenül előállított energia, a biogázok energiája, fapellet, agripellet	0,60
8.	megújuló: nap-, szél-, hullám energia, vízenergia, a geotermikus, hidrotermikus, légtermikus energia	0,00
9.	távhőellátás	a 6/A. § szerint közzétett érték

9. ábra: Primerenergia átalakítási tényezők [30.]

A mellékelt ábráról leolvashatjuk, hogy a földgáz, a tüzelőolaj és a szén primerenergia átalakítási tényezőjének (e) értéke 1, mert primerenergia hordozók. Ezek alkalmazása energetikai szempontból az épületben a tényleges leadott energiájuk értékét jelentené. Ha elektromosságot alkalmazunk, az már jóval nagyobb terhelést jelent a rendszerünkre : 2,5-1,8-as szorzója van, magyarul minden egyes kWh áram felhasználása 2,5-1,8 kWh primerenergiának minősül.

A távhő megítélése egy kicsit komplikáltabb, a táblázat nem is ad meg konstans adatokat az átalakítási tényezőjére, hanem a Lechner Nonprofit Kft. teszi közzé az értékeket régiókra vetítve minden évben. Ennek oka, hogy a távhő besorolását nagyban befolyásolja a hőforrás minősége, másnéven a rácsatlakoztatott erőmű vagy hőforrás kapcsolási módja, felhasznált üzemanyaga, szállítási veszteségei stb.

Ezeket az adatokat az alábbi táblázat foglalja össze:

A távhőszolgáltatás egyes energetikai adatai településeként, hidraulikailag egységes távhőrendszerre vonatkozóan, a 2020. évi termelési adatok alapján:

Településnév	A távhőrendszer megnevezése	primer energia átalakítási tényező	megújuló energia részarány
Budapest	Észak-Budai Hőköri	1,085	0,001
Budapest	Észak-Pest - Újpalota Hőköri	0,755	0,116
Budapest	Zuglói Hőköri	0,965	0,001
Budapest	Dél-Pesti Hőköri	0,722	0
Budapest	Rákospalotai Hőköri	0,924	0,001
Budapest	Csepel - Pesterzsébeti Hőköri	0,93	0
Budapest	Dél-Budai Hőköri	0,745	0
Budapest	Rózsakerti Hőköri	1,123	0,001
Budapest	Budafoki Kísérleti Lakótelep Kazánház	1,339	0,001
Budapest	Toboz utcai Kazánház	1,237	0,001
Budapest	Pincester utcai Kazánház	1,221	0,001

10. ábra: A távhőszolgáltatás energetikai adatai Budapesten [31.]

A szóban forgó épületünk a XI. kerületben helyezkedik el a Vahot utcában, tehát a Dél-budai hőkörihez tartozik. A táblázatból leolvasható, hogy ezen körzet primerenergia átalakítási tényezője $e = 0,745$, tehát előnyös minél több távhőt alkalmaznunk a rendszerben.

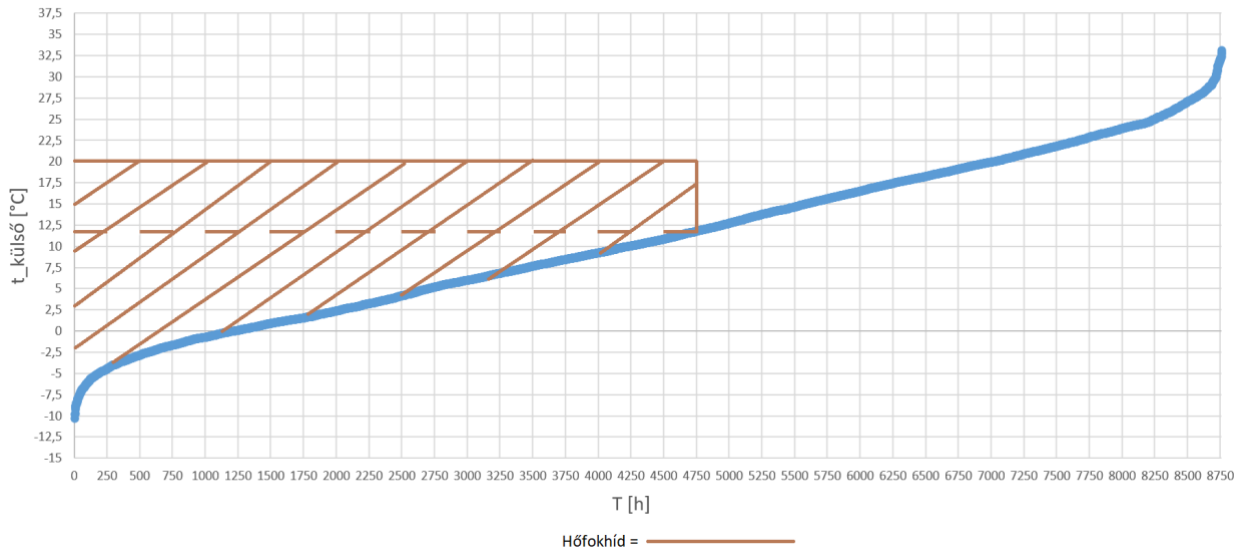
A másik hőforrás a rendszerünkben az elektromossággal üzemeltetett hőszivattyú, amely a hűtési üzem ellátása mellett fontos szerepet tölt be az állami szabályozás szerint előírt 25%-os megújuló energiafelhasználás előállításában. Megjegyzendő, hogy a hőszivattyúk megújuló besorolásához nem szükséges a működtetésükhöz felhasznált elektromos energia megújuló léteiről gondoskodni. Ezen logika szerint nézve nem nevezhetők megújuló energiaforrásnak, de a szabályozás tekintetében annak tekinthetők.

A hőszivattyú primer energiaátalakítási tényezője a felhasznált villamosenergia tényezőjével fog megegyezni.

Az üzemeltetési optimum meghatározásának módszerei:

A számítás alapjául egy meteorológia év adatsorát használtam fel, amely órai osztásközzel megadja a budapesti külső hőmérsékletértéket. Ezen hőmérsékletek sorba rendezésével megkaptam a hőmérséklet tartamdiagramját. A további számításokat mind a rendezett hőmérsékletértékekhez rendeltem, amelyek így hőmérsékletfüggő adathalmazokat hoztak létre.

Fűtési tartamdiagram



11. ábra: A meteorológiai adatokból kirajzolt éves fűtési tartamdiagram és a hőfokhíd

A hőfokhíd órára vetített értékeit az alábbi képlettel számíthatók ki:

$$G = (t_b - t_k) * Z$$

A belső hőmérséklet értékét az egész év folyamán 20 °C-nak vettem fel. Ezek után a megkapott hőfokhíd értékeket összegeztem, és kiszámoltam vele egy arányossági tényezőt, amely kapcsolatot teremt a „G” érték és az épület energiafelhasználása között.

A szumma hőfokhíd arányos ($\sum G$) az épület éves energiafogyasztásával. Az időegységekre (jelen esetben órákra) vetített hőfokhíd arányos az adott időegység alatt az épület energiafogyasztásával. Képezhető egy „a” arányossági tényező, amely az épület hőtechnikai minőségének függvénye.

$$a = \frac{E_{fűtés}}{\sum G}$$

A Főtvétől kapott dokumentumokban meg volt adva az iroda és a lakórész négyzetméterre vetített energiaigénye. Az építető cég kiadott adatai alapján meg meghatároztam az épületkomplexum egyes területeinek négyzetméter értékeit.

Ezek segítségével arányosítottam a hozzájuk tartozó fűtési igényeket. Így megkaptam a ház együttes fűtési energiaigényét négyzetméterre vetítve.

$$E_{fűtés} = E_{lakás} * \frac{A_{lakás}}{A_{össz.}} + E_{iroda} * \frac{A_{iroda}}{A_{össz.}}$$

A hőfokhíd és az épület energiafelhasználása között kapcsolatot teremt az „a” tényező, aminek segítségével kiszámítható az épület adott külső hőmérséklet esetén 1 óra alatt felvett fűtési energiamennyiséget.

$$E_{fűtési igény} = a * G$$

Ezáltal kapcsolatot teremtettünk a külső hőmérséklet lefutása és az energiaigény között.

A hőszivattyú teljesítményének meghatározásához COP adatokat kellett számolni. A COP (Coefficient of Performance) megadja, hogy 1 egységnyi befektetett elektromos energia hány egység fűtési energia leadását teszi lehetővé egységben. Ezen érték mindig 1 felett van, ám nagysága erősen függ külső tényezőktől, többek között a külső hőmérséklettől, a kivenni kívánt teljesítménytől és az előremenő hőmérséklettől.

$$COP = \frac{E_{leadott, fűtési}}{E_{bevezett, villamos}}$$

A változó környezeti paraméterek miatt a COP érték nem konstans a működés alatt. A hőszivattyút és a folyadékhűtőt gyártó Daikintól kértünk adatokat a rendszereik üzem közbeni COP értékeivel kapcsolatban. A rendelkezésünkre bocsátott adatok -10°C, 10 °C, 12 °C, és 14 °C-ra és 100%-os teljesítményre vonatkoztak, így ezeket a paramétereket alkalmaztuk.

A COP lefutás nemlineáris jellege miatt szakaszonként linearizáltam az adatokat a hiba csökkentéséért. Az általunk kapott adatok a következők voltak:

Part loads information				
Calculation type: custom				
Load [%]	100	99.9	99.9	99.9
Power Input [kW]	126.8	75.24	72.22	68.78
Heating Capacity [kW]	327.4	324.0	327.0	327.0
V5_COP	2.582	4.304	4.530	4.756
Heated Water IN/OUT [°C]	35.00/40.00	35.00/40.00	35.00/40.00	35.00/40.00
Evap. Water flow [l/s]	15.66	15.66	15.66	15.66
Ambient temp. [°C]	-10.0	10.0	12.0	14.0

12. ábra: A rendelkezésünkre bocsátott Daikin gyári COP adatok a hőszivattyúhoz [16.]

A számítási módszert megnehezítette, hogy a külső hőmérsékletlefutás inhomogén. Inhomogenitása abból adódik, hogy 1-1 hőmérséklet érték nem azonos számmal fordul elő egy év során, emiatt egy sima, kezdeti és végpontot figyelembe vevő linearizálás nem lett volna alkalmas az értékek megadására.

A meteorológiai évben kapott hőmérséklet adatok századfokos pontossáig voltak meghatározva, amelyet lekerekítettem tizedes fokig, mert a századfok pontos méréséhez nem lenne a helyszínen megfelelő eszköz, és elhanyagolható változást okozna a kerekítéshez képest. Ezzel az adatsorral már tudtam COP számítást végezni.

Ennek megoldására egy „HA” függvényt alkalmaztam a számításomban, ami az alábbi logikát követte:

$$COP_i = HA(t_{k,i-1} - t_{k,i} = 0; COP_{i-1}; COP_{i-1} + \frac{COP_{10} - COP_{-10}}{(t_{k1} - t_{k2}) * 10} * (t_{k,i-1} - t_{k,i}))$$

A „HA” függvény működési módszere a következő:

$$HA(„vizsgálandó állítás”; „IGEN”; „NEM”)$$

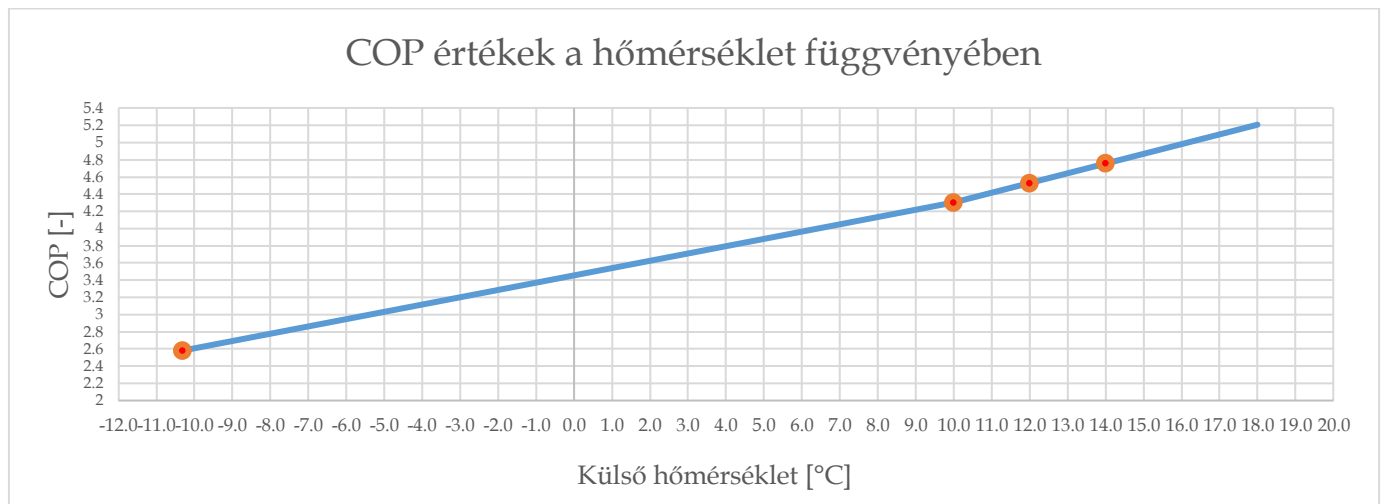
A függvény elején meg kell határozni a vizsgálandó állítást, amelyre egy „IGEN” vagy egy „NEM” eredményt kaphatunk. Az függvény futtatás után a függvény minden egyes bemeneti adat esetén ellenőrzi, hogy megfelel-e a feltételnek vagy sem, és ez alapján adja meg a kimenetét.

A képletben az „i”-edik érték jelöli az éppen vizsgált adatot, a hozzá képest vett „i-1” az előző adat indexet jelenti.

Az alrészek felépítése a következőképpen néz ki:

- $t_{k,i-1} - t_{k,i} = 0$: ez a vizsgálandó állítás. Ha az előző hőmérséklet adat és a jelenlegi hőmérséklet adat különbsége egyenlő 0-val, ennek lesz egy IGEN/NEM kimenete.
- COP_{i-1} : ez az IGEN ág eredménye. Akkor aktiválódik, ha az imént tárgyalt hőmérsékletkülönbség 0-tól különböző értéket vesz fel. Ha a feltétel igaz, akkor a $COP_i = COP_{i-1}$, magyarul a COP értéke meg fog egyezni az eggyel előtte lévő adattal, mivel a külső hőmérséklet nem változik.
- $COP_{i-1} + \frac{COP_{10} - COP_{-10}}{(t_{k1} - t_{k2}) * 10} * (t_{k,i-1} - t_{k,i})$: ez a NEM ág eredménye. Ha a hőmérsékletkülönbség nem 0, akkor az előző COP adathoz hozzáadja az osztásköz egy lépését $(\frac{COP_{10} - COP_{-10}}{(t_{k1} - t_{k2}) * 10})$, amit utána megszoroz a két hőmérséklet közötti különbséggel. Az utolsó szorzótényezőre azért volt szükség, mert a hőmérsékletlefutás inhomogenitása miatt voltak olyan adatpárok, amelyek esetén több tizedet ugrott a hőmérséklet a lineáris lefutás helyett.

A számítások eredményét ábrázoltam a külső hőmérsékletlefutás függvényében:



13. ábra: A COP értékek lefutása a többlépcsős linearizálás után

Ezt a képletet alkalmaztam -10,3°C–18°C-ig, megkapva így az egész tartomány pontos COP lefutását. A $COP_{10} - COP_{-10}$ adatokat módosítani kellett 10°C - 12°C és 12°C-18°C között, mivel más-más meredekségek jelentkeztek a megadott értékek között a COP eredeti nemlineáris lefutása miatt.

A teljes terhelésre vonatkozó adatok kiszámítása után szükségessé vált 100%-os hőszivattyú terheltségtől különböző teljesítményhez tartozó adatokkal is számolnunk, ám ez nem állt a rendelkezésünkre. Ennek megoldására bevezettük a következő feltételezést:

- ha a hőszivattyú COP értéke 3 alá csökkenne a külső hőmérséklet esésével, akkor a rendszer az előremenő hőmérsékletét lecsökkenti addig, ameddig a COP nem áll be 3-as értékre. Azt feltételeztük, hogy 1K külső hőmérséklet esés ugyanannyival csökkenti a COP értékét, mint amennyivel 1K előremenő hőmérséklet esés növelné azt, tehát ha ugyanannyival csökkentjük az előremenő hőmérsékletét, mint amennyivel a külső hőmérséklet esik, akkor a COP konstans marad.

Természetesen ez a feltételezés nem rendelkezik szilárd alappal, de pontosabb információk hiányában ezt a közelítést alkalmaztuk.

Ennek a feltételezésnek a segítségével kiszámoltam a hőszivattyú teljesítménylefutását a lecsökkentett előremenő hőmérséklet függvényében, illetve a lakások-, az irodák-, és az egész épületegyüttes fűtési energiaigényét hőmérséklet függően.

$$\dot{Q}_{\text{hőszivattyú},i} = \left(\dot{Q}_{\text{hősz.},i-1} + (-t_{k,i-1} + t_{k,i}) * 10 * \frac{\dot{Q}_{\text{hősz.max}}}{(-3^{\circ}\text{C} - (-6,7^{\circ}\text{C})) * 10} \right) * HA(t_{k,i} < -6,7; 0; 1)$$

A képletben az „i”-edik érték jelöli az éppen vizsgált adatot, a hozzá képest vett „i-1” az előző adat indexet jelenti.

A képlet felépítése:

Kiszámoltam, hogy ha az imént részletezett módszerrel statikusan tartom a COP értékét 3-on, akkor -3°C-on el kell kezdeni csökkenteni az előremenő hőmérsékletet. A visszatérő hőmérsékletet konstansnak vettem, így egyre kisebb volt a kiadható teljesítmény. A képlet ezt hivatott kiszámolni matematikailag:

- $\dot{Q}_{\text{hősz.},i-1} + (-t_{k,i-1} + t_{k,i}) \cdot 10 \cdot \frac{\dot{Q}_{\text{hősz.max}}}{(-3^{\circ}\text{C} - (-6,7^{\circ}\text{C})) * 10}$: az előző teljesítmény adatahoz hozzáadjuk a külső hőmérséklet lefutás változásával megszorozott egységnyi ugrást $(\frac{\dot{Q}_{\text{hősz.max}}}{(-3^{\circ}\text{C} - (-6,7^{\circ}\text{C})) * 10})$. Ez egy egyszerű linearizálás -3°C-tól -6,7°C-ig, az előbbi hőmérsékleten kezd el csökkenni a hőszivattyú előremenő hőmérséklete, a másodikon pedig eléri a visszatérő hőmérsékletét.
- $HA(t_{k,i} < -6,7; 0; 1)$: ez egy feltételes szorzótag, ami azt vizsgálja, hogy -6,7°C alá csökken-e a külső hőmérséklet. Ha ez megtörténne, akkor az IGEN ág lép életbe, 0-val megszorozva az egész egyenletet, amely így nulla lesz (mert a hőszivattyú előremenője és visszatérője megegyezne hőfokban, így nem lesz kiadható teljesítménye). Ha a hőmérséklet -6,7°C felett van, akkor az IGEN ág eredménye 1 lesz, ami érintetlenül hagyja az egyenlet első részét.

Az egész épület hőigényét megtudhattuk a tervrajzokból, ahol -13°C-os külső hőmérséklet esetén 747 kW teljesítmény volt szükséges. Ennek a hőmérséklettől függő lefutását a következő módon számítottam ki:

$$\dot{Q}_{\text{épület fűtés},i} = \dot{Q}_{\text{épület fűtés},i-1} + (-t_{k,i-1} + t_{k,i}) * 10 * \frac{\dot{Q}_{\text{fűtés max}}}{(10,3^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C}) * 10}$$

Képlet felépítése:

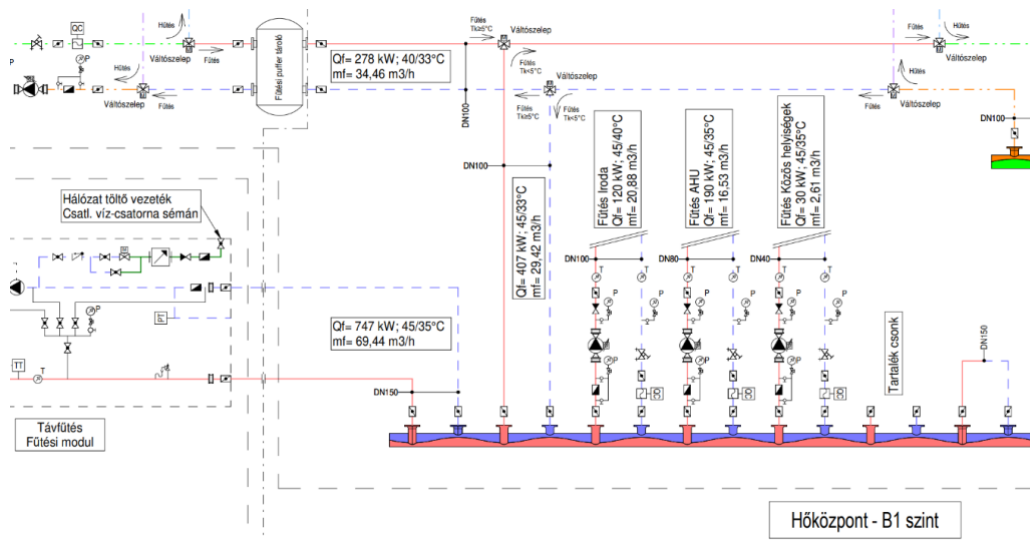
Az előző adatahoz hozzáadjuk a hőmérséklet lefutás változásával megszorozott lépésközt $(\frac{\dot{Q}_{\text{fűtés max}}}{(10,3^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C}) * 10})$, ami így linearizálva lett. A -10,3°C-ra vonatkozó alapértéket kiszámoltam a lépésköz segítségével -13°C-ról arányosítva, az eredménye 681,94 kW lett.

A lakások és az irodák fűtési igényét is hasonló módon számoltam ki:

$$\dot{Q}_{lakás\ fűtés,i} = \dot{Q}_{lakás\ fűtés,i-1} + (-t_{k,i-1} + t_{k,i}) * 10 * \frac{\dot{Q}_{lakás\ fűtés\ max}}{(10,3^{\circ}C + 12^{\circ}C) * 10}$$

Az iroda fűtés esetében nem lehetett egy sima linearizálással lekövetni a fűtési igényeket, mivel az irodákban légkezelő rendszer biztosítja a szellőzést. Míg a lakások és az irodák fűtését le lehet kapcsolni 12°C-on, a légkezelő rendszernek legalább 18°C-ig működni kell. Ennek az oka az, hogy a levegőnek sokkal kisebb hőkapacitása van, mint a falszerkezeteknek, amelyek tompítani tudják az ingadozó külső hőmérsékletet, összességében eleget téve így az épület fűtési igényeinek. A külső hőmérsékletű levegő befűtésével 12°C-tól azonban a belső tér pillanatok alatt lehűlne és erős diszkomfortot és egészségügyi problémák sorát okozná, emiatt 18°C-ig kell működtetni a hővisszanyerős kalorifert.

Itt láthatjuk a kapcsolást, ami meggátolja a hőszivattyú rácsatlakozását a fűtési osztóra:



14. ábra: A fűtési osztó kizárólagos távhő ellátottságának kapcsolási magyarázata [6.]

A módosított képlet így néz ki:

$$\dot{Q}_{iroda\ fűtés,i} = \dot{Q}_{iroda\ fűtés,i-1} + (-t_{k,i-1} + t_{k,i}) * 10 * \begin{matrix} * HA(t_{k,i} > 12^{\circ}C; \frac{\dot{Q}_{iroda\ fűtés\ max} - \dot{Q}_{AHU}}{(10,3^{\circ}C + 12^{\circ}C) * 10}; \frac{\dot{Q}_{AHU}}{(18^{\circ}C - 12^{\circ}C) * 10}) \end{matrix}$$

A képlet felépítése:

- $\dot{Q}_{iroda\ fűtés,i-1} + (-t_{k,i-1} + t_{k,i}) * 10$: a korábbiakban kifejtettekkel egyezik.
- $HA(t_{k,i} > 12^{\circ}C; \frac{\dot{Q}_{iroda\ fűtés\ max} - \dot{Q}_{AHU}}{(10,3^{\circ}C + 12^{\circ}C) * 10}; \frac{\dot{Q}_{AHU}}{(18^{\circ}C - 12^{\circ}C) * 10})$: a logikai vizsgálat, amely azt vizsgálja, hogy 12°C felett van-e a külső hőmérséklet. IGEN/NEM kimenete van.
- $\frac{\dot{Q}_{iroda\ fűtés\ max} - \dot{Q}_{AHU}}{(10,3^{\circ}C + 12^{\circ}C) * 10}$: A lefutás első részének lépésköze, ami -10,3°C-12°C-ig fut. Ez az IGEN feltétel teljesülésekor aktiválódik.
- $\frac{\dot{Q}_{AHU}}{(18^{\circ}C - 12^{\circ}C) * 10}$: A lefutás második fele, ami csak akkor aktiválódik, ha 12°C felett van a külső hőmérséklet, tehát kizárólag a légkezelő rendszer igényel hőforrást. A NEM feltétel teljesülésekor lép életbe.

A -10,3 °C-ra vonatkozó adatokat ugyanolyan arányosítással számoltam ki, mint az épületfűtés esetében. A lakások fűtése 363,04 kW lett, az irodarészek fűtése pedig 307,04 kW lett (az „irodarészek” alatt a számítások alatt az irodák, a közös terek, és a hozzájuk tartozó légkezelő rendszer igényeit értem).

Ezekre a teljesítmény adatokra azért volt szükség, hogy az egymással alkotott hányadosukat és lefutásukat arányossági tényezőként tudjam használni a további számítások során.

Azért nem implementálom őket egy az egyben, mert habár jellegetre helyesek (tehát a lefutásuk helyes), az értékük helyességében nem voltam biztos. Az esetleges hiba esetén mindegyik lefutás ugyanúgy rendelkezik ugyanazzal a hibával, így a hányadosuk hibátlan eredményt fog adni, és alkalmazható a számításokban.

A kiszámolt teljesítmény adatok arányosságának felhasználásával meghatároztam az $E_{fűtési\ igény}$ felosztását $E_{lakás\ fűtés}$ -re és $E_{iroda\ fűtés}$ -re.

$$E_{lakás\ fűtés} = E_{fűtési\ igény} * \frac{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}}{\dot{Q}_{épület\ fűtés}}$$

$$E_{iroda\ fűtés} = E_{fűtési\ igény} * \frac{\dot{Q}_{iroda\ fűtés}}{\dot{Q}_{épület\ fűtés}}$$

3.2.1.1. Alternáló üzemállapot

Először az alternáló vagy másnéven felváltó üzemállapotot elemezzük. Ebben az üzemállapotban vagy az egyik, vagy a másik hőtermelő rendszer működik. Ennek azonban tervezési okokból nem felel meg az épület, mivel a fűtés osztó nincs csatlakoztatva a hőszivattyús körre egyáltalán, ami azt jelenti, hogy az irodák, közös terek és a légkezelő rendszer ellátását nem tudja megoldani a hőszivattyú. Emiatt tiszta alternáló üzem nem jöhet létre egyáltalán.

Kompromisszumos megoldást dolgoztam ki ennek okán, ahol a hőszivattyú addig üzemel, míg le tudja fedni a lakások fűtési igényének egészét, majd utána leáll teljesen. Ettől a ponttól kezdve a távfűtés veszi át az egész fűtési üzemet alacsonyabb hőmérsékletekre.

A rendelkezésünkre álló adatok alapján a hőszivattyú villamos energiafelhasználását számítottam ki következőre:

$$E_{villamos,hsz} = \frac{E_{lakás\ fűtés}}{COP} * HA\left(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 1; 0\right)$$

A képlet felépítése:

- $\frac{E_{lakás\ fűtés}}{COP}$: a lakások fűtési energiaszükségletét a COP-vel elosztva megkapjuk a villamos energiafelhasználást.
- $HA\left(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 1; 0\right)$: logikai függvény, amely azt vizsgálja, hogy a hőszivattyú kiadható teljesítménye az adott külső hőmérséklet mellett meghaladja-e az lakások fűtési teljesítményigényét. Ha ez az állítás IGAZ, akkor egy 1x-es szorzó lép életbe, mivel akkor egyedül a hőszivattyú egyedül képes kifűteni a lakónegyedet. Ha ez a feltétel NEM

teljesül, akkor 0 lesz a kiadott eredmény, ami az egész egyenletet lenullázza. Ekkor a hőszivattyú lekapcsol és a teljes fűtési feladatot átadja a távhőnek.

A hőszivattyú teljesítményének lecsökkentése és a külső hőmérséklet csökkenése miatt a lakórész nem lenne megfelelően kifűtve $-3,9\text{ °C}$ alatt, emiatt a távfűtés ráségít a hőszivattyú által szolgáltatott előremenőre.

Az előbb kiszámolt villamos energiafogyasztás megadja a rendszerünk helyben felhasznált energiamennyiségét, ám a 7/2006 TNM rendelet értelmében az épületnek egy primerenergia követelménynek kell megfelelnie, így a kapott értéket át kell számítani primer energiára. A primerenergia-átalakítási tényező elektromosság esetén $e_{primer,hsz} = 2,5$, ennek okát korábban részleteztem.

$$E_{primer,hsz} = E_{villamos,hsz} * e_{primer,hsz}$$

A távhőrendszer primerenergia fogyasztás kiszámításához nem kell a felhasznált hőt nem kell elektromos energiává alakítani, így csak a primer energiatényezőt kell belevenni az egyenletbe:

$$E_{primer,TH} = \left(E_{iroda\ fűtés} + E_{lakás\ fűtés} * HA \left(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 0; 1 \right) \right) * e_{primer,TH}$$

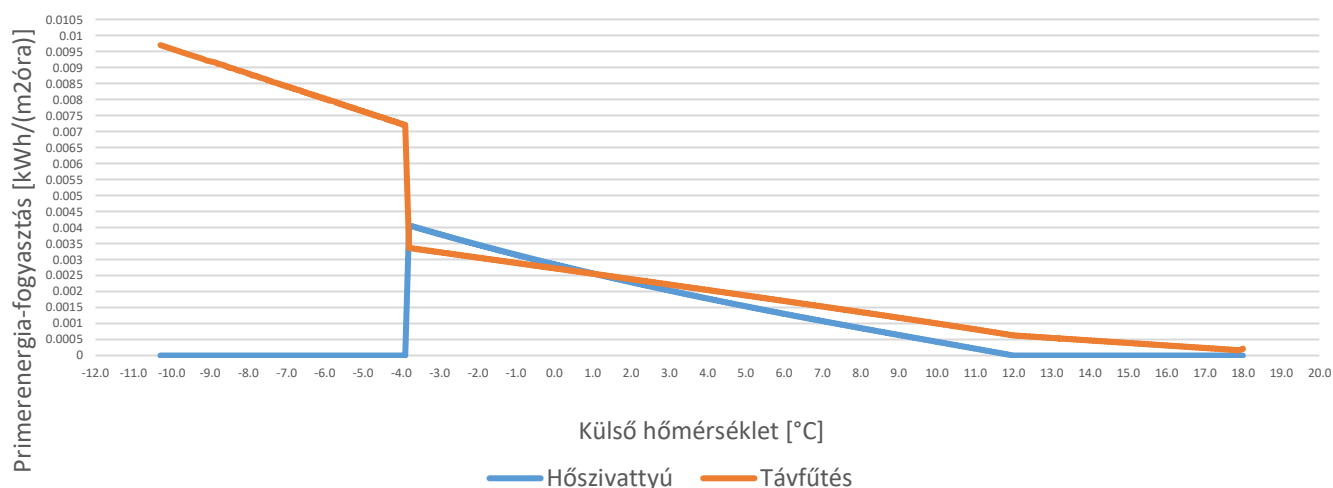
A primerenergia-átalakítási tényező távhő esetén $e_{primer,TH}=0,745$.

Képlet felépítése:

- $E_{iroda\ fűtés} + E_{lakás\ fűtés}$: az irodafűtés egészét ugye csak a távfűtés tudja ellátni, ám a hőszivattyú lekapcsolásával a lakások kifűtése is a távhő feladata lesz.
- $HA \left(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 0; 1 \right)$: logikai függvény, ami megadja, hogy mikor veszi át a lakások fűtési üzemét a távhő. IGEN esetben 0 a kiadott eredménye, ami lenullázza a lakásfűtés mennyiségét, mivel azt még a hőszivattyú oldja meg. NEM esetben 1 az kimenet, ami nem változtatja meg az első egyenlet részt.
- $\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1$: a függvény feltétele. Azt vizsgálja, hogy meddig nagyobb egynél a hőszivattyú kiadható teljesítménye a lakások fűtési teljesítményigényénél, másképpen fogalmazva meddig képes kifűteni őket teljesen.

A távfűtés és a hőszivattyú primerenergia-felhasználásának ismeretében ábrázoltam a hőmérsékletfüggő lefutásukat a következő diagramon:

Primerenergia fogyasztás alternáló üzemben



15. ábra: Primerenergia fogyasztás alternáló üzemben

A diagram lefutása alapján látható, hogy 18°C-tól 12°C-ig kizárólag a távhő által ellátott légkezelő rendszer (AHU) van működésben, ami az irodai és a közös helyiségeket látja el szellőző levegővel. 12°C-tól a mind a lakások, mind pedig az irodák fellépnek egyre növekvő fűtési igényekkel, ami más-más meredekséget ad a hőszivattyú és a távhő energiafelvételének. A hőszivattyú a korábban felírt képleteknek megfelelően -3°C-nál elkezd csökkenti az előremenő hőmérsékletét, ám teljesítménykiadása csak -3,8°C-nál fogja elérni a lakások fűtési igényét. Ebben a pontban az gép lekapcsol, emiatt egy nagy ugrást látunk mind a leálló hőszivattyú görbében, mind a szerepét átvevő távhőgörbében.

-3,8°C alatt a távhő látja el egyedül a fűtési feladatot.

3.2.1.2. Párhuzamos üzemállapot

A második általunk vizsgált üzemállapot a párhuzamos üzemmód. Ennek az üzemmódnak az az elvi háttere, hogy az elsődleges hőtermelő a bivalens pont után nem áll le, hanem egy meghatározott teljesítményen és határfokon (esetünkben COP-n) tovább működik. Ezalatt a második hőtermelő egység szimultán módon belép és együtt fűtik ki az épületet.

Esetünkben a hőszivattyú bivalens pont utáni fűtési hozzájárulását a csökkentett előremenő hőmérséklete által okozott kiadható teljesítmény és a külső hőmérséklet esésével romló COP érték határozza meg. Úgy határoztuk meg az üzemét, hogy sose essen a COP 3-as érték alá, ennek függvényében szabályozza a gép az előremenő hőmérsékletét 40°C és 35°C között. 35°C alatt jelen esetben is leáll a gép, mivel nem lenne kiadható teljesítménye a visszatérővel megegyező előremenő hőmérséklet mellett.

A korábban kiszámolt adatokkal tudunk dolgozni jelenleg is. Első lépésként a hőszivattyú villamos energiafogyasztását határoztam meg:

$$E_{villamos,hsz} = \frac{E_{lakás\ fűtés}}{HA(COP > 3; COP; 3)} * (HA(t_k < -3; HA\left(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 1; \frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}}\right); 1))$$

Képlet felépítése:

- $\frac{E_{lakás\ fűtés}}{HA(COP > 3; COP; 3)}$: a lakásfűtési energiaigényt elosztjuk a COP értékkel, hogy megkapjuk az elektromos energiafelhasználását.
- $HA(COP > 3; COP; 3)$: logikai függvény, az eldöntendő feltétel az, hogy a COP magasabb-e 3-nál. Ha a feltétel teljesül, akkor az IGEN ág érvényesül (COP), magyarul az aktuális COP érték lesz az kimenet. Ha a NEM ág érvényesül, akkor 3 lesz az kimenet. Ezzel szabályozom le azt, hogy 3-nál ne csökkenjen lejjebb a COP érték.
- $(HA(t_k < -3; HA(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 1; \frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}}); 1)$: kétszeresen összetett logikai függvény, ami azt vizsgálja, hogy a külső hőmérséklet -3°C alá csökken-e, ugyanis eddig képes a hőszivattyú kifűteni a lakórészt. Ha a feltétel teljesül, akkor az IGEN ág kimenete egy második logikai vizsgálat lesz ($HA(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 1; \frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}})$). A NEM ág kimenete 1 lesz, amivel nem módosítja az egyenlet első felét.
- $HA(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 1; \frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}})$: az IGEN ág eredménye. Logikai vizsgálat, ami azt kutatja, hogy a hőszivattyú teljesítményleadása nagyobb-e a lakások fűtési igényénél. Ha a feltétel teljesül, akkor az IGEN ág lép életbe, aminek 1 a kiadott értéke, ezáltal nem változtatja az egyenlet első felét. Ha a NEM ág érvényesül, akkor az egyenlet első felét megszorozza $\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}}$ -sel. Ez azt jelenti, hogy a hőszivattyú kiszámított villamos energiafelvételét arányosítja az általa lefedett lakások fűtési arányával. Azért szükséges az egyenletbe, hogy ha a hőszivattyú teljesítménye meghaladná a fűtési teljesítményigényt, akkor ne szorozza meg az eredményünket egy 1-nél magasabb számmal.

A fent részletezett képlet kiszámolja a lakások kifűtésének villamos energiaigényét, majd mikor a hőszivattyú már nem képes az egészet lefedni, akkor arányosan számolja a villamos igényt a hőszivattyú által lefedett lakásfűtés hányadára.

A villamos energiafogyasztásból egy egyszerű szorzással meg tudjuk kapni ezek után a primer energiára átalakított fogyasztást:

$$E_{primer,hsz} = E_{villamos,hsz} * e_{primer,hsz}$$

A primer energia átalakítási tényező itt is $e_{primer,hsz}=2,5$.

A távhő primer energiafelhasználását az alábbi képlettel számítottam ki:

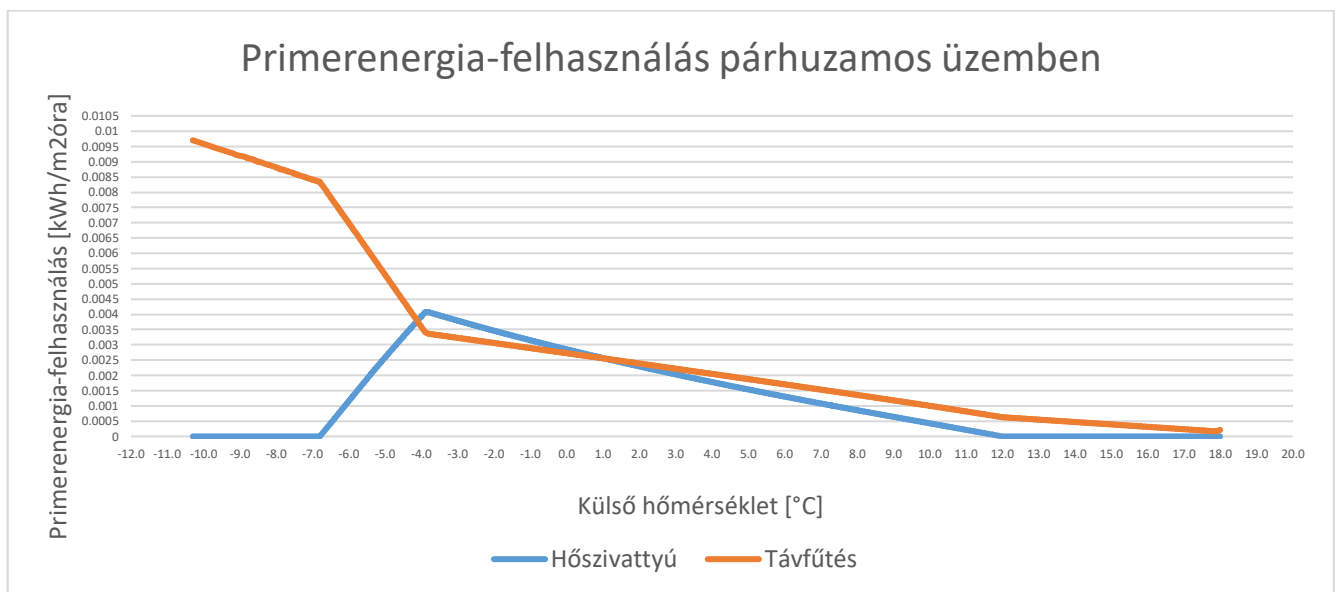
$$E_{primer,TH} = E_{iroda\ fűtés} * e_{primer,TH} + \left(E_{lakás\ fűtés} * HA\left(\frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}} > 1; 0; \left(1 - \frac{\dot{Q}_{hőszivattyú}}{\dot{Q}_{lakás\ fűtés}}\right)\right) \right) * e_{primer,TH}$$

A képlet felépítése:

- $E_{iroda\ fűtés} * e_{primer,TH}$ = a távhő által alapból kiszolgált irodarész fűtésének primer energia felhasználása.

- $\left(E_{\text{lakás fűtés}} * HA \left(\frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} > 1; 0; \left(1 - \frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} \right) \right) \right) * e_{\text{primer,TH}}$ = a lakások fűtésének azon része, amelyet a hőszivattyú nem tud kiszolgálni, megszorozva a távhő primer energia átalakítási tényezőjével.
- $HA \left(\frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} > 1; 0; \left(1 - \frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} \right) \right)$: logikai függvény, azt vizsgálja, hogy a hőszivattyú kiadható teljesítménye meddig nagyobb a lakások fűtési teljesítményigényénél. IGEN ágának eredménye 0, ekkor nem kell besegíteni a távhőnek. NEM esetben azonban megszorozza a lakás fűtési igényt a hőszivattyú által le nem fedett résszel $\left(1 - \frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} \right)$.

A kiszámított adatok vizualizálására a külső hőmérséklet függésében ábrázoltam a kapott adatokat:



16. ábra: Primerenergia-fogyasztás párhuzamos üzemben

A grafikont megfigyelve láthatjuk, hogy 18°C - 12°C csak a távhő üzemel, ezalatt csak a légkezelő rendszert kell ellátnia. A második szakaszban 12°C – (-3,8°C) az alternálóhoz hasonló módon különböző meredekséggel növekednek, majd -3,8°C – (-6,7°C) a hőszivattyú energiafelvétele drasztikusan leesik, míg a távhő átveszi a helyét. -6,7°C – (-10,3°C) a távhő egyedül látja el a fűtési feladatot.

3.2.1.2.1 Kizárólag távhővel ellátott eset

Habár a kizárólag távhővel kifűtött épület valódi alkalmazása nem valósulhatna meg a rendeletileg előírt 25%-os megújuló részarány miatt, amit a hőszivattyú hivatott szolgáltatni. Ennek ellenére érdekes lehet tudni, hogy mennyit fogyasztana a rendszerünk, ha kizárólag távhővel oldanánk meg a fűtést.

$$E_{\text{primer,csak távhő}} = E_{\text{primer,TH}} + E_{\text{villamos,hsz}} * COP * e_{\text{primer,TH}}$$

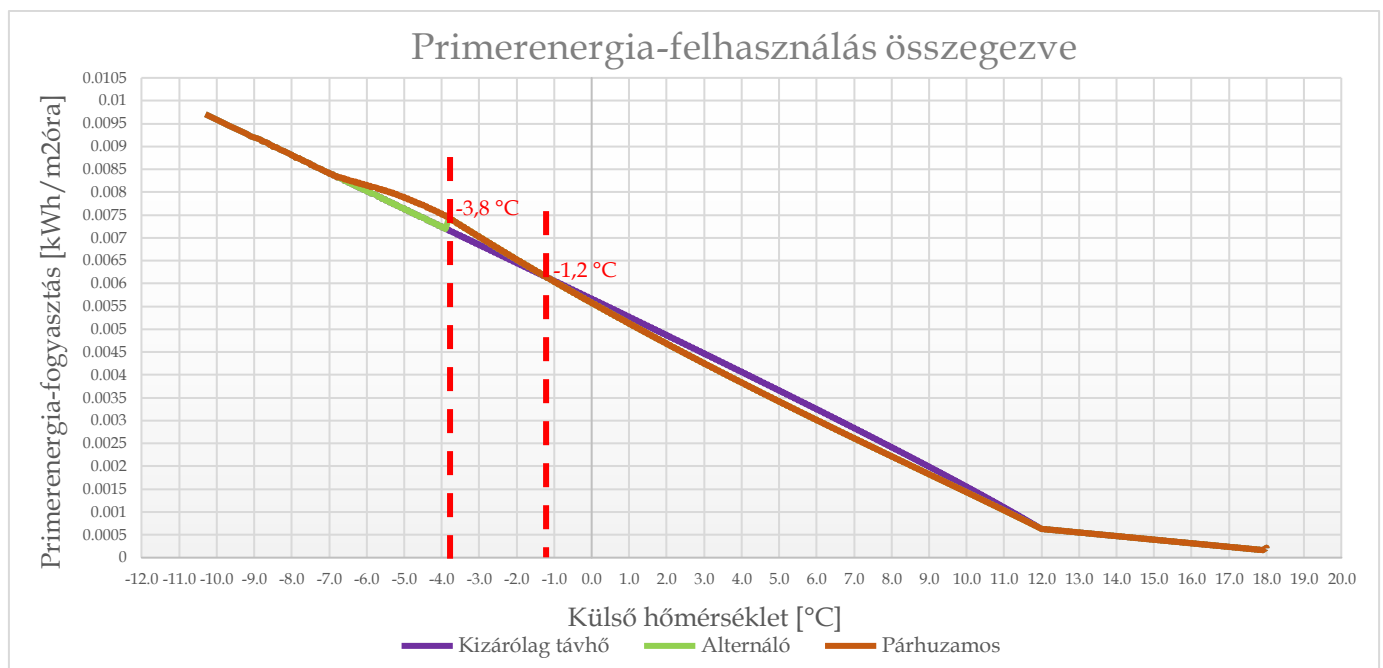
A képlet felépítése:

- $E_{primer,TH} + E_{villamos,hsz} * COP * e_{primer,TH} =$ a távhő előzőleg kiszámolt primer energiafelhasználásához hozzá adjuk a villamos energiafelhasználást, melyet megszorozunk a COP-val (így megkapjuk a hőszivattyú leadott hőmennyiségét) és megszorozzuk a távhő primer energia átalakítási tényezőjével.

Ehhez az esethez nem csináltam egy különálló diagrammot, mivel a jelentése az összegzett alternáló és párhuzamos rendszerekével lenne egyenrangú, amik szintén nem voltak még bemutatva.

3.2.1.3. A három eset összege

A megvizsgált esetek jobb értelmezhetőségének érdekében összesítettem minden üzemmód szumma primer energia felhasználását, és egy táblázatba raktam őket a könnyebb összehasonlításért a külső hőmérséklet függvényében.



17. ábra: A három üzemállapot összegzett primerenergia-felhasználása

Az ábrán látható, hogy -1,2°C-ra jött ki a bivalens pont, ám ezt a pontot a megújuló részarány és ezáltal a CO₂ kibocsátás csökkentésének érdekében -3,8°C-ig eltoltam a átváltási hőmérsékletet. Az egész évre összegzett energia adatok alapján meg tudjuk állapítani, hogy melyik üzemmód volt energetikailag a legkedvezőbb.

- **Alternáló üzem:** 19,816 [kWh/m²a]
- **Párhuzamos üzem:** 20,391 [kWh/m²a]
- **Kizárólag távhő:** 19,874 [kWh/m²a]

A legalacsonyabb értéket az alternáló üzem vette fel, emiatt energetikailag az a legkedvezőbb. A bivalens pont -3,8°C-nál van, a diagramon egy piros szaggatott vonal jelzi.

Érdemes megjegyezni, hogy a 12°C – (-1°C)-os tartományon a kizárólag távhővel üzemeltetett rendszernek magasabb volt az összes primer energiafogyasztása, mint a kombinált rendszereknek.

Pont az ellentétét feltételezné az ember, lévén, hogy a távhő primer energia átalakítási tényezője jóval alacsonyabb, mint az áramé.

Az oka ennek a lefutásnak az, hogy a hőszivattyú COP-je ezen a magas hőmérsékleten nagyon jó, 4,7-es értéket is elérheti, ez pedig lecsökkenti a hőszivattyú primer energia igényét magas hőmérsékleteken, előnyösebbé téve a hőszivattyút, mint a távhőt.

3.2.2. GAZDASÁGI OPTIMUM

A következő pont a gazdasági elemzés volt. Habár a tanulmány számunkra legfontosabb eleme az energiafelhasználás volt, a gazdasági szerep nagy befolyással bír a mai piacon, a piaci versenyben egyértelműen költségalapú elemzés folyik szinte minden téren.

Az optimális üzemmód a legkisebb pénzkidárással járó üzem lesz, ennek meghatározásával fogunk foglalkozni.

Az üzemeltetési optimum meghatározásának módszerei:

Az itt végzett számítások alapul veszik az energetikai elemzésnél megkapott eredményeket. A pénzügyi elemzés elkezdéséhez szükségünk van egy villamos- és egy távhő energiaárra, amelyek alapján elvégezzük a számításokat. Az alábbi táblázat tartalmazza a villamos energia tarifákat, amiket felhasználtam:

Tarifa fajtánként a nettó villamos energia egységár 2021.04.01-től:

		Változó költség		Állandó költség			
		Fogyasztás függő		Lekötés függő		Darab függő	
Idősoros	KÖF	31,24	Ft/kWh	11 112	Ft/kW/év	150 372	Ft/db/év
	KÖF / KIF III	32,87	Ft/kWh	11 676	Ft/kW/év	50 124	Ft/db/év
	KIF III	34,76	Ft/kWh	9 708	Ft/kW/év	50 124	Ft/db/év
Profilos	KIF I	43,13	Ft/kWh	0	Ft/kW/év	1 446	Ft/db/év

18. ábra: Villamos energia 2021 eleji egységárai, én a KÖF/KIF III-as tarifát használtam fel [5.]

A számításaimhoz a KÖF/KIF III-as tarifát használtam fel. Az villamos energia díját így $p_{\text{áram}} = 32,87$ Ft/kWh-nak vettem.

A számításokba nem vettem bele a periodikusan fizetendő alapidíjakat (mint például a lekötési díjak és a csatlakozási díjak), mert ezek nem hoznának hőmérsékletfüggő értékeket a számításaimba. Ezen túl a rendszerek már meg vannak építve, így ezek a díjak így is, úgy is jelentkeznének az üzemeltető számára, függetlenül a jelentkező teljesítményigénytől.

A távhő Dél-budai hőközre vett tarifa adatait az alábbi táblázat tartalmazza:

A. Általános díjtételek				
Megnevezés	Mértékegység	Díjtételek áfa nélkül*	áfa mértéke	Bruttó, fizetendő díj (áfával)
I. Alapdíj				
1. Hőátalakítással megvalósuló távhőszolgáltatás esetén				
a) Fűtési alapdíj	Ft/légm ³ /év	360,36	5%	378,38
b) Vízfelmelegítési alapdíj	Ft/légm ³ /év	27,60	5%	28,98
c) Együttes alapdíj A (a+b)	Ft/légm ³ /év	387,96	5%	407,36
2. Hőátalakítás nélküli távhőszolgáltatás esetén	Ft/MW/év	9 917 244	5%	10 413 106
II. Hődíj				
1. Hőközponti hőmennyiségmérés esetén	Ft/GJ	2 472	5%	2 596
2. Épületrészenkénti hőmennyiségmérés esetén**	Ft/GJ	3 214	5%	3 375

19. ábra: Lakossági célú általános távhő díjazás [26.]

A vizsgált épületkomplexumban lakossági felhasználásnak minősül a Főtáv által biztosított távfűtés, így a fenti táblázatot használtam. A hőközponti hőmennyiség mérés opció bruttó távhő költsége 2596 Ft/GJ, ezt átszámolva megkapjuk azt, hogy a *távhőszolgáltatás* ára $p_{\text{távhő}} = 9,346$ Ft/kWh.

A korábban kiszámított adatokat itt is alkalmazzuk, mindegyik üzemállapothoz a megfelelő adatot természetesen.

3.2.2.1. Alternáló üzemállapot

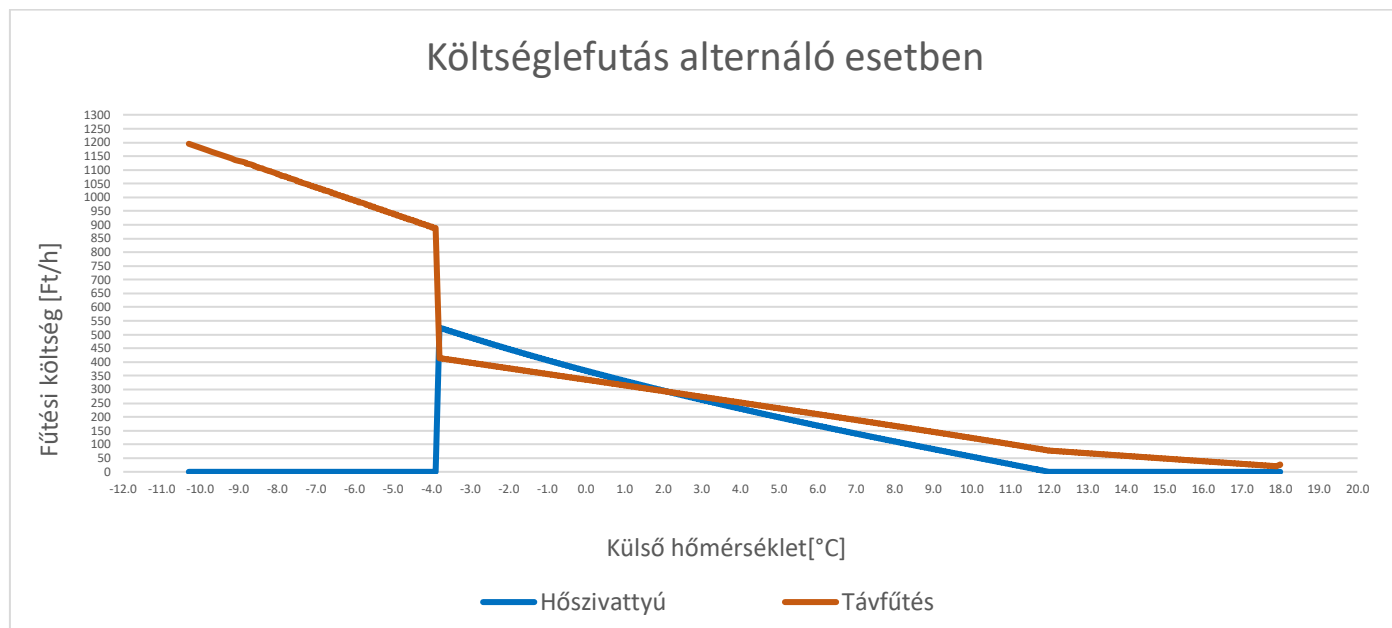
A hőszivattyú üzemeltetésével járó villamosenergia költségeket kiszámításához az alábbi képletet alkalmaztam:

$$C_{\text{áram}} = \left(\frac{E_{\text{lakás fűtés}}}{COP} * HA \left(\frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} > 1; 1; 0 \right) \right) * p_{\text{áram}} * A_{\text{össz.}}$$

A távhő üzemeltetésével járó költségeket ezzel a képlettel számoltam ki:

$$C_{\text{távhő}} = \left(E_{\text{iroda fűtés}} + E_{\text{lakás fűtés}} * HA \left(\frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} > 1; 0; 1 \right) \right) * p_{\text{távhő}} * A_{\text{össz.}}$$

Következő lépésben ábrázoltam az egy órai költségfutást a külső hőmérséklet függvényében:



20. ábra: Órai költségfutás alternáló esetben

A diagram lefutása jellegre megegyezik a primereergia-felhasználást leíró diagrammal alternáló esetben.

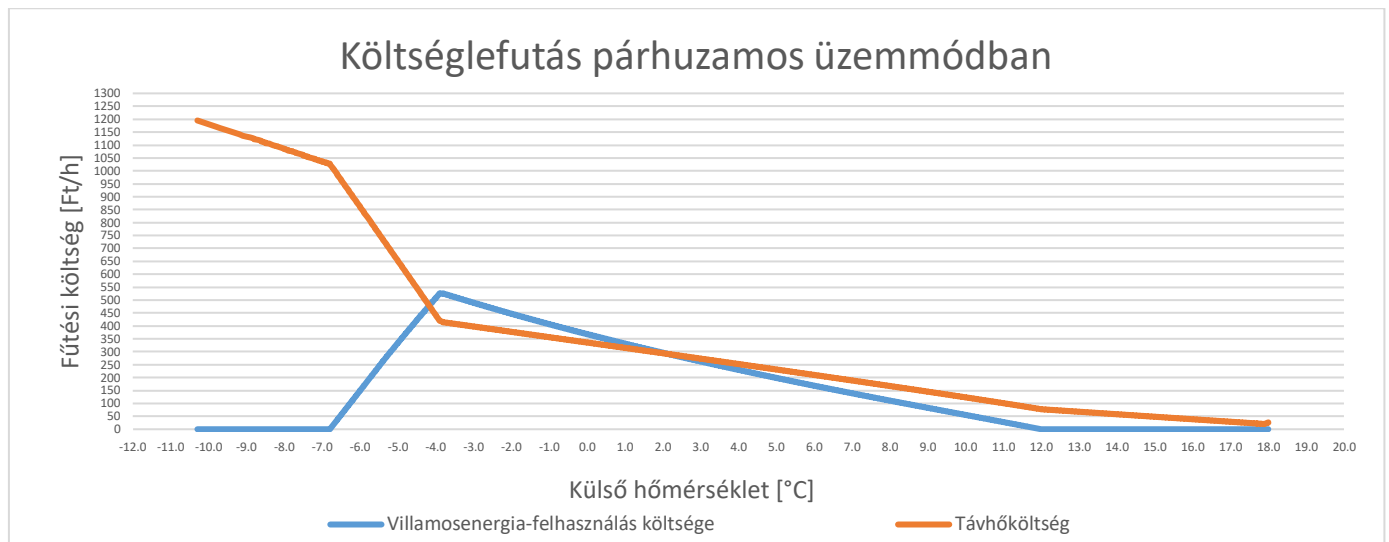
3.2.2.2. Párhuzamos üzemállapot

A hőszivattyú elektromos energiafogyasztásának költsége:

$$C_{\text{áram}} = \frac{E_{\text{lakás fűtés}}}{HA(COP > 3; COP; 3)} * \\ * \left(HA \left(t_k < -3; HA \left(\frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} > 1; 1; \frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} \right); 1 \right) \right) * p_{\text{áram}} * A_{\text{össz.}}$$

A távhő költségét a következő módon számítottam ki:

$$C_{\text{távhő}} = E_{\text{iroda fűtés}} + \\ + \left(E_{\text{lakás fűtés}} * HA \left(\frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} > 1; 0; \left(1 - \frac{\dot{Q}_{\text{hőszivattyú}}}{\dot{Q}_{\text{lakás fűtés}}} \right) \right) \right) * p_{\text{távhő}} * A_{\text{össz.}}$$



21. ábra: Órai költséglefutas párhuzamos üzemmódban

A diagram lefutása jellegre megegyezik a primeregergia-felhasználást leíró diagrammal párhuzamos esetben.

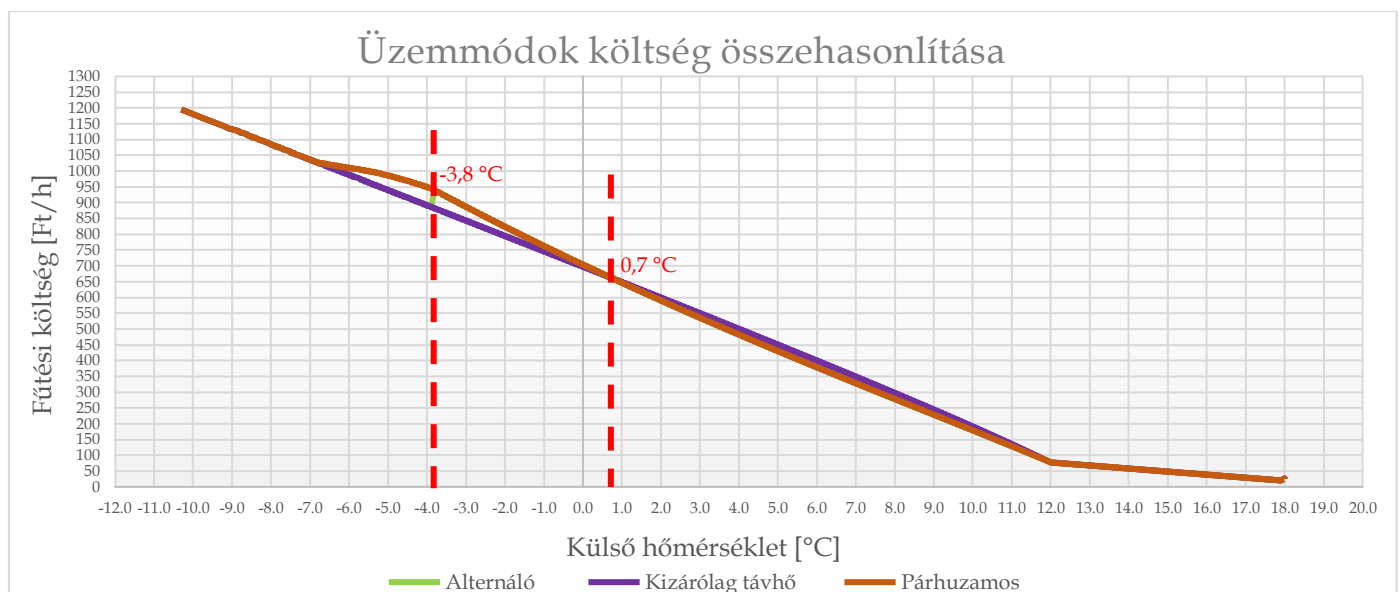
3.2.2.3. Kizárólag távhővel ellátott

Alapul vesszük az energetikai elemzésben kiszámoltakat:

$$C_{\text{távhő}} = (E_{\text{iroda fűtés}} + E_{\text{lakás fűtés}}) * p_{\text{távhő}} * A_{\text{össz.}}$$

3.2.2.4. Gazdasági összegzés

Az egyes üzemállapotok megvalósításához szükséges órai költségeket összegeztem egy diagramban, amit a külső hőmérséklet függvényében ábrázoltam:



2. ábra: Üzem módok egy órai költségének összehasonlítása

Az ábrán látható, hogy 0,7°C-ra jött ki a bivalens pont, ám ezt a pontot a megújuló részarány és ezáltal a CO₂ kibocsátás csökkentésének érdekében -3,8°C-ig eltoltam a átváltási hőmérsékletet.

A diagram lefutása nagyon hasonlít az energetikai elemzés összesített lefutására. Az alternáló és a párhuzamos üzem egymást fedve haladnak egészen $-3,8^{\circ}\text{C}$ -ig, ahol is a hőszivattyú kikapcsol az alternáló üzemben, így egy szemmel látható esést tapasztalhatunk az alternáló függvényben. Ez azzal magyarázható, hogy a hőszivattyúnak magasabb a működtetési költsége és kikapcsolódásával csak a távhő vette át a szerepét, ami egy alacsonyabb költségszinten tud üzemelni ugyanazon a hőmérsékleten.

A párhuzamos függvényben az alternálótól való elválási pont után ($-3,8^{\circ}\text{C}$) egy kis nemlineáris, enyhén görbe lefutás jelzi a hőszivattyú folyamatosan csökkenő teljesítményét, míg végül csak a távhő marad meg $-6,7^{\circ}\text{C}$ alatt.

A kizárólag távhőt alkalmazó rendszer magas külső hőmérsékletek esetén kevésbé bizonyult gazdaságosnak, majd körülbelül 1°C körül olcsóbb megoldás lesz a hőszivattyút alkalmazó üzemmódoknál. Ez a hőszivattyú alacsonyabb COP értékéből adódó magasabb áramfogyasztásából és az ezáltal drágább üzemeltetéséből adódik.

A bivalens pont $-3,8^{\circ}\text{C}$ -nál van, ennek helyét egy szaggatott piros vonal jelzi.

A költségek összegzésével az egész évre meg tudjuk mondani, hogy melyik üzem az optimális gazdasági szempontból:

- **Alternáló üzemmód: 2 487 278 Ft**
- Párhuzamos üzemmód: 2 498 289 Ft
- Kizárólag távhős üzemmód: 2 511 433 Ft

Habár nem sokkal, de az alternáló üzemmód kedvezőbb volt gazdaságilag, mint a párhuzamos üzem. Ez jobban látszik a fenti diagram a lefutásán, ami követi az energetikai elemzésben bemutatott jeleget.

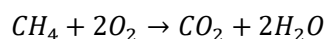
3.2.3. KÖRNYEZETVÉDELMI OPTIMUM

A vizsgálat középpontjában az üzem alatti CO_2 kibocsátás áll. Az egyre súlyosbodó globális felmelegedés mellett kötelességünk törekedni a minél kisebb üvegházhatású gázmennyiség kibocsátására. A primerenergiát itt közvetve felhasználjuk, mivel az megadja, hogy mennyi primer energiahordozót kell felhasználnunk ahhoz, hogy a kívánt energiamennyiséget előállítsuk.

A számítások elvégzése után elbíráljuk, hogy melyik üzemmód rendelkezik a legkisebb szennyezéssel éves szinten. A vezetékes gáz 97%-ban metánból áll [18.], így egyszerűsítésképpen tiszta metánnak vettem, és ezzel számoltam tovább.

Első lépésként felírtam egy sztöchiometriai egyenletet a metán égésére, és ezáltal kiszámítottam, hogy $m(\text{CO}_2)/m(\text{CH}_4)$ arányban hogyan aránylik a termelt szén-dioxid mennyisége a felhasznált metánhoz képest.

Az egyenlet felírásakor tökéletes égést feltételeztem a metán esetén, ami a valóságban nem fordul elő, emiatt ezeknél az eredményeknél csak rosszabb adatokat tapasztalhatunk a valóságban. A sztöchiometriai egyenlet a következőképpen néz ki:



$$16 \frac{g}{mol} + 2 * 32 \frac{g}{mol} \rightarrow 44 \frac{g}{mol} + 2 * 18 \frac{g}{mol}$$

$$16g CO_2 \rightarrow 44g CO_2$$

$$\frac{m_{CO_2}}{m_{CH_4}} = 2,75$$

Ahol:

- $\frac{m_{CO_2}}{m_{CH_4}}$ = CO₂ kibocsátás mennyisége 1 egység metán elégetésekor tömegarányban kifejezve [kg(CO₂)/kg(CH₄)]

Az arány megismerése után kirodalmaztam a tiszta metán gáz fűtőértékét, amire F = 50,01 MJ/kg-ot kaptam. Ez megfelel F = 13,892 kWh/kg-nak.

A kiadott energiaegységre vonatkoztatott szennyezés értéket számoltam ki következőre, aminek segítségével már egyszerűen tudunk számolni CO₂ tömeg adatokat.

$$m_{TH} = \frac{\frac{m_{CO_2}}{m_{CH_4}}}{F} * e_{távhő} * (1 + 0,1124)$$

Ha ezt elvégezzük, akkor megkapjuk, hogy 1 kWh távhővel szolgáltatott fűtési teljesítmény hány kg CO₂ kibocsátásával járt. Ez az eredmény nekem $m = 0,4278 \frac{kg}{kWh}$ lett.

Az elektromosság termelésének szennyezéséhez a magyarországi energiamix adatait használtam fel, az energiaegységre vonatkoztatott CO₂ kibocsátás $m_{villamos} = 0,386$ kg/kWh volt. [19.]

3.2.3.1. Alternáló üzemállapot

Az alternáló üzemállapotban a fajlagosított szén-dioxid kibocsátás a távhő fajlagos kibocsátása, a távhőből vett energiafelhasználás, a villamosenergia fajlagos kibocsátása és a villamosenergia fogyasztás alapján az alábbi képlettel számolható ki:

$$\dot{m}_{alternáló} = (E_{távhő,alt} * \dot{m}_{TH} + E_{villamos,hsz,alt} * \dot{m}_{villamos}) * A_{össz.}$$

3.2.3.2. Párhuzamos üzemállapot

Az párhuzamos üzemállapotban a fajlagosított szén-dioxid kibocsátás a távhő fajlagos kibocsátása, a távhőből vett energiafelhasználás, a villamosenergia fajlagos kibocsátása és a villamosenergia fogyasztás alapján az alábbi képlettel számolható ki:

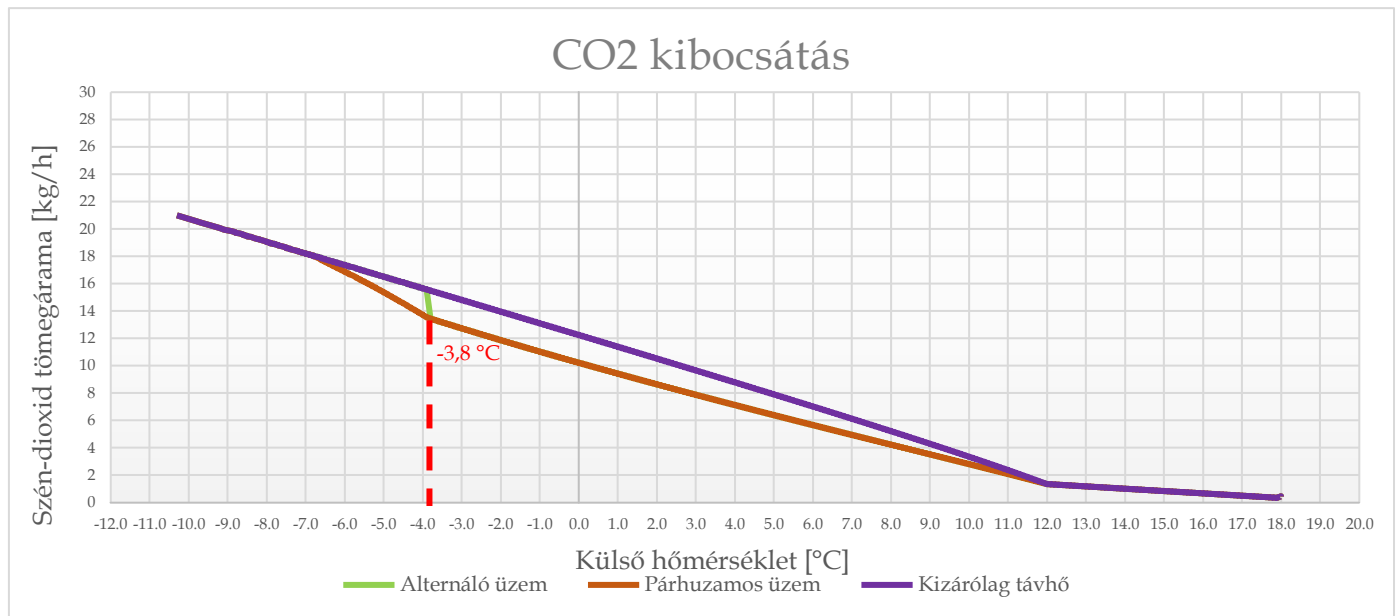
$$\dot{m}_{párhuzamos} = (E_{távhő,párh} * \dot{m}_{TH} + E_{villamos,hsz,párh} * \dot{m}_{villamos}) * A_{össz.}$$

3.2.3.3. Kizárólag távhős üzemállapot

$$\dot{m}_{csak TH} = (E_{iroda fűtés} + E_{lakás fűtés}) * \dot{m}_{TH} * A_{össz.}$$

3.2.3.4. A három üzemállapot összegzése

Ha egy diagramon ábrázolom a vizsgált üzemállapotokat külső hőmérséklet függvényében, akkor az alábbi diagramot kapom:



23. ábra: Összesített CO₂ kibocsátás üzemállapottól függően

A diagramot jelen esetben is több részre tudjuk felosztani: a magas hőmérsékletek esetén szinte elhanyagolható az épület szennyezése, mivel csak a légkezelő rendszer megy (12°C-ig). Ezt követően az alternáló és a párhuzamos üzem CO₂ kibocsátása megegyező egyenesen fog tovább haladni, ám a távhő deviál tőlük magasabb kibocsátási irányba.

-3,8°C-on párhuzamos üzemből a hőszivattyú által felvett primer energia jelentősen elkezd lecsökkenni – eközben vele csökken a kibocsátása is -, emiatt -6,7°C-nál elkezd csökkenni a hőszivattyú termelése és fokozatosan a távhő veszi át a helyét. Emiatt a váltás miatt fokozatosan ráilleszkedik a kizárólag távhős üzem lefutására.

-6,7°C-on a hőszivattyú lekapcsol, így egy hirtelen ugrás tapasztalható az alternáló üzemből, azonnal becsatlakozva a kizárólag távhős függvénybe.

A bivalens pont -3,8°C-ra került, ezt is egy szaggatott piros vonal jelzi. A vonal nincs a bivalens pontig behúzva, hogy ne takarja el a diagram jellegét.

A diagram alapján kijelenthető, hogy a távhős fűtési rendszer több szennyező anyagot bocsát ki az atmoszférába, mint a hőszivattyú. Ennek oka az, hogy a távhő CO₂ kibocsátási értékeit a Kelenföldi Erőmű alapján számoltam, ami – bár a kapcsolt termelésének köszönhetően $e_{primer,TH} = 0,745$ nagyságú primer energia átalakítási tényezővel rendelkezik – 100%-ban fosszilis, földgáz alapú energiatermelést végez. A távhő kibocsátása így 164,1 g/kWh.

Ezzel szemben a hőszivattyú az elektromosságot az országos hálózatról veszi, ami országszerte ugyanazzal az energiamixszel rendelkezik, legalább 40%-át kiteszi a teljesen CO₂ kibocsátás mentes Paksi Atomerőmű által termelt villamos energia, így 386 g/kWh [37.] CO₂ kibocsátással lehet számolni. A hőszivattyú magas COP-je miatt sokkal kevesebb elektromos energiát kell használnia, mint amennyi hőenergiát a távhő igényel, így a távhő összességében szennyezőbb lesz, mint a hőszivattyú.

A függvények alatti területek meghatározásával megtudhatjuk, hogy melyik eset volt a legkedvezőbb környezettudatossági szempontból:

- Alternáló üzemmód: 37 762,6 kg
- **Párhuzamos üzemmód: 37 456,1 kg**
- Kizárólag távhős üzemmód: 44 098,4 kg

A kettő közül az alternáló üzem kevesebb CO₂ kibocsátással jár, mint a párhuzamos.

3.2.4. OPTIMALIZÁLÁS ÖSSZEGZÉSE

A három optimalizálási szempont szerinti számítások elvégzése után össze tudjuk vetni a kapott eredményeket. Az alternáló üzem kedvezőbb volt a párhuzamos üzemnél primer energiafelhasználás és gazdaságos működtetés szempontjából, ám alul maradt a párhuzamossal szemben környezetszennyezés szempontjából.

A hőszivattyú meghosszabbított alkalmazása adta a párhuzamos üzem CO₂ kibocsátásbeli előnyét, egyúttal ez okozta a többlet primerenergia fogyasztását és megemelkedett üzemeltetési költségét.

Összességben a környezetszennyezés fontosságának elhanyagolása nélkül ki lehet jelteni, hogy az alternáló üzem a megfelelő üzemállapot az épület kifűtésére, mivel a három szempontból kettőben jobban teljesített a párhuzamos üzemnél.

Megemlíthető, hogy a távhő – korábban kifejtett indokok miatt – gazdasági és környezetszennyezési szempontból utolsó, primerenergia fogyasztási szempontból pedig a második lett az alternáló után. Ha a szabályozás nem is tiltaná le az alkalmazását, akkor se lenne kifizetődő hosszútávon alkalmazni.

Ezek alapján az alternáló üzemállapotot választottuk a rendszerünk fűtési feladatának ellátására, a további megállapítások és szabályozási gondolatok az alternáló üzemmellel fognak dolgozni, illetve együttműködni.

3.3. Szabályozástechnika

Fontos kérdés még az üzemeltetési módszer eldöntésén kívül, hogy a szabályozástechnikát hogyan oldjuk meg. Ilyen problémák közé sorolható például a hőszivattyú ki-be kapcsolgatása a bivalens pont körüli értékeken. Akkor fordulhat elő ilyen jelenség, ha nincsen meghatározva egy átkapcsolási sáv a hőszivattyú vezérlésében, és a napi szinten is gyorsan változó külső hőmérséklet miatt a rendszer átkapcsol egy másik állapotba, ám a hőmérséklet újra felmelegszik, és vissza kellene kapcsolnia.

A bivalens pont körüli hőmérséklet mozgás esetén bele kell rakni egy hiszterézist a szabályzásba, hogy elkerüljük a hőszivattyú felesleges kapcsolgatását és ezzel együtt a gyors tönkremenetelét.

A hőszivattyúk és a folyadékhűtők kompresszorai egy – gyárilag megadott – kapcsolási számmal rendelkeznek, ami megadja, hogy egy órában a gép hányszor kapcsolhat ki-be maximálisan, tehát a kapcsolási száma 6 1/h [20.]. Ennek a túllépése a kompresszorok túlmelegedése miatt gépkárosodáshoz vezet, ez elkerülendő.

3.3.1. HŐSZIVATTYÚ SZABÁLYOZÁSA

A szabályzástechnikai rész első eleme a hőszivattyú szabályozási kérdése. A bevezetésben már említettük, hogy a fő kérdéskör a gép érzékenysége és reagálási időtartama.

A kritikus hőmérséklet tartomány az átmeneti – tavaszi és őszi – időszakokban van, amikor a hőmérséklet nagy ingadozásokon megy keresztül rövid – akár napi – intervallumokon belül. Ez a gyors váltakozás problémákat tud okozni a rosszul szabályzott hőszivattyú esetén, mert a rendszerváltási határhőmérséklet esetleges átlépése esetén azonnal ki/bekapcsolna, majd visszalépne az ellentétes állapotba a hőmérséklet új változásával.

A hőszivattyú kapcsolási száma 6, ami annyit tesz, hogy egy óra leforgása alatt maximum hat alkalommal állhat le és indulhat újra. Ennek az értéknek a megközelítése, vagy esetleges átlépése jelentősen lerövidíti a gép élettartamát és károsodáshoz vezet.

Ezek elkerülése végett a gépbe egy hőmérséklet- és egy idő kapcsolási sávot építünk be. Ez a kapcsolási sáv gyakorlatilag egy biztonsági régiót visz a rendszerbe, ami megakadályozza a rövid ideig fennálló hőmérséklet állapotok ráhatását a rendszerre.

3.3.1.1. Időfüggő kapcsolás

Az első eszközünk az időfüggő kapcsolás bevezetése, amit a hőszivattyú kapcsolási számához kötünk. A kapcsolási számot „k”-val fogom jelölni.

A $k = 6$ határérték megközelítése drasztikusan lecsökkenti a hőszivattyú élettartamát, így nagyobb időközöket alkalmaztam. A bivalens pont átlépése után minimum 2 órát fenn kell állnia az üzemváltást okozó külső hőmérsékletnek (tehát a bivalens pont alatt/felett kell lennie minimum 2 órát).

Ha egyszer bekövetkezett a váltás, akkor az üzemállapot hat órán keresztül stabil marad. A váltást követő 6 órás időtartamban a rendszer váltási szabályzója nem cselekszik, csak a hőmérsékletet méri.

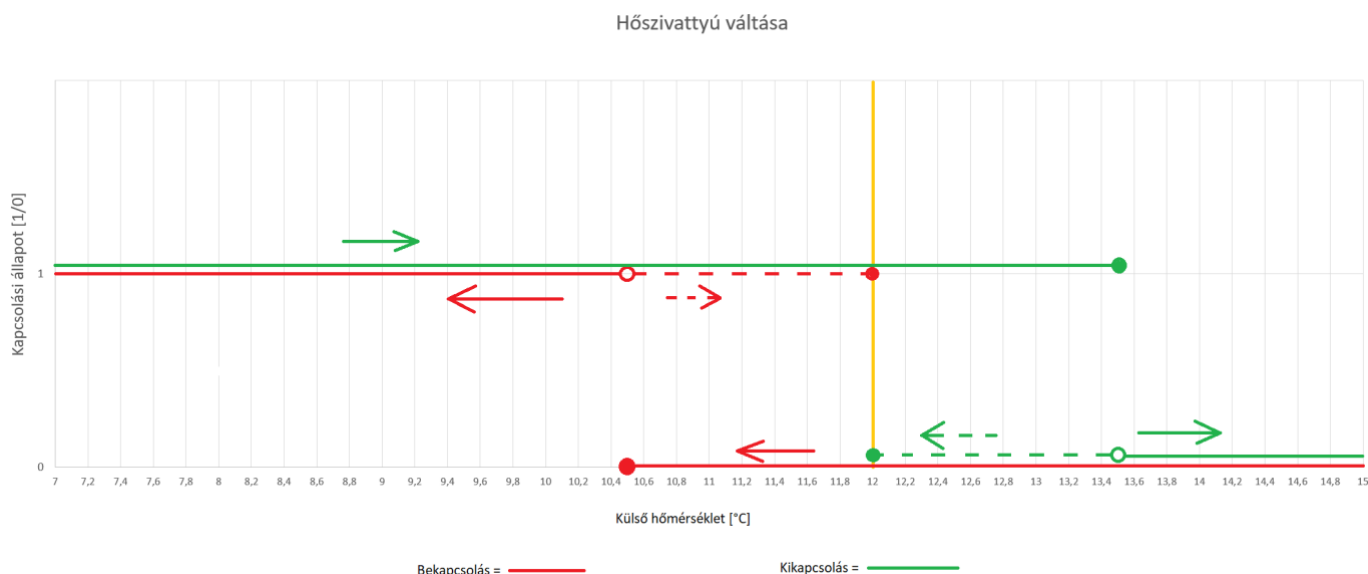
A szakasz letelte után újra aktiválódik a kapcsolás érzékelő, és a hőmérsékleti adatoktól függően eldönti, hogy maradjon-e ez az üzem vagy váltani kell. A 6 órás stabil szakasz alatt mért hőmérséklet adatok is befolyásolhatják a váltási mechanikát, tehát a 6 óra leteltével azonnal vissza tud váltani. Ez azért fontos, hogy a 6 órás stabilizálás után ne kelljen még 2 órát várni az adatok gyűjtésére.

3.3.1.2. Hőmérséklet tehetetlenség

A második szabályzási szempont a külső hőmérséklet változása. A bivalens pont körüli hőmérsékletek problémája itt is fennáll. Ennek megelőzésére egy 1,5 °C-os hőmérséklet sávot, vagy határt vonunk, aminek átlépése nélkül nem aktiválódik az üzemváltás.

A bivalens pont meghatározása nem olyan egyszerű az épületünk esetében, mivel az iroda- és a közös helyiségeket csak a távhő tudja kifűteni, így hivatalos értelemben vett alternáló üzem nem is lép fel. A bivalens pont meghatározásánál így két hőmérsékletet vettem fel: a bekapcsolási (12 °C) hőmérsékletet és a leállási hőmérsékletet (-3,9 °C).

Az alábbi diagramon ábrázoltam a ki-be kapcsolási mechanizmusnál a margin jelentését:



24. ábra: A hőszivattyú hőmérsékletszabályozása

A diagramon két színnel ábrázoltam a hőmérsékletváltozásokat, a piros szín jelöli a csökkenő külső hőmérséklet esetén bekövetkező bekapcsolást, a zöld szín pedig a melegedés hatására történő kikapcsolási folyamatot jelöli. A szaggatott vonal az üzemállapotok váltása után történő esetleges hőmérséklet visszafordulást jelzi.

A bekapcsolási esetben (piros) a hőszivattyú nem indul be 10,5 °C-ig a másfél fokos sáv miatt. Ezalatt a hőmérséklet alatt bekapcsolt állapota van egészen -3,8 °C-ig.

A kikapcsolási esetben (zöld) a hőszivattyú nem áll le 13,5 °C-ig a sáv miatt, e hőmérséklet felett pedig kikapcsolva marad.

A szaggatott vonalak azt az elvet jelképezik, hogy a fluktuáló hőmérséklet ne zavarjon be a sáv területébe. Ha egy egyértelműen csökkenő hőmérséklet tendencia esetén átléptük a változási határt, akkor a visszatérő hőmérsékletnek el kell érnie az eredeti bivalens pontot ahhoz, hogy reakciót váltson ki a szabályzóból.

Ezzel megakadályoztuk azt, hogy a sáv ugyanolyan taktáló ponttá váljon, mint a bivalens pont környéke.

A fent látható ábra a 12 °C-os bekapcsolási pontra vonatkozott, a -3,8°C-os bivalens pont esetében ugyanilyen elv alapján járunk el, csak az irányok megfordulnak természetesen.

Ezekkel az irányítástechnikai elvekkel garantálhatjuk a hőszivattyú biztonságos és hatékony működését.

4. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A szakdolgozatomban a Budapest XI. kerületben található multifunkcionális iroda- és társasház hőtermelésének energetikai optimalizálását végeztem el. Ennek alapjául a kapott tervdokumentáció szolgált, amely az épület hőellátási és hűtési kapcsolását tartalmazta. A megépített rendszer nem teszi lehetővé az egyidejűleg fellépő fűtési és hűtési igények során keletkező hulladék hő hasznosítását. Megvizsgáltam ennek a lehetőségét, de ez csak komolyabb koncepcionális gépészeti rendszerátalakítással valósítható meg.

Pályamunkámban innen részletesen az ilyen átalakításokat mellőző üzemoptimalizációval foglalkoztam, amely alapul véve a kapcsolást a hőtermelők közös üzemének optimalizálására fókuszál. Az energetikai optimum megkeresésének alapja három szempont szerint adódott: a primerenergia-felhasználás minimalizálása, az üzemeltetési költségek minimalizálása és az üzem közbeni környezeti terhelés - azaz a kibocsátott szén-dioxid mennyiségének - minimalizálása.

Az kapcsolat konstrukciója miatt a hőszivattyú nem képes az épület fűtési rendszerének teljes egészét az év egyetlen szakaszában sem, emiatt a kiegészítő hőforrásnak – a Főtáv által szolgáltatott távfűtés – olyan esetekben is üzemelnie kell, amikor átmeneti terhelés van, - például, amikor a légkezelőnek üzemelnie kell, avagy az irodák és a közös terek lépnek fel fűtési igényrel, mivel ezeket a rendszereket csak távhővel lehet fűteni - és az épület fűtési igényeinek fedezése kedvezőbb lenne minden szempontból hőszivattyúval. Ezen okok miatt a bivalens hőfok felett sem léptethető ki a kiegészítő hőforrás, mert bizonyos fogyasztók szempontjából szükséges.

Az optimum meghatározásom eredményeképpen – habár nem sokkal, de – az alternáló üzemállapot lett a legkedvezőbb mind primerenergia-fogyasztás, mind fűtési költség szempontjából, egyedül környezeti terhelés szempontjából maradt el egy kevéssel a párhuzamos üzemhez képest.

5. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1.] European Comission: National long-term strategies https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-long-term-strategies_en letöltés dátuma: 2021
- [2.] Bayer Property: VABA Apartments térkép <https://bayerproperty.com/lakoprojektek/budapest-xi/vaba-apartments> letöltés dátuma: 2021
- [3.] Bayer Property: VABA Apartments képek <https://bayerproperty.com/Ingatlanok/budapest-xi/vaba-apartments-b203> letöltés dátuma: 2021
- [4.] QPlan Hűtéstechikai Tervező és Szolgáltató Kft., Kalamár-G. Roland, Murin Ákos: Hőszivattyús és folyadékűtős rendszer műszaki leírása, Budapest 2020
- [5.] Főtáv Beruházási és Projektmenedzsmenti alosztály, Budapest 2021
- [6.] Studio In-Ex Architects & Engineers, Borbély Dávid és Szilágyi Antal: Vahot utcai többfunkciós épület, Hűtés-fűtés kapcsolás I. 2020 Budapest
- [7.] QPlan Hűtéstechikai Tervező és Szolgáltató Kft., Kalamár-G. Roland, Murin Ákos: Hőszivattyús és folyadékűtős energiaellátó rendszerek – kapcsolási séma, Budapest 2020
- [8.] Daikin Bluevolution EWYT-B-XR https://www.daikin.hu/hu_hu/termek/ewyt-b-xr.html letöltés dátuma: 2021
- [9.] TherMirális víz, gáz, fűtés, klíma, konyhatechnika http://szerelvenyuzlet.eu/spd/szer_006669/WILO-Stratos-GIGA-100-1-17-32-Nagyhatasfoku-inline letöltés dátuma: 2021
- [10.] Bayer Property: Vaba Apartments <https://bayerproperty.com/lakoprojektek/budapest-xi/vaba-apartments> letöltés dátuma: 2021
- [11.] Flamco Flow of innovation, 28446 - FlexBalance F 150 <https://flamcogroup.com/hu/catalog/energiaelosztas/hidraulikus-valto/flexbalance-hidraulikus-valto/flexbalance-f/28446/groups/g+c+p+a+nr+view> letöltés dátuma: 2021
- [12.] Sinus Hydraulic separator in compact design 10 m³/h up to 300 m³/h <https://www.sinusverteiler.eu/product/hydraulic-separators/compact-hydraulic-separators/id-10-mh-up-to-300-mh.html> letöltés dátuma: 2021
- [13.] Kamstrup Price list January 2011 Heating, cooling, water <http://pricelist.kamstrup.com/selection/PDF/1895.pdf> letöltés dátuma: 2021
- [14.] DocPlayer Varje droppe räknas. Dahls erbjudande för vatten-, värme- och flödesmätning <https://docplayer.se/109440089-Varje-droppe-raknas-dahls-erbjudande-for-vatten-varme-och-flodesmatning.html> letöltés dátuma: 2021
- [15.] Danfoss Ülékes szelepek PN16 VF3 <https://assets.danfoss.com/documents/193224/AI244286498524hu-000204.pdf> letöltés dátuma: 2021
- [16.] Daikin EWYT500B-XLA2 Technical data sheet, Budapest 2021
- [17.] Kazán Webshop WILO YONOS MAXO 40/0.5-12 KERINGETŐ SZIVATTYÚ, KARIMÁS, 250MM, DN40, 230V https://www.kazanwebshop.hu/spd/2120647/WILO-Yonos-MAXO-40-0-5-12-keringeto-szivattyu-kari?gclid=CjwKCAiA-9uNBhBTEiwAN3IINC_38FUbqROC1WZgKHVo59ISBm1tSvHzhvlEonX3ahEt0QppKH9p9UhoCZSUQAvD_BwE letöltés dátuma: 2021

- [18.] Wikipédia: Földgáz <https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6ldg%C3%A1z> letöltés dátuma: 2021
- [19.] IEA Data and statistics: CO₂ emissions <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=HUNGARY&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2Intensity> letöltés dátuma: 2021
- [20.] Daikin Databook EWYT-B Air cooled heatpump with scroll compressors, Budapest, 2021
- [21.] Daikin EWAT-B Chillers https://www.daikin.eu/en_us/product-group/chillers/chiller-and-heat-pump-series/ewat-b.html letöltés dátuma: 2021
- [22.] Wilo Select 4 online <https://www.wilo-select.com/ProductSearch.aspx> letöltés dátuma: 2021
- [23.] Robert Petitjean: Total hydronic balancing, TA Hydronics AB 2012
- [24.] Szalay Zsuzsa, Kiss Benedek: Az épületekben felhasznált energiahordozók
- [25.] primerenergia-tényezője: mennyi az annyi? – 2. rész http://real.mtak.hu/85186/1/Magyar_Epuletgepeszet_primerenergia_2.pdf letöltés dátuma: 2021
- [26.] Főtáv A távhőszolgáltatás díja <https://www.fotav.hu/uzleti-ugyfelek/a-tavhoszolgáltatás-díja/a-tavhoszolgáltatás-díja-reszletek> letöltés dátuma: 2021
- [27.] Higher Education Package for Nearly Zero Energy and Smart Building Design, Heat Pumps Chapter, Budapest 2021
- [28.] Ezermeister A hőszivattyú alkalmazási lehetőségei https://ezermeister.hu/cikk-5649/A_hoszivattyu_alkalmazasi_lehetosegei letöltés dátuma: 2021
- [29.] Wolters Kluwer 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet
- [30.] az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600007.tnm> letöltés dátuma: 2021
- [31.] Lechner Tudásközpont Építésügyi Dokumentációs és Információs Központ <https://lechnerkozpont.hu/oldal/altalanos-informaciok> letöltés dátuma: 2021
- [32.] Garbai László: Távhőellátás, hőszállítás, Typotex, 2012 Budapest
- [33.] Csoknyai István, Doholuczki Tibor: Több, mint hidraulika, Herz Harmatúra Hungária Kft., Budapest 2013
- [34.] Vgf&hkl Víz, Gáz, Fűtéstechnika és Hűtő, Klíma és Légtechnikai szaklap: Két cső, három cső, négy cső, Egyidejű hűtés, fűtés és hővisszanyerés az épületkomfort területén [Két cső, három cső, négy cső \(vgfszaklap.hu\)](http://vgfszaklap.hu) letöltés dátuma: 2021
- [35.] Vgf&hkl Víz, Gáz, Fűtéstechnika és Hűtő, Klíma és Légtechnikai szaklap: HMV hulladékhőből [HMV hulladékhőből \(vgfszaklap.hu\)](http://vgfszaklap.hu) letöltés dátuma: 2021
- [36.] ANZDOC Egészséges lakás <https://adoc.pub/nagyitolencse-alatt-a-ftes-felujitas-a-jvo-komfortos-technik.html> letöltés dátuma: 2021
- [37.] <https://www.mavir.hu/web/mavir/home> letöltés dátuma: 2021