

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék



Hidegenergia-tárolás alternatíváinak vizsgálata egy gyógyszergyár esetében

Szerző(k) **Józsa Szabolcs BSc hallgató**

Témavezető(k): Dr. L. Szabó Gábor
Tanszékvezető: Prof. Dr. Lakatos Ákos

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1 A vizsgált gyógyszergyár bemutatása	4
1.1 A gyógyszergyártás, mint ipari folyamat	4
1.2 A gyógyszergyártás belső környezeti követelményei	4
1.3 A gyógyszergyár külső környezete.....	9
1.4. A meglévő hűtési rendszer bemutatása	10
2 Elméleti háttér	16
2.1 A hidegenergia-termelés lehetőségei.....	16
2.1.1 Az abszorpciós hűtés	16
2.1.2 A kompresszoros hűtés.....	18
2.2 A szoba jöhető hidegenergia-tárolási módszerek	20
2.3 Alapvető rendszer kialakítási módok	24
2.3.1 A hagyományos hidegvizes rendszer	24
2.3.2 A jegesvizes rendszer	25
3 Eredmények.....	30
3.1 A hűtőgépek újraválasztása	30
3.2 A hűtőgépek óránkénti kapcsolási számának meghatározása	33
3.2.1 A hidegvizes pufferrel ellátott rendszer esetén.....	33
3.2.2 A puffertároló nélkül üzemelő rendszer esetén	35
3.2.3 A jegesvizes puffertárolóval ellátott rendszer esetén	37
3.3 Továbbélépési lehetőségek.....	41
4 Összefoglalás.....	45
Irodalomjegyzék	46

Bevezetés

A dolgozat témája

Dolgozatom témájaként egy gyógyszergyártó épület hűtési rendszerének háromféle alternatíva szerinti energetikai összehasonlítását választottam: egy általános hidegvizes rendszert puffertároló nélkül, hidegvizes puffertárolóval, illetve egy jégakkumulációs puffertárolóval. A hűtési rendszerek tervezését úgy célszerű végrehajtani, hogy a kiválasztott hűtőgépek a puffertartályok segítségével képesek legyenek fedezni az épület hűtési energiaigényét.

Maximális hőterhelés esetén ennek biztosítása csak nagy teljesítményű hűtőgépekkel, illetve jelentős méretű tárolótér fogat alkalmazásával lehetséges. Ennek kiküszöbölésére szolgálhat egy jegesvizes puffertartállyal ellátott hűtési rendszer megvalósítása, mely a fázisváltásban lévő lehetőségeket használja ki. A hatékony energiafelhasználáshoz, illetve gazdaságos tervezéshez és működtetéshez pedig elkerülhetetlen a hidegenergia minél hatékonyabb tárolása.

A téma aktualitása

A klímaváltozás következtében az épületek energiaszükséglete jelentősen átalakult. Az Eurostat adatai szerint az Európai Unió tagállamaiban 1979-ről 2020-ra átlagosan 21 százalékkal csökkent a fűtési napok száma, miközben a hűtési szezon hossza 268 százalékkal nőtt. A Magyarországon is jelentős klímaváltozást támasztja alá, hogy a nyári középhőmérsékletek időszora egy 1901-től vizsgált lineáris trendbecslés alapján tisztán melegebb tendenciát mutat. [1] [2]

A jelenlegi és az elkövetkezendőkre várható körülményeket is figyelembe véve, az épületek hűtése elengedhetetlen az emberek komfortigényeinek kielégítéséhez. A hűtőberendezés kompresszorának hatékony működését biztosító körülmények rendelkezésre állása és a hidegenergia-igény között azonban időbeli eltérés van. Így a hűtőgépek a nappali órákban csak jelentős villamosenergia-felhasználás mellett képesek fedezni az épületek hűtési energiaigényét. Az energiafelhasználás hatékonysága úgy növelhető, ha a csúcsterhelés egy része a csúcsidezőszakon kívüli időszakra áttolható. Ez a hidegenergia tárolásával érhető el. [3]

A fázisváltásban rejlő lehetőségek elérhetővé tehetik a hidegenergia huzamosabb idejű tárolását. Az általam vizsgált jegesvizes puffertartály használata különösen vonzó lehet lakossági alkalmazásokban a könnyű hozzáférhetősége miatt. A hidegenergia hatékonyabb betárolása lehetőséget teremthet a hűtőgép éjszakai, hatékonyabb üzemeltetésére, figyelembe véve az erre vonatkozó zajvédelmi előírásokat. [3]

1 A vizsgált gyógyszergyár bemutatása

1.1 A gyógyszergyártás, mint ipari folyamat

A gyógyítás és az ehhez hozzájáruló gyógyszerkészítmények alapvető szükségletek az emberek életében. A gyógyszergyártásnak az egészségügyi ágazaton túl a gazdaságra kifejtett szerepe is jelentős, hiszen rengeteg munkahely meglétét teszi lehetővé. Mivel az emberi egészséget befolyásoló termékek előállításáról van szó, így a gyártási műveletek különös precizitást igényelnek. Ennek következtében már maguk a gyógyszergyártó létesítmények is élesen elhatárolhatók a többi épülettípustól.

Az építési hely meghatározásánál célszerű lehet olyan környezetet választani, ahol a gyártási folyamatoknak és az alkalmazott vegyi technológiáknak a természetvédelemre nézve nincs hátrányosan befolyásoló hatása. Megfontolandó továbbá olyan építési területet kijelölni, ahol nem fordulnak elő extrém időjárási viszonyok (például árvizek) vagy túlságosan szennyezett környezet (például jelentős forgalmi útvonalak közelében). Ezen felül egy gyárépület üzemelése nagymértékű zajhatással is járhat, így törekedni kell a lakosság zavarása nélküli megvalósításra.

Egy gyárépület szempontjából fontos szerepe van azonban a jó infrastrukturális adottságoknak is. Így az ilyen funkciójú létesítmények általában a települések határában, ipari parkok részeként találhatók meg. Az építési hely kiválasztása és az épület tervezése során érdemes lehet figyelembe venni, hogy a későbbiekben egyaránt legyen lehetőség a létesítmény külső és belső bővítésére is.

1.2 A gyógyszergyártás belső környezeti követelményei

A gyógyszergyárak üzemeltetéséhez több területet érintő követelményeknek kell maradéktalanul megfelelni. A gyártáshoz speciális helyiségeket, úgynevezett tisztatereket kell létrehozni. Az ilyen környezetekben a levegő hőmérsékletét, nedvességtartalmát, a nyomásviszonyokat és még az előforduló részecskék és szennyeződések számát is szigorú tisztatéri szabványok határozzák meg. Ezek jelentőségét jól tükrözi, hogy napjainkban a gyógyszeriparon kívül az autóiparban, az élelmiszeriparban, az elektronikai iparban és az orvostudományban is elengedhetetlen a szerepük. [4]

US FED STD 209E

A tisztaterekre vonatkozó követelmények meghatározásában több szabvány is segíthet. Az egyik első ilyen szabvány az US FED STD 209E, ami az Amerikai Egyesült Államokban 1992

és 2001 között volt elfogadott. Fő alapelve, hogy az egy köblábra ($\approx 28,316 \text{ dm}^3$) eső megengedett részecskeszám alapján osztályozza a helyiségeket. Ez alapján hatféle kategóriát különböztet meg, melyek az **1. ábrán** láthatóak. Bár 2001-es visszavonása óta ez a szabvány már nem érvényes, egyes iparágakban a megrendelők napjainkban is használják elvárásaik megfogalmazására. [5]

Tisztasági osztály	maximum részecske/láb ³					ISO megfelelője
	$\geq 0.1 \mu\text{m}$	$\geq 0.2 \mu\text{m}$	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	
1	35	7.5	3	1	0.007	ISO 3
10	350	75	30	10	0.07	ISO 4
100	3,500	750	300	100	0.7	ISO 5
1,000	35,000	7,500	3000	1,000	7	ISO 6
10,000	350,000	75,000	30,000	10,000	70	ISO 7
100,000	3.5×10^6	750,000	300,000	100,000	700	ISO 8

1. ábra Az US FED STD 209E által meghatározott tisztasági osztályok [5]

ISO 14644

Jelenleg az ISO 14644 a tisztaterekre vonatkozó, világszerte elterjedt szabvány. Alapelvét tekintve hasonlít az US FED STD 209E szabványra, hiszen az egyes kategóriák ebben az esetben is egységnyi levegő térfogatra jutó részecskeszám alapján vannak meghatározva. Abban azonban eltér elődjétől, hogy angolszász mértékegység helyett metrikus mértékegységet használ a térfogat definiálására.

A szabvány az egységnyi részecskeszám alapján ISO 1 és ISO 9 közötti osztályokat különböztet meg, előbbi esetén kell a legszigorúbb, utóbbi esetén pedig a legenyhébb követelményeknek megfelelni. Ezeket részletezi a **2. ábra**, összevetve az US FED STD 209E szabványban meghatározott kategóriákkal. [5] [6]

Tisztasági osztály	maximum részecske/m ³ ^a						FED STD 209E megfelelője
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 1	10 ^b	d	d	d	d	e	
ISO 2	100	24 ^b	10 ^b	d	d	e	
ISO 3	1,000	237	102	35 ^b	d	e	1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83 ^b	e	10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	d,e	100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	1,000
ISO 7	c	c	c	352,000	83,200	2,930	10,000
ISO 8	c	c	c	3,520,000	832,000	29,300	100,000
ISO 9	c	c	c	35,200,000	8,320,000	293,000	Room air

^a Az alábbi koncentrációk kumulatív mennyiségek, azaz egy tisztasági kategóriában a megengedett maximális mennyiségek egy adott méretű, vagy annál kisebb összes részecskére vonatkoznak.

^b Ezen értékek ellenőrzésekor a mintavételezéshez igen nagy levegőtérfogat vizsgálatára lehet szükség, melyekre a szabvány külön ajánlásokat tesz.

^c Ezen értéket az adott tisztasági osztályban nem specifikálják, ugyanis az igen nagy koncentrációértékek miatt a határértéknek nem lenne jelentősége.

^d Az ilyen kicsi koncentrációk mérése a technikai nehézségek miatt nem praktikus, így ezen értékeket a szabvány nem specifikálja.

^e Az 1 μm-nél nagyobb részecskék kis koncentrációjának mérése problémákba ütközik, mert a mérőberendezés maga is elnyel belőlük egy nehezen kontrollálható hányadot. Emiatt ezen értékeket nem specifikálják.

2. ábra Az ISO 14644 által definiált tisztasági kategóriák [5] [6]

GMP-EU

Létezik azonban az eddig említetteknel is szigorúbb útmutató, ez a GMP-EU. Ez az irányelv külön vizsgálja az üzemén kívüli és a működésben lévő tisztatereket, tehát a gyártási gyakorlat során használt módszerek és eljárások alkalmazása mellett vizsgálja a tisztatér állapotát. Ezt ábrázolja a 3. ábrán látható csoportosítás.

Tisztasági osztály	maximum részecske/m ³			
	Nyugalomban		Működésben	
	0.5 μm	5 μm	0.5 μm	5 μm
Grade A	3,520	20	3,520	20
Grade B	3,520	29	352,000	2,900
Grade C	352,000	2,900	3,520,000	29,000
Grade D	3,520,000	29,000	Nincs megadva	Nincs megadva

3. ábra A GMP-EU által definiált tisztasági követelményrendszer [5] [7]

A követelményrendszer a termékek tisztaságára, csomagolására és összetevőire is határoz meg előírásokat, így biztosítva azok eredeti minőségének hosszútávú megőrzését. Bár nem hivatalos szabványról van szó, alkalmazása a gyógyszeriparban (főleg az Európai Unióban) rendkívül elterjedt. Így a továbbiakban ezt a módszert kívánom részletezni. [5] [7]

A gyógyszerek helyes gyártási gyakorlatának (GMP) elvei és iránymutatásai szempontjából megkülönböztetünk emberi, illetve állatgyógyászati felhasználású gyógyszereket. Az előbbire vonatkozó követelmények a 2003/94/EK Irányelvben, míg az utóbbira vonatkozóak a 91/412/EEK Irányelvben találhatók. [8] [9]

Az Európai Unió Gyógyszerszabályozási Előírásainak létezik külön a gyógyszergyárak helyiségeire és berendezéseire vonatkozó fejezete. Az alapelv az, hogy a helyiségek és berendezések kialakítása, elhelyezése és fenntartása megfelelően ki tudja szolgálni a végrehajtandó folyamatokat és műveleteket. Emellett fontos szempont a hibák kockázatának minimalizálása, illetve a hatékony tisztítás és karbantartás lehetővé tétele. A gyógyszergyártó üzemekben meg kell akadályozni továbbá a keresztszennyeződés kialakulását, a por és a kosz felgyülemelését és általánosságban minden olyan esemény létrejöttét, ami a termékminőséget hátrányosan befolyásolhatja. [8]

Fontos, hogy a belső hőmérsékletnek, a páratartalomnak, a megvilágításnak és a légkezelésnek sem közvetlenül, sem közvetve ne legyen negatív hatása az előállított készítményekre és a berendezések helyes működésére. A helyiségek kialakításánál ügyelni kell arra, hogy maximális védelmet biztosítsanak a rovarok vagy egyéb kártevők behatolása ellen. Ezen felül a gyártási, raktározási és minőség-ellenőrzési területek nem használhatóak közlekedési útvonalként a nem ezeken a területeken dolgozók számára. [8]

Gyártási területek

A keresztszennyeződés elkerülése érdekében a tisztatereket zsilipekkel választják el a többi helyiségtől. A nyílászárók kialakításánál figyelni kell arra, hogy a védett tér közvetlenül ne legyen nyitható a környezete felé. Így a tisztatér zsilip felé, illetve a zsilip nem védett tér felé nyíló ajtaja egyidejűleg nem lehet nyitva. Amennyiben egy készítmény kockázatot jelent, annak mértékétől függően szükséges lehet a helyiségek és berendezések dedikálása a gyártási és/vagy csomagolási műveletekhez. A gyártóhelyiségeket egymáshoz képest úgy kell kialakítani, hogy azok a gyártás során alkalmazott műveleti sorrend mellett a megkövetelt tisztasági szintekre vonatkozó logikai sorrendnek is megfeleljenek. [8] [9] [10]

Ahol alap- és csomagolóanyagok, illetve gyártásközi termékek a környezettel érintkeznek, ott teljesen sima, repedésektől és rossz illesztésektől mentes belső felületeket kell biztosítani.

Lehetővé kell tenni továbbá ezek könnyű és hatékony tisztítását. A csőhálózat, a lámpatestek, a szellőzőnyílások és az egyéb szolgáltató rendszerek elhelyezésénél is törekedni kell a nehezen tisztítható helyek kialakulásának elkerülésére. Az említett berendezéseknek a lehetőségekhez mérten a gyártóterületen kívülről is hozzáférhetőnek kell lenniük a karbantartásokhoz. [8] [9]

A csatornáknak biztosítaniuk kell a megfelelő bűzelzárást, így a nyitott csatornák alkalmazását, amennyiben lehetséges, mellőzni kell. Abban az esetben, ha kiépítésük mégis szükséges, akkor a könnyű tisztítás és fertőtlenítés érdekében sekély kialakításúnak kell lenniük. A helyiségek szellőztetése során tekintettel kell lenni továbbá az ott kezelt termékekre, a kivitelezett műveletekre és a külső környezetre is. [8] [9]

Raktárterületek

A helyes raktározási körülmények biztosítása érdekében a raktárhelyiségeknek különösen tisztának és száraznak kell lenniük, illetve a megengedett hőmérsékleti és levegőnedvességi határok között kell tartani őket. Az úgynevezett bevételezési és kiadási öblöknek védelmet kell nyújtaniuk az anyagok és termékek számára az időjárás viszonyaitól szemben. Emellett a valamilyen okból visszahívott vagy visszaküldött anyagok számára elkülönített területeket kell biztosítani. Fontos továbbá, hogy a magas aktivitású anyagokat és termékeket biztonságos, megfelelően őrzött területeken kell tárolni. [8] [9]

Minőség-ellenőrzési területek

A minőség-ellenőrző laboratóriumokat és a gyártási területeket el kell választani egymástól. Az ellenőrző laboratóriumokat úgy kell kialakítani, hogy megfeleljenek az ott végzendő folyamatoknak, illetve elegendő helyet kell biztosítani az összekeveredések és a keresztszennyeződések megakadályozására. A műveletekhez használt érzékeny eszközök vibrációtól, elektromos interferenciától, párától való védelme érdekében igény lehet teljesen elkülönített területek létrehozására is. A különleges anyagokkal (pl. biológiai vagy radioaktív minták) foglalkozó laboratóriumokra speciális követelményrendszer vonatkozik. [8] [9]

Kiegészítő területek

A pihenő és étkezési funkcióval rendelkező területeket el kell választani a többi üzemi területtől, így azokra külön helyiségként tekintünk. A mellékhelyiségek nem nyílhatnak közvetlenül a gyártási vagy raktárterületekre, továbbá a karbantartó műhelyeket is a lehető legjobban el kell különíteni a gyártási területektől. Amennyiben a gyártási területeken mégis elengedhetetlen a különböző alkatrészek és eszközök tárolása, akkor erre a célra külön helyiségeket kell létrehozni vagy zárható szekrényeket kell biztosítani. [8] [9]

1.3 A gyógyszergyár külső környezete

Virtuális körbevezetés

Dolgozatom keretein belül egy gödöllői gyógyszergyár négyszintes, alapincézett épületét vizsgálom. A megközelítőleg 32000 lakost számláló Gödöllő Budapesttől keletre helyezkedik el. Jelentőségét a fővároshoz való közelsége mellett a természeti adottságainak, illetve a gazdasági és az infrastrukturális fejlettségének is köszönheti. A kiemelkedő ipari jelenlét mellett a település oktatási és kulturális szerepe is meghatározó, ezzel is növelve vonzerejét. [11]

A település meteorológiailag mérsékelt meleg-száraz területnek tekinthető, 9,7-10,0 [°C] közötti várható évi középhőmérséklettel. Sokévi átlagok alapján a nyári maximum hőmérséklet 32,5-33,0 [°C], a téli minimum hőmérséklet pedig -16 [°C]. A fagymentes időszak hossza körülbelül 190-195 nap, míg az évi csapadékmennyiség megközelítőleg 540-580 [mm]. A hótakarós napok száma 36-40 közé tehető, nagyjából 22 [mm]-es átlagos maximális hóvastagsággal. A térségben uralkodó és egyben a legerősebb szélirány az ÉNY-i, az átlagos szélesség értéke körülbelül 3 [m/s]. [12]

A város levegőminőségének elemzésére mérőpont hiányában nem állnak rendelkezésre konkrét mérési adatok, ennek ellenére Gödöllő levegőminősége általánosságban jónak tekinthető. Ez köszönhető a terület jó geográfiai viszonyainak (44%-os erdősültség), illetve annak, hogy a településen nem találhatók nagy ipari szennyezőforrások. A levegő minőségét károsan befolyásoló főbb tényezők a közlekedés és a lakosság szezonális fűtési emissziója. [12]

A közműhálózatok jelentősége a gyógyszergyárak esetében

Egy gyógyszergyár esetében kiemelt fontosságú a zavartalan és folyamatos működés biztosítása, bármilyen körülmény fennállása esetén. Általánosan elmondható, hogy ezt a célt szolgálhatja a közművektől való függetlenedés is. Ennek érdekében a vízellátó hálózatokra való csatlakozás helyett kedvezőbb lehet mélyfúrású kutak létesítése. Ezzel szemben a vízelvezetést célszerű lehet a közműhálózatok segítségével megvalósítani. Ennek feltétele, hogy a gyógyszergyárakból távozó vizet az ott előforduló vegyi anyagoktól és szennyeződésektől meg kell tisztítani. [12] [13]

A szükséges villamos- és hőenergia biztosítása ennél jóval komplexebb kérdéskör. Általánosságban megfogalmazható, hogy egy állandóan üzemben lévő ipari létesítménynek előnyös lehet többféle energiahordozóra támaszkodnia. A villamosenergia folyamatos rendelkezésre állásának érdekében célszerű lehet több betáplálási pont kialakítása a szolgáltató hálózatokra. Mivel napjainkban a legtöbb esetben a meleg- és hidegenergia előállításához is

szükség van villamosenergiára, így ennek biztosítása megkerülhetetlen. Bár a fosszilis energiahordozók folyamatos kivezetése és az energiaválság miatt a földgáz népszerűsége csökkent, kazánok és gázmotorok alkalmazásával fűtésre és villamosenergia termelésre is alkalmazható. Amennyiben rendelkezésre áll, a szükséges hőenergia biztosításának egy másik alternatívája lehet a távhőszolgáltatás igénybevétele is.

Az energiaellátás szempontjából kedvezőbb lehet azonban a megújuló energiaforrások maradéktalan kihasználása. Ezt támasztja alá az Európai Unió Tanácsának azon célja, hogy 2030-ra az EU teljes energiafogyasztásának 42,5%-át megújuló energia fedezzen. Ezek közül magyarországi viszonylatban a szél- és vízenergia kevésbé, a geotermikus és napenergia viszont annál inkább rendelkezésre állhat. Előbbi kitermelésére számos különböző technológia létezik. Ezt a rendelkezésre álló terület nagysága és annak geológiai adottságai mellett az elérni kívánt földhőmérséklet, ezáltal pedig a fűrés mélysége határozza meg. A napenergia hasznosításának két leggyakrabban alkalmazott formája a napelemek, illetve a napkollektorok telepítése. Előbbivel a kinyert energiát villamos energia, utóbbival pedig hőenergia formájában tudjuk hasznosítani. [14]

1.4. A meglévő hűtési rendszer bemutatása

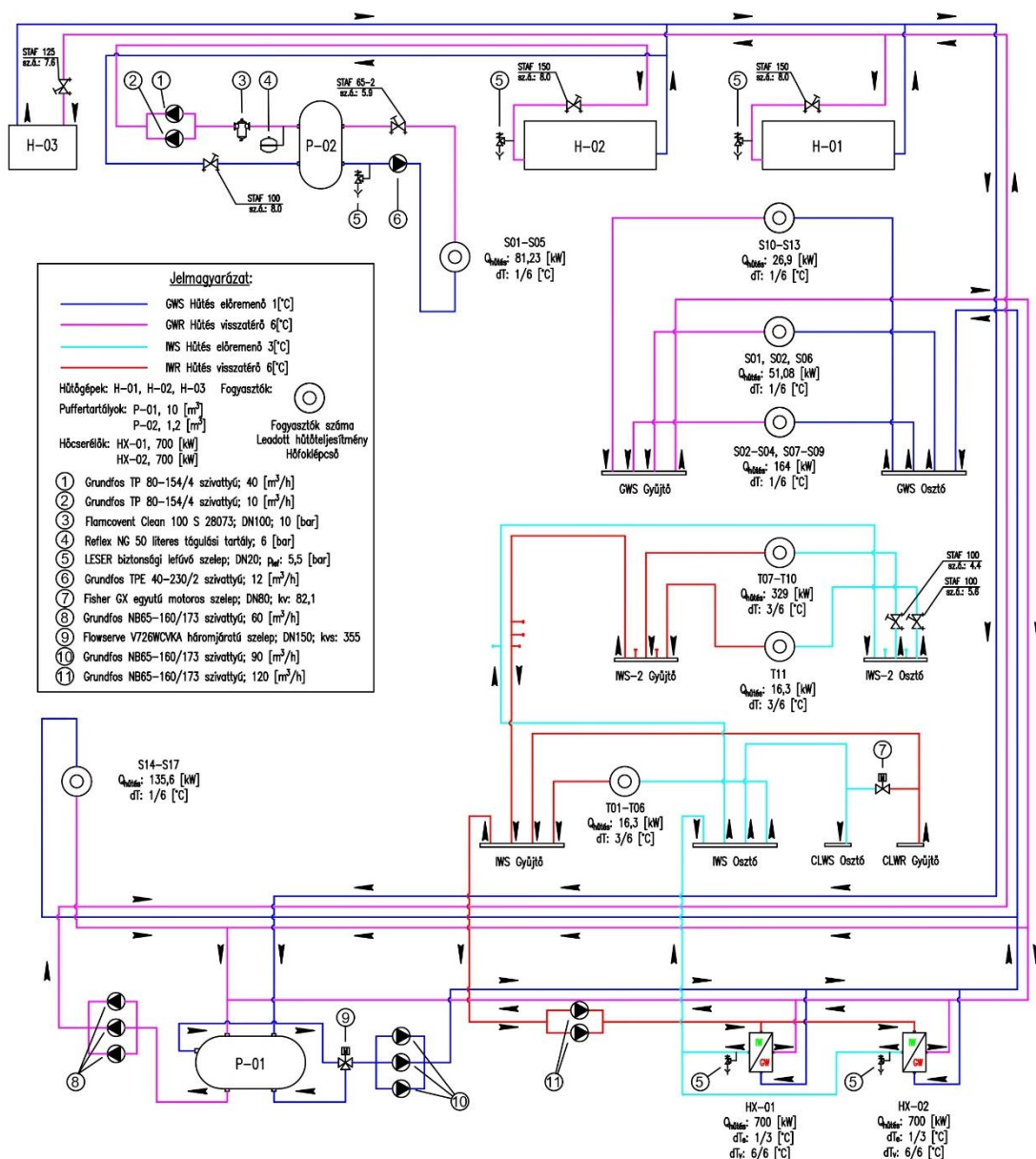
A gyógyszergyár hidegenergia-igényét három, a 3. emelet külterében elhelyezett hűtőgépek biztosítják. A készülékek kaszkád kapcsolásba vannak kötve, így egymástól függetlenül is üzemeltethetők. A létesítmény a keringtetett hűtött közeg szempontjából két részre bontható: az egyikben 1/6 [°C] hőfoklépcsőjű, 35 [%] glikol koncentrációjú víz, míg a másikban 3/6 [°C] hőfoklépcsőjű hidegvíz található. Ennek következtében a hálózat két folyadékterű rendszernek tekinthető. Az említett köröket két darab, egyenként 700 [kW] teljesítményű hőcserélő választja el egymástól.

A rendszer alapvető jellemzője a sűrű szakaszoltság, mely pillangószelepek és gömbcsapok segítségével valósul meg. Ahol szükséges, ott véletlen elzárás ellen védett szerelvények kerültek beépítésre. Ennek köszönhetően az esetlegesen felmerülő problémák könnyebben kezelhetők, mely nagy jelentőséggel bírhat egy folyamatosan termelő gyógyszergyár esetében. A rendszer megfelelő üzemelésének ellenőrzése érdekében áramlásőrök, nyomásmérő órák, hőmérsékletmérők és hőmennyiségmérők is beépítésre kerültek. Ezeket főleg a hűtőgépek, a puffertárolók, szivattyúk, az osztók és gyűjtők, valamint a hőleadó berendezések közelében találhatjuk meg.

A jelentősebb rezgéssel üzemelő szerelvények esetében gumikompenzátorok felelősek a nem kívánt hanghatások csillapításáért. A hálózat megfelelő beszabályozásáról STAF és STAD

szelepek, szabályozásáról pedig egy- és kétutú motoros szelepek gondoskodnak. A hálózat magaspontjain automata légtelenítők kerültek beépítésre, melyek a hálózatba jutott levegő kivezetésére szolgálnak. Ez egyaránt biztosítja a rendszer korrózió elleni védelmét és a hatékonyabb üzemeltetést is biztosítja.

A könnyebb áttekinthetőség érdekében a **6. ábrán** illusztráltam a gyógyszergyár hűtéstechikai rendszerének elvi kapcsolását.



4. ábra A gyógyszergyár hűtéstechikai rendszerének egyszerűsített elvi kapcsolása

Glikolos primer kör

A H-01, H-02 és H-03 hűtőgépek együttesen táplálnak be a -1. szinten található, 10 [m³] térfogatú P-01 puffertárolóba. Ez a rendszerelem látható az **5. ábrán**. Az eredeti rendszer az általam vizsgált háromféle megoldás közül a hidegvizes hidegenergia-tárolás elvét alkalmazza.



5. ábra A helyettesíteni kívánt P-01 puffertároló

A három darab, egyenként 90 [m³/h] névleges térfogatáramú szivattyú párhuzamosan van a hálózatba építve, így az általuk szállított térfogatáramok összeadódnak. A rendszer elemeinek szennyeződésektől való védelme érdekében a hűtőgépeknél és a szivattyúk szívott oldalán szennyfogó szűrők találhatóak. Ezen felül a közeg káros visszaáramlásának megakadályozása céljából a szivattyúk nyomott oldalán visszacsapó szelepek kerültek beépítésre. A P-01 pufferből a hűtőgépek irányába visszatérő szakasz esetén hasonló megoldás került alkalmazásra: három darab párhuzamosan kapcsolt, egyenként 60 [m³/h] névleges térfogatáramú szivattyú biztosítja a közeg áramlását. A szivattyúk nyomott szakaszain ebben az esetben is visszacsapó szelepek lettek beépítve.



6. ábra *A párhuzamosan kapcsolt szivattyúk*

A puffertartály előremenő szakaszában lévő szivattyúkat követően a hűtött közeg egy része a párhuzamosan kapcsolt HX-01 és HX-02 hőcserélők irányába ágazik el. Mivel az említett rendszer elemek rendkívül érzékenyek, így a szennyeződések leválasztása érdekében előttük szennyfogó szűrők találhatók. Az elágazás után a glikolos szakasz egyik része a -1. szinten található végtermék tároló helyiségek, illetve hűtött szobák és a hulladéktároló irányába áramlik. Az itt található S14-S21 látszólagos fogyasztók együttesen 135,6 [kW] hűtőteljesítményt szolgáltatnak.

A glikolos szakasz másik része a 2. szinten található GWS osztó, illetve GWS gyűjtő felé áramlik. A GWS osztóból 3 kör indul. Ezek közül az első a 2. szinten található S01, S02, S06 fogyasztók energiaellátását biztosítja, melyhez 51,08 [kW] teljesítmény szükséges. A következő kör a 2. szinten található S02-S04, S07, illetve a 3. szinten található S07-S09 hőleadókat szolgálja ki, melyek együttes teljesítménye 134 [kW]. Végül a harmadik kör a 3. szinten található, S10-S13 fogyasztók teljesítményigényét fedezi, mely 26,9 [kW] nagyságú. Ezen látszólagos fogyasztók mindegyike technológia hűtést szolgál ki.

A H-02 hűtőgép a korábban említett szakaszokon kívül a 3. szinten található, 1,2 [m³] térfogatú P-02 négycsöves puffertárolót is betáplálja. Ez a 2. szinten található S01-S05, együttesen 81,23 [kW] teljesítményigényű látszólagos fogyasztók tartalék hűtését biztosítja. A puffer előremenő szakaszában egy 12 [m³/h] térfogatáramú, míg a visszatérő részében párhuzamosan kapcsolva egy 40 [m³/h] és egy 10 [m³/h] térfogatáramú szivattyú került beépítésre. Előbbit egy 5,5 [bar] lefűtési nyomású biztonsági lefűtő szelep, utóbbiakat pedig egy 50 literes tágulási tartály és egy iszapleválasztó szerelvény előzi meg. Mind az előremenő, mind a visszatérő kör szivattyúinak nyomott oldalán visszacsapó szelepek kerültek beépítésre a visszaáramlás megakadályozása érdekében.

Hidegvizes szekunder kör

A 3/6 [°C] hőfoklépcsőjű hidegvizes kör a párhuzamosan kapcsolt HX-01 és HX-02 hőcserélőktől indul. A hőcserélőket követően az előremenő szakaszban mindkét esetben megtalálható egy 5,5 [bar] lefűtési nyomású biztonsági lefűtő szelep. A két szakasz egyesülése után a közeg a -1. szinten található IWS osztó, illetve IWS gyűjtő felé áramlik. Megemlítendő továbbá, hogy az IWS gyűjtő felől a hőcserélők irányába visszatérő szakaszon két darab, egyenként 120 [m³/h] térfogatáramú szivattyú van párhuzamosan kapcsolva. Mindkét szerelvény esetében beépítésre kerültek szennyfogó szűrők a szívott, illetve visszacsapó szelepek a nyomott szakaszon.

Az IWS osztóból 3 kör indul ki. Ezek közül az első a 2. szinten található IWS-2 osztóba, illetve IWS-2 gyűjtőbe csatlakozik, számukra együttesen 345,3 [kW] hűtőteljesítményt biztosítva. A következő kör a 0. szinten található CLWS osztó és CLWR gyűjtő felé irányul, melyekre jelenleg nincs semmilyen hőleadó hálózat csatlakoztatva. A harmadik kör a -1. szinten lévő T01-T06 látszólagos fogyasztók 1610 [kW] nagyságú, technológia célt biztosító teljesítményigényét fedezi.

Az előző bekezdésben említett IWS-2 osztóból két, szintén technológiát kiszolgáló kör indul ki. Az első kör a 2. szinten található T07-T10 fogyasztók hidegenergia-ellátását biztosítja, melyhez 329 [kW] teljesítmény szükséges. A második kör pedig az 1. szinten található T11 fogyasztó 16,3 [kW] nagyságú hűtőteljesítményét szolgáltatja.

Összegzés, üzemeltetési tapasztalatok

A könnyebb áttekinthetőség érdekében a két folyadéktérre vonatkozó főbb paramétereket az **1. táblázatban** összegeztem.

1. táblázat *A glikolos és hidegvizes folyadékterek főbb jellemzői*

<i>A folyadékterek jellemzői</i>	<i>Primer kör</i>	<i>Szekunder kör</i>
<i>Hőfoklépcső</i>	1/6°C	3/6°C
<i>Ismert fogyasztók</i>	S01-S21	T01-T11
<i>Teljes hűtő-teljesítményigény</i>	266,35 kW	1955,3 kW
<i>Tartalék hűtőteljesítmény-igény</i>	81,23 kW	-

Ahogy a fenti táblázatban látható, külön kívánom kezelni a P-02 puffertárolón át az S01-S05 látszólagos fogyasztók számára biztosított tartalék hűtési kört. Mivel a tartalék hűtés csak karbantartás, meghibásodás vagy egyéb vészhelyzetek esetén működik, így ennek megvizsgálása nem releváns a folyamatos üzemelésre vonatkozó számításoknál. Ennek következtében a dolgozatomban csak a P-01 puffertároló kiváltásának lehetőségét vizsgálom.

A hűtőgépeknek az így fennmaradó, együttesen 2221,65 [kW] teljesítményigényt kell fedezniük. A kapott érték már magába foglalja a levegő szárítására fordítandó hűtési teljesítményt is. Megemlítendő, hogy ipari létesítmények esetén a legtöbb esetben ismertek és előre meghatározottak a fogyasztók üzemeltetési szokásai. Az épületgépészeti rendszerek felesleges túlméretezése érdekében érdemes lehet figyelembe venni az ezekből meghatározható egyidejűségi tényezőket.

A fenti paramétereket összegezve, az üzemeltetői tapasztalatok alapján a hűtőgépek együttesen 430-650 [kW] közötti előállított teljesítmény mellett tudják fedezni a rendszer hidegenergia-igényét. Az előállított hidegenergia mennyiségét befolyásolja továbbá a közeghez hozzáadott fagyálló mennyisége, azonban a kapott érték már tartalmazza az erre vonatkozó korrekciót is. A fenti teljesítmény-érték alapján a gyógyszergyár becsült egyidejűségi tényezője 0,145-0,215 közé tehető.

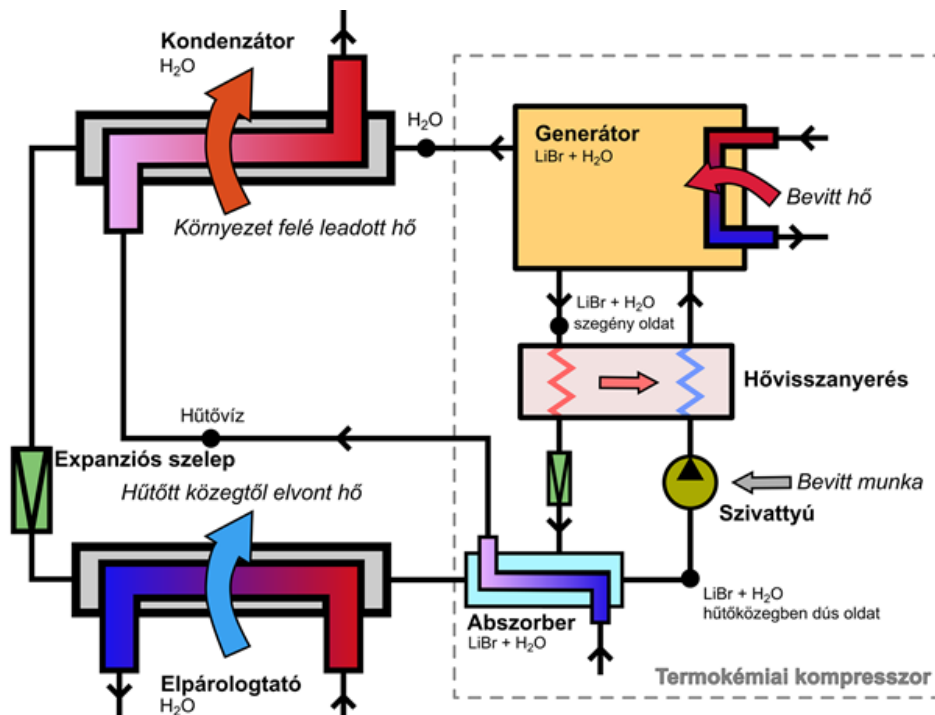
2 Elméleti háttér

2.1 A hidegenergia-termelés lehetőségei

2.1.1 Az abszorpciós hűtés

Az épületek hidegenergia-igényének fedezéséhez különböző működési elveken alapuló hűtőgépek állnak rendelkezésünkre. Egyike ezeknek az abszorpciós hűtőgépek, melyeket termikus kompresszorral működtetnek külső hőenergia bevezetése mellett. A termikus kompresszor egy olyan gépészeti berendezés, mellyel a gáz halmazállapotú hűtőközeget először elnyeletjük egy folyékony halmazállapotú oldószerben (közvetítőközeg), majd a bevezetett külső hőenergia segítségével kiűzzük azt. Ennek megfelelően a berendezések hűtőközeg szerinti osztályozásakor anyagpárokat vizsgálunk, hiszen a gép egyes elemein kétkomponensű közeg áramlik át. A két leggyakrabban alkalmazott hűtőközeg-közvetítőközeg pár az $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, illetve a $\text{H}_2\text{O-LiBr}$. [15] [16]

Az abszorpciós hűtőgépek fő sajátossága, hogy a gőzt szállító, mechanikai munka bevitelén alapuló kompresszor helyett egy többkomponensű berendezéscsoportot alkalmaznak. Ennek köszönhetően az adott hűtőközeg az elpárolgási nyomásról a kondenzációs nyomásra, ezzel együtt a megfelelő elpárolgási és kondenzációs hőmérsékletre kerül. Működésüket részletesebben a 7. ábra mutatja be. [15]



7. ábra Az abszorpciós hűtőberendezések működési elve¹

¹ <https://m.blog.hu/en/energiam/image/4.png>

A munkaközeg sűrítését az elpárolgató után a termokémiai kompresszor végzi. Ez úgy történik, hogy az elpárolgatót elhagyó hűtőközeg először az abszorberbe (oldó) kerül, ahol az úgynevezett szegényoldatban elnyelődik. Ez a folyamat egy exoterm reakció, tehát hőfelszabadulással jár. Mivel az abszorbeálódott hűtőközeg mennyisége és a közegek hőmérséklete fordítottan arányos, az abszorbert hűteni kell. [15]

Az elnyelődés után a szegényoldat egy folyékony gazdagoldattá válik, melyet egy szivattyú szállít tovább a generátorba. Itt a fűtőközeg hőleadásának hatására az oldat egy része elpárolog. A generátort elhagyó tömény oldat egy szeparációs berendezésre kerül (pl. rektifikáló oszlop), ahol szétválasztódik egymástól a hűtőközeg, illetve a hűtőközegben szegény, kétkomponensű oldat. [15]

Ezt követően a hűtőközeg gáz a kondenzátor felé távozik, ahol megtörténik a hőleadás. A hűtőközeg útja a kondenzátortól az elpárolgatóig azonos a mechanikus kompresszoros gépekben lévő hűtőközeg útjával. A kétkomponensű oldat egy expanziós szelepen keresztül tér vissza az abszorberbe. Figyelembe véve, hogy a generátorban található közeg hőmérséklete nagyobb, mint a visszavezetésre kerülő oldat hőmérséklete, a visszavezetés során egy hővisszanyerő hőcserélő is alkalmazható. Ezen áthaladva a hűtőközegben szegény oldat átadja a hőtartalmát az abszorbert elhagyó tömény oldatnak, ezzel előmelegítve azt. [15]

Az abszorpciós hűtőberendezések alkalmazása leginkább nagy teljesítmények esetén térül meg, illetve olyan területeken, ahol egész éves hűtési igény áll fenn. Ezek közé sorolhatóak különböző ipari felhasználások, ahol a gyártósorok specifikus folyamatai nem igényelnek kifejezetten alacsony hőmérsékletű hűtött közeget, ellenben nagy hűtőteljesítményre van szükségük. Ezen rendszerek fő előnye, hogy elektromos áram nélkül, hőenergiával is üzemeltethetők, tehát árammentes helyeken is alkalmazhatóak. Mivel mozgó alkatrész nélkül működnek, a meghibásodási esélyük kicsi, illetve ezek hiányában képesek hangtalanul működni. [15] [16]

Alkalmazásukat nagyban meghatározza a bevezetett külső hőenergia forrása. Amennyiben rendelkezésre áll, kedvező lehet valamilyen helyben keletkező hulladékhő felhasználása. A megújuló energiaforrások közül megfelelő lehet a geotermikus energia, illetve a napenergia használata is, azonban az ezeket feldolgozó rendszerek kiépítése tovább növeli a kezdeti költségeket. Lehetőség van földgázzal történő működtetésre is, ez azonban a jelenlegi energiaválság helyzetét tekintve a jövőre nézve kiszámíthatatlan megoldás. A szükséges hőenergia biztosítható továbbá elektromos fűtőbetétekkel, petróleummal vagy akár kerozinlánggal is, de ezek felhasználása ritka. [17] [18]

Az abszorpciós hűtőberendezések bekerülési költségei jelentősen magasabbak, mint a kompresszoros hűtőgépeké. A lakossági felhasználás szempontjából nagy hátrányuk, hogy bizonyos esetekben az üzemi paraméterek kevésbé flexibilisen megválaszthatóak. Negatívumként megemlítendő, hogy az abszorberek nagyobb méretűek és súlyúak, mint az azonos kapacitású elektromos hűtőberendezések, továbbá az is, hogy a hűtőközegük mérgező. [17]

A megfelelő hűtőgép kiválasztása szempontjából meghatározó tényezők, hogy az inaktivitás, illetve a túlmelegedés kedvezőtlen hatással bír az abszorpciós hűtőberendezésekre. Ha nem használjuk őket, akkor a hűtőközeg víztartalma kikezdheti a csövek falát, amik így elrozsdásodhatnak. Ezt követően a leváló rozsdadarabok duguláshoz, a keringés megszűnéséhez vezethetnek. Ugyan a hűtőközegbe szoktak rozsdásodást gátló adalékanyagokat tölteni, ezek azonban csak akkor működnek megfelelően, ha a gép üzemel és rendszeren el tudnak keveredni. Abban az esetben, ha a hűtőgép üzem közben túlmelegszik (ennek oka lehet az is, ha túl meleg helyen akarjuk használni), a rozsdásodást gátló adalékanyag kikristályosodhat, ami egy visszafordíthatatlan folyamat és szintén dugulást válthat ki. [17]

2.1.2 A kompresszoros hűtés

Az épületek hűtésének egy másik, elterjedtebb alternatívája a kompressziós hűtőgépekkel történik. Ezt használják leggyakrabban a háztartási hűtőgépekben, hűtőházakban, az épületek és gépkocsik légkondicionáló berendezéseiben. Kereskedelmi és ipari célokra szintén alkalmazhatóak. Az alábbiakban ismertetni szeretném a kompresszoros hűtők működését, üzemeltetésük előnyeit, esetleges hátrányait. A kompressziós hűtőgépek működését egy négy részből álló hűtőkörfolyamat írja le. Ennek az a lényege, hogy zárt rendszerben cirkuláltatjuk a hűtőközeget, mely hőt von el a hűtendő térből és más helyen adja le azt. [19] [20]

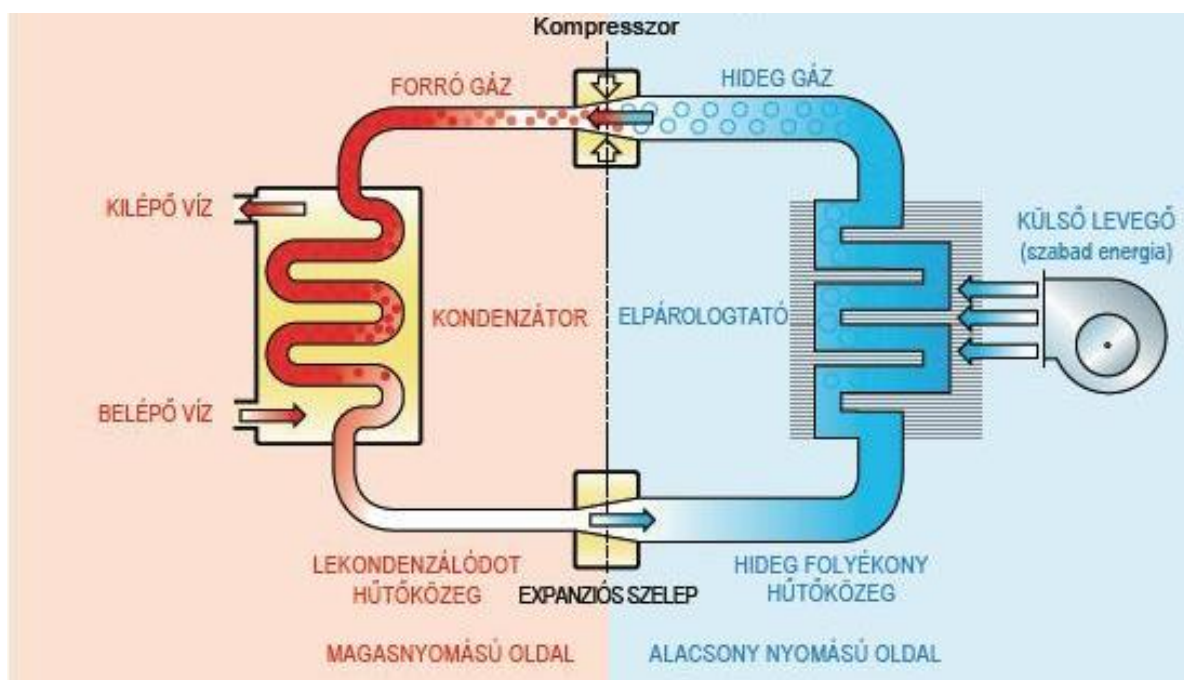
A hűtőközeg gőz halmazállapotban lép be a kompresszorba, ekkor a hőmérséklete alacsony. A kompresszor egy dugattyú segítségével képes a beérkező gőzt sűríteni, azaz a térfogatát csökkenteni. Ezáltal a hűtőközeg hőmérséklete megemelkedik, majd az így keletkezett nagy nyomású, túlhevített gőz tovább áramlik a nyomóvezetékben a kondenzátor irányába. A kompresszor működéséhez energiabefektetés szükséges, mely elektromos áram segítségével történik. Ennek nagy része hőenergia, illetve nyomási energia formájában hasznosul. [20] [21]

A kondenzátor egy nagy felülettel rendelkező speciális hőcserélő, amely egy vagy több csőígyóból, vagy több párhuzamos csőből áll. Ezeken vezetik keresztül a kezdetben magas nyomású és hőmérsékletű gőzt, miközben azt hűtőlevegővel vagy hűtővízzel lehűtik és lecsapatják. Ennek következtében a hűtőközeg leadja a víznek vagy levegőnek a rendszertől

elvont hőt. Így egy alacsonyabb hőmérsékletű, de továbbra is magas nyomású folyadék áramlik tovább az expanziós szelep felé. Ezzel ér véget az úgynevezett magasnyomású oldal. [20] [22]

A lekondenzált közeget egy fojtáson vezetik keresztül. Ez lehet akár egy kis méretű furattal rendelkező csőszűkítő, kapilláriscső, illetve egy szabályozható fojtószelep is. A fojtás során adiabatikus állapotváltozás megy végbe: ekkor a folyékony hűtőközeg nyomása a szűk keresztmetszetnek köszönhetően hirtelen lecsökken, egy része elpárolog és a hűtendő tér hőmérsékleténél alacsonyabb hőmérsékletre hűl le. A folyamat végén a nedves gőz halmazállapotú, hideg hűtőközeg szabályozva áramlik az elpárolgató irányába. [20]

Az elpárolgató egy felületi hőcserélő, ami a cirkuláló hűtőközegnek átadja a hűtendő térből elvont hőt. A hőfelvétel kis nyomáson és alacsony hőmérsékleten valósul meg, majd később a kondenzátorban a külső környezet felé távozik. A hőcserélőben a még folyadékfázisú hűtőközeg teljesen elpárolog, ehhez pedig a hűtendő térből vonja el a szükséges hőt. A hűtőkörfolyamat lezárásaként az elpárolgatóból túlhevített gőz távozik és lép be újra a kompresszorba, lehetővé téve ezzel az egész körfolyamat ismétlődését. A fent részletezett teljes ciklust a **8. ábra** mutatja be. [20] [22]



8. ábra Rendszerelemek a kompresszoros hűtőkörfolyamatban²

A szakemberek egyre biztonságosabb és környezetkímélőbb hűtőközegeket fedeznek fel, melyek gyakorlatba helyezése folyamatosan zajlik. Jelenleg a leggyakrabban használt

²https://m.blog.hu/ot/otthon-melege/screen_shot_2017-12-07_at_12_40_32_pm.png

hűtőközegek a hidrokloro-fluorokarbonok (HCFC-k, például az R-22) és a hidrofluor-karbonok (HFC, mint például az R134a). Napjainkban már modernebbnek tekinthető hűtőközegek például a szub- és szuperkritikus szén-dioxid, melyek használata egyre népszerűbb. [20]

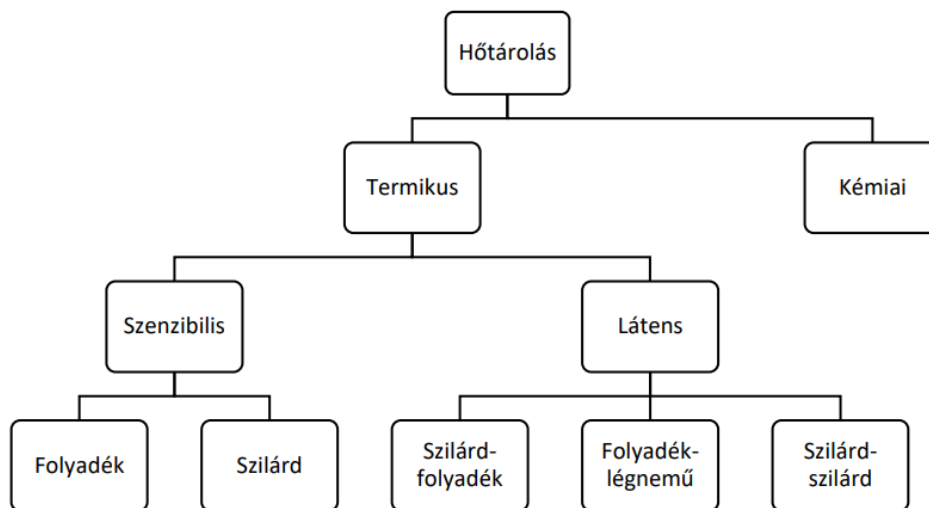
Az ilyen berendezések legnagyobb hátránya a kompresszor működéséből, a mozgó alkatrészekből adódó hanghatások. Erre ügyelve azonban a gyártók gyakran készítenek csökkentett zajszintű változatokat is, ideálisabbá téve ezzel az eszközöket a lakossági felhasználásra. Negatívumként megemlítendő, hogy az abszorpciós hűtőgépekkel ellentétben a működésükhöz feltétlenül szükség van elektromos áramra. Ez azonban manapság, főleg a lakossági felhasználásokra alkalmas formában szinte mindenhol elérhetővé vált. [17]

A kompresszoros készülékek egyik legérzékenyebb részegysége maga a kompresszor. Élettartamának növelése érdekében érdemes betartani a gyártók által előre megadott maximális óránkénti kapcsolási számot. Ennek köszönhetően tud a berendezés két üzemelési ciklus között kellőképpen visszahűlni, így kedvező ezt a lehetőségeket szerint minimalizálni. Ez a probléma, illetve a kibocsájtott zajszint zavaró hatásának kiküszöbölése azonban egyszerűen megoldható puffertárolók beépítésével. Ezek egyébként is ajánlottak az energiahatékonyság maximalizálásához, így nincs szükség többszöri befektetésre.

Előnyként kell megemlíteni, hogy a kompresszoros hűtőgépek beépítése költséghatékonyabb lehet az abszorpciós hűtőgépekhez képest. További működésük szintén gazdaságos. A gép egy vele megegyező teljesítményű abszorpciós egységhez képest kevesebb helyet igényel, mely szintén vonzó lehet a fogyasztók számára. Mivel a felhasznált hűtőközegek nem mérgező, használatuk környezetvédelmi szempontból is kedvező. Legfőbb előnyük a gyors reagálás és a pontos szabályozás lehetősége, melyek segítségével a mechanikus kompresszoros gépek könnyen tudják fedezni akár a hirtelen felmerülő csúcsigényeket is. [23] [17]

2.2 A szóba jöhető hidegenergia-tárolási módszerek

Napjainkban a felhasználói igények kielégítésén túl, az emberek általános célja az energia- és költségmegtakarítás. A kompressziós hűtőgépek hatékony működését biztosító környezeti levegő rendelkezésre állása és az épületek hidegenergia-igénye között azonban időbeli eltérés van. Az energiatermelés hatékonysága akkor növelhető, ha a hőterhelés egy része a csúcsidezőszakon kívüli időszakra áttolható. Ez a hidegenergia tárolásával érhető el, melynek formáit a **9. ábra** szemlélteti. [3]



9. ábra A hőtárolás leggyakrabban alkalmazott formái [24]

Energetikai szempontból így célszerű lehet egy puffertartály beépítése a rendszerbe, mellyel kikapcsolt hűtőgép esetén is biztonságosan kiszolgálható az éppen aktuális hűtési energiaigény. A beépített tároló segítségével elkerülhető lehet továbbá a hűtött közeg hőmérsékletének nagyobb mértékű ingadozása, illetve a nem várt hidegenergia-igények is egyszerűen kielégíthetővé válhatnak. A betárolt hidegenergia lehetővé teheti a kompresszor üzemidejének és kapcsolási számának csökkenését, ami rendkívül fontos ezen egység élettartamának növelése érdekében.

Hidegenergia tárolása a szenzibilis hőtartalom hasznosításával

A hőtárolás egyik, gyakran alkalmazott módja a szenzibilishő-tárolás. A szenzibilishő-tárolás egy szilárd vagy folyékony hőtároló anyag hőmérséklet-változásán alapszik. A szenzibilishő-tároló rendszerek főbb előnyei, hogy az alkalmazott hőtároló közegük többnyire olcsó, könnyen elérhető. Ezek közül a leggyakoribb a víz. Kivitelezésük más rendszerekhez képest egyszerű, működésük pedig könnyen szabályozható. [25]

Az ilyen rendszerek hátránya, hogy a velük elérhető energiasűrűség jelentősen alacsonyabb, mint a fázisváltozáson vagy kémiai reakciókon alapuló hőtárolási formák esetén. Ennek következtében ugyanakkora hőtároló kapacitáshoz nagyobb mennyiségű közeg, ezáltal nagyobb méretű tárolótartály szükséges. Amellett, hogy ez csökkenti a felhasználók számára rendelkezésre álló teret, többletköltséget is jelent. A tároló mérete azért is lényeges paraméter, mivel a tároló hővesztesége arányos annak felületével, így előfordulhat, hogy külön szigetelést igényel. [25]

A szenzibilis hőtároló rendszerek közül több megoldás még fejlesztési fázisban van. Egyike ezeknek a kavicságyas hőtárolás, mely olcsó megvalósíthatóságának köszönhetően, napenergia-hasznosítással kombinálva, egyre népszerűbb. Egy másik, modern módszere a szenzibilishő tárolásának a föld alatti hőtárolás, mely kedvező geológiai struktúra esetén lehet igazán előnyös. Ez a megoldás lehetővé teheti a nyári hő télen történő fűtésre, illetve a téli hűtőenergia nyáron történő hűtésre hasznosítását, így egy szezonális tárolási technológiának tekinthető. [18] [26]

Hőtárolás a kémiai hőtartalom hasznosításával

A kémiai hő tárolása felbontható szorpciós és termokémiai reakciókra. A szorpciós elven működő rendszerekben a hőt különböző anyagokban tárolják, a szorpciós anyagból felvett vízpára segítségével. A szorpciós anyag halmazállapotát tekintve lehet szilárd vagy folyékony, ennek megfelelően beszélünk adszorpcióról és abszorpcióról. Előnyük, hogy a hő tárolása magas energiasűrűséggel valósítható meg. [18] [27]

A termokémiai hőtárolás reverzibilis kémiai reakciókon alapszik. Működési elve, hogy hőt használnak a kémiai vegyületek komponensekre történő szétválasztására. Ezután a komponenseket gyakorlatilag hőveszteség nélkül tárolhatják addig, amíg az összetevők újra egyesülnek, ekkor kémiai reakció zajlik és hő keletkezik. Az ilyen rendszerek főbb előnye, hogy nagyon magas energiasűrűséget képesek biztosítani, illetve az, hogy a tárolási eljárásához kapcsolódó kémiai folyamatok jól szabályozhatóak. Hátrányuk azonban, hogy a hőtárolásra használható anyagok ára magas, illetve az, hogy a kis stabilitás miatt a megengedhető ciklusok száma korlátozott lehet. [18] [26] [27] [25] [24]

Hidegenergia tárolása a látenshő kihasználásával

Látenshőnek (rejtett hőnek) nevezzük az elnyelt vagy felszabaduló hőmennyiséget egy anyag állandó hőmérsékleten történő fázisváltozásakor. Ez az energiamennyiség többszöröse a szenzibilis hőnek, azaz az anyagok hőmérséklet-változásával arányos energiatartalomnak. A fázisváltozás nem feltétlenül jelent minden esetben halmazállapot-változást, létezik például szilárd-szilárd fázisátalakulás is (ilyen a vas allotróp átkristályosodása 911 [°C]-on). Így a látenshőben rejlő lehetőségek kutatása az úgynevezett fázisváltó anyagokkal (Phase Change Materials – PCM) történik. [24] [28]

A fázisváltó anyagok felhasználása az olvadáspontjuktól függ, ami kémiai módszerekkel széles skálán változtatható. A PCM-ek azokat az anyagokat tudják fűteni, melyek az olvadáspontjuknál hidegebbek; hűteni pedig azokat az anyagokat tudják, melyek az

olvadáspontjuknál melegebbek. Így a fázisváltó anyagokat olvadáspontjuk alapján hasznosíthatjuk: 25 [°C] alatt hűtési alkalmazásokra, hidegenergia tárolására; 25 [°C] felett fűtésre; 90 [°C] fölött abszorpciós hűtésre; 200 [°C] felett pedig naperőművekben. Megemlítendő, hogy a folyékonyból gázállapotba zajló fázisváltozás a gyakorlatban nem alkalmas hőtárolásra, mert a gázfázisban rendkívül nagy térfogattal vagy nyomással kellene számolni. [18] [24]

A PCM-ek legfőbb előnye, hogy a látenshőt felhasználva nagy energiasűrűséggel képesek a hőenergiát tárolni. Ennek következtében kisebb méretű hőtárolók beépítése is elegendő lehet, ami hely- és költséghatékonyságot jelent az emberek számára. Előnyként említendő meg, hogy a fázisváltó anyagok a hő tárolását szűk üzemi és tárolási hőmérséklet-tartományon teszik lehetővé, mely a hőingások csökkenését eredményezi. Rendkívül ígéretes technológiáról van szó, így manapság már széles körben alkalmazzák. [24]

A fázisváltó anyagok rendelkezhetnek azonban negatív tulajdonságokkal is. Ezek közé sorolható a gyúlékonyság, illetve a meglehetősen alacsony, időben változó hővezető képesség. Több ciklus után a PCM-ek fizikai és kémiai tulajdonságai is változhatnak (pl. sűrűségváltozás a fázisváltás és a hőtágulás következtében), tehát nem elég stabilak végtelen számú fázisváltáshoz. Számos egyéb kizáró feltétel is van bizonyos fázisváltó anyagok használatát illetően, melyeket fontos figyelembe venni. Ide tartozik például a fázis szegmentáció, a folyadék aláhűlés, a reaktivitás és a korrózióveszély. [24]

Egy ideálisnak mondható hőtároló anyag magas látenshővel és megfelelő hővezetési tényezővel rendelkezne. Az olvadás- és fagyáspontja a felhasználás szempontjából megfelelő hőmérsékleti tartományba esne, továbbá állandó olvadási tulajdonságokkal rendelkezne. Emellett az olcsó, nem mérgező, nem korrozív és nem gyúlékony jellemzőkkel rendelkezne. Ezek megvalósításának érdekében a PCM-ekhez különböző adalékanyagokat kevernek, melyekkel javíthatóak az anyagok egyes tulajdonságai. A technológia rohamos fejlődésének következtében ajánlott folyamatosan vizsgálni az elérhető PCM-eket ahhoz, hogy megtaláljuk a vizsgált időben létező, számunkra legmegfelelőbb anyagot. [24] [28]

A legkedvezőbb fázisváltó anyag kiválasztásához érdemes figyelembe venni azok tárolási lehetőségeit. Egyik megoldása ezeknek a táblás kialakítás, mellyel az anyag könnyebben kezelhető és gyorsabban beépíthető, azonban a kis fajlagos hőátadó felület miatt a hőátadási tulajdonságai rosszabbak. A fázisváltó anyagok apró mikrokapszulákban is tárolhatóak, melyek már nagy hőátadó felülettel rendelkeznek. A kapszulákat érő állandó dinamikai terhelés következtében viszont a külső polimer réteg megsérülhet, így nem minden PCM tárolására alkalmasak. Alternatíva lehet még az ömlesztett tárolás, mely során a fázisváltó anyag egy

tárolóban kerül elhelyezésre, majd az anyag és a rendszer közötti hőcsere egy hőcserélő felületen keresztül történik meg. [18] [24]

A legrégebb óta felfedezett, de még napjainkban is jól alkalmazható fázisváltó anyag a víz (jég). A jéggel való hőtárolást az emberiség már a jégvermekben is hasznosította, de manapság is megtalálható például a jégkockák formájában az italainkban. Fő előnyei a könnyű hozzáférhetőség, a stabil és megfelelő fizikai tulajdonságok, illetve az, hogy nem mérgező. Ennek következtében az épületgépészetben való alkalmazása is népszerű. Az energetikai- és épületgépészeti rendszerekben való hasznosításának korlátja, hogy a 0 [°C]-os fagyáspontja alacsony a legtöbb rendszer hőmérséklet-szintjéhez képest. Ahhoz, hogy olyan 0 [°C] alatti hőmérsékletű folyadékot állítsanak elő, amivel a vizet meg lehet fagyasztani, speciális hűtőgépek alkalmazása szükséges, melyek nem feltétlenül gazdaságosak. [24] [29]

2.3 Alapvető rendszer kialakítási módok

2.3.1 A hagyományos hidegvizes rendszer

A szenzibilishő-tárolás napjainkban az egyik legelterjedtebb megoldás a lakó- és munkahelyek hőmérsékletének szabályozására. Ez főként annak köszönhető, hogy megvalósítható az egyik legolcsóbb és legkönnyebben hozzáférhető közeggel, a vízzel. A hidegvíz tárolása általában acél puffertartályokban történik, melyek kiválasztásánál elsőként azt kell eldöntenünk, hogy két- vagy négycsöves tárolókat kívánunk alkalmazni. Ezen kívül lehetőségünk van mindkét mód esetén egy, vagy két folyadékterű rendszert létrehozni.

A kétsöves tárolókat soros bekötésű puffertartályként is kezelhetjük. Ilyenkor a tartály csak a hidegenergia betárolását biztosítja, tehát előremenő vezetékbe kell bekötni. A hűtött víz a betárolás és a kisütés során is megközelítően méretezési hőmérsékletű. Amennyiben a hűtőgép kikapcsolt állapotban van, a tárolóból felhasznált hideg előremenő víz helyére a már felmelegedett visszatérő víz fog kerülni, növelve ezzel az újból kinyerhető víz hőmérsékletét. Ennek hátránya, hogy amennyiben a hőmérséklet-emelkedés mértéke kicsi, a készülék nem fog üzembe lépni. A tartály így kiürülhet, ezután pedig több olyan keringési ciklus is előfordulhat, amely során a hűtött közeg nem a tervezett előremenő közeghőmérsékletű. Ez csökkent hűtőteljesítményt eredményez mindaddig, amíg a hűtőgép be nem kapcsol. [30]

A négycsöves kivitelezésre párhuzamos kapcsolási viszonyként is tekinthetünk, ekkor a hűtési rendszer két hidraulikai körre tagolódik. A primer kör a hűtőgépből és a hozzá tartozó hidraulikai blokkokból, a szekunder kör pedig a teljes fogyasztói hálózatból áll. Az előremenő és a visszatérő ágak bekötésekor a sűrűségkülönbségből adódó rétegződés fizikai hatását vesszük figyelembe: a hűtőgéptől érkező hidegvizet a tartály aljába, a fogyasztók felől érkező

melegebb vizet a tartály felső részébe vezetjük. A hűtőgép működésekor az előremenő víz méretezési hőmérsékletű, a tartályba pedig a melegebb vizet tárolja be a rendszer. Abban az esetben, ha a készülék kikapcsolt állapotban van, a szekunder hálózatban az egyre melegedő víz fog keringeni. Ekkor azonban a továbbra is működő primer szivattyú a visszatérő, mesterséges hűtés nélküli melegebb folyadékot forgatja vissza a tartály aljába. Ez nem kívánt keveredést eredményez a rendelkezésre álló előremenő vízzel, ami rontja a természetes rétegződés folyamatát. [30]

2.3.2 A jegesvizes rendszer

A látenshő-tárolás megvalósításának egyik formája jegesvizes rendszerek kiépítésével lehetséges. Ennél a technológiánál a „jégkását” jégkristályokból és valamilyen fagyálló keverékből állítják elő. Ez azért kedvező, mert a cirkuláló vízbe fázisváltó anyagot keverve a közeg hőkapacitása nagyobb lesz, mint a hagyományos, hidegvizes közegé. Ennek következtében csökkenthető az áramoltatott víz mennyisége, ezáltal az azt keringető rendszer paraméterei. A jeges víz könnyű hozzáférhetősége miatt különösen vonzó lehet a felhasználók számára. [18] [29]

A jégkásás megoldásnál nem szükséges költséges, speciális töltetek és nagy mennyiségű fagyálló folyadék felhasználása sem. Az apró jégkristályokhoz elegendő egy két komponensből álló oldatot keverni, amely a víz mellett valamilyen fagyáspontcsökkentő adalékból áll, biztosítva ezzel a közeg szivattyúzhatóságát. Ezek közül gyakran alkalmazott például az etilén-glikol, az etanol és a nátrium-klorid. [18] [31]

A jégkása előállítására napjainkban már több technológia is ismert. Ezek közül a leggyakoribb egy olyan „cső a csőben” hőcserélő, melyben a felületről egy forgóképes szerkezet segítségével kaparható le a jég. A jégzagy készítésének egy másik, innovatív megoldása a fluid ágyas jégkása-generátor. Ennél a megoldásnál egy függőleges helyzetű hőcserélő cső belső oldalán a primer hűtőfolyadék, míg a köpenyoldalán jégreszecskeket tartalmazó víz áramlik. A jég lerakódásának megelőzésére utóbbiban acélreszecskek is találhatóak. A hőcserélőt elhagyva a jégkása egy ülepítő szeparátorba kerül, melynek felső részén a víz a jégreszecskekkel, alsó részén pedig az acélreszecskek távoznak. [18]

A pufferben tárolt hidegenergiát a hűtőgép üzemeltetésének függvényében többféleképpen használhatjuk fel. Az egyik módszer az úgynevezett teljes tárolás, mely során az egész napi hűtési energiaigényt kizárólag a tartályban megolvadó jég fedezi. Ez az energia több okból kifolyólag az éjszakai órákban tárolható be leghatékonyabban, így a hűtőgép a nappali órákban nem üzemel. A hűtési körfolyamat melegenergiáját a kondenzátor általában a külső levegőnek

adja át, mely elvezetésére az esti levegő kedvezőbb környezeti kondíciókat biztosít. Kihasználható továbbá az áramszolgáltatók által biztosított, alacsonyabb árú éjszakai elektromos áram. Ennek az az oka, hogy a szolgáltatók az egyenletesebb rendszerterhelés elérése érdekében motiválják a felhasználókat a völgyidőszakban történő fogyasztásra. [32] [31]

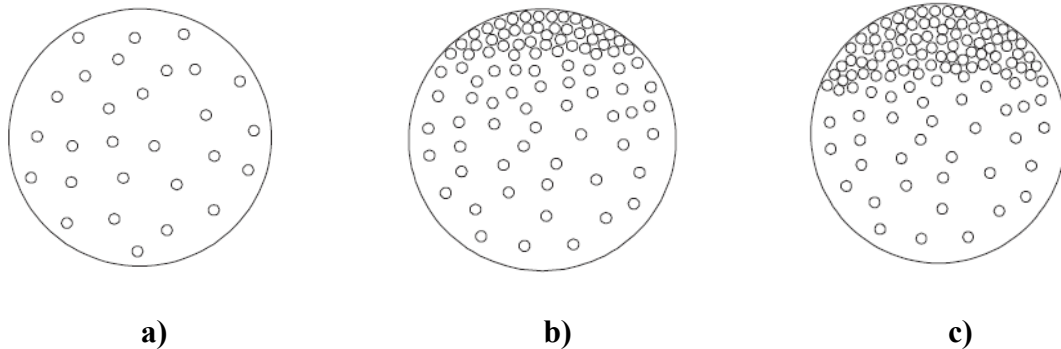
A hidegenergia felhasználásának másik módszere a részleges tárolás, melynek két típusát különböztetjük meg. A hűtőgép üzemelhet egyenletesen, megállás nélkül, a teljes nap folyamán. Amikor az épület hőterhelése kisebb a hűtőgép által előállított hűtési energiánál, a fennmaradó hidegenergia-mennyiséget a pufferben tároljuk el. Abban az esetben, ha a hűtőgép teljesítménye önmagában nem képes fedezni a nappali órákban előforduló csúcsigényeket, a tároló meglévő energiataralma is felhasználásra kerül. [18]

A részleges tárolás másik típusát a hűtőgép csökkentett csúcsigénye jellemzi, mely nagymértékben megegyezik az előbb bemutatott, terhelés-kiegyensúlyozott verzióval. A kettő között az a különbség, hogy ebben az esetben a nappali hőterhelést a hűtőgép alacsonyabb teljesítményszinten üzemelve, nagyobb mértékben a tárolóra támaszkodva fedezi. Így ez a módszer átmenetet képez a teljes tárolás, illetve az egyenletes hűtőgép-terhelés között. A részleges tárolás abban az esetben lehet előnyös, ha a villamos energia vételezési árai között nincs jelentős különbség. Megfelelő megoldás lehet akkor is, ha a hőterhelés maximuma a napi átlaghoz képest kimagasló értéket vesz fel, vagy ha széles időtartamon terheli az épületet. [18]

A jégkása rétegződésének vizsgálata

A jegesvizes rendszereknél a közeg megfelelő összetételére érdemes lehet nagyobb figyelmet fordítani. A közeg nem megfelelő körülmények között történő tárolása a jégreszecskek összetapadását, rétegződését és jéggátak keletkezését idézheti elő. Ezek a jelenségek a működési hatékonyság csökkentése mellett az egész hűtőrendszer biztonságát is veszélyeztethetik. [33]

A közeg rétegződésének háromféle áramlási mintázatát különböztetjük meg: kialakulhatnak szuszpenziós, mozgóágyas és állóágyas rétegek, melyek a **10. ábrán** láthatóak. [33]



10. ábra a) Szuszpenziós; b) mozgóágyas; c) állóágyas rétegződés [33]

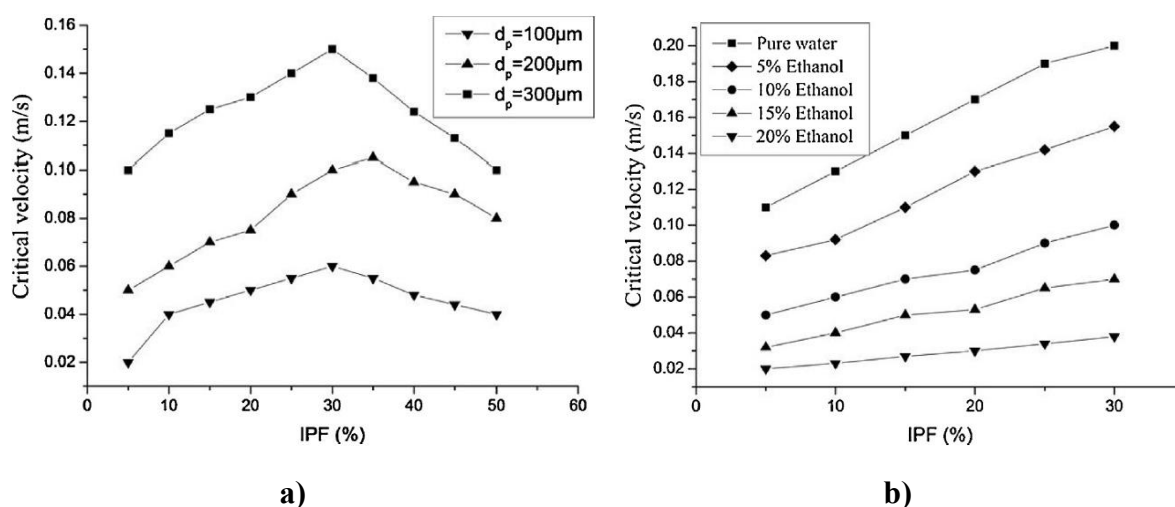
Szuszenziós rétegződés esetén a szilárd jég részecskék eloszlatva lebegnek az őket tartalmazó folyadékban. Ennek köszönhetően nem áll fenn jéggátak keletkezésének a veszélye, ami problémamentes üzemállapotot eredményezhet. Szuszpenziós eloszlás többnyire magas áramlási sebességeknél alakulhat ki. [33]

Mozgóágyas eloszlás alacsonyabb áramlási sebességeknél jöhet létre, mely során különböző összetételű rétegek alakulnak ki. A keresztmetszet felső részén egy úgynevezett mozgóágyréteg, míg az alsó részén egy heterogén réteg figyelhető meg. Előbbit a felfelé mozgó, majd az ott felhalmozódó jég részecskék képezik. Ezek hatására a közeg a keresztmetszet adott részén telítetté válik, azaz nem képes további jég részecskék befogadására. Ennek következtében a mozgóágyrétegben lévő jég részecskék összetapadhatnak, növelve ezzel a jéggátak kialakulásának kockázatát. [33]

Állóágyas rétegződés jóval alacsonyabb áramlási sebességeknél fordulhat elő. Ebben az esetben a vizsgált keresztmetszetet három réteg tölti ki felülről lefelé: az állóágyréteg, a mozgóágyréteg és a szuszpenziós réteg. Ilyen eloszlási körülmények között a hordozó folyadék képtelen szállítani a mozgóágyréteg egy részét, ami állóágyréteg kialakulásához vezet a keresztmetszet tetején. [33]

A közeg áramlási sebességének csökkentésekor érzékelhető egy olyan átmenet, amely megfelel az áramlási minta átmenetének a szuszpenziós és a mozgóágyas rétegződés között. Mivel a szuszpenziós eloszlás mentes a jéggáaktól, míg a mozgóágyas eloszlás jégakadály létrejöttének kockázatával járhat, az említett átmeneti sebességet kritikus sebességnek lehet tekinteni. Így a biztonságos áramlás megvalósításának érdekében javasolt, hogy a hűtőrendszer üzemi sebessége magasabb legyen, mint a kritikus sebesség. [33] [34]

A kritikus áramlási sebességet jelentősen befolyásolja a közeg jégkoncentrációja, a jégreszecskek mérete és a hozzáadott fagyálló koncentrációja. Ez látható a **11. ábrán**. [33] [34]



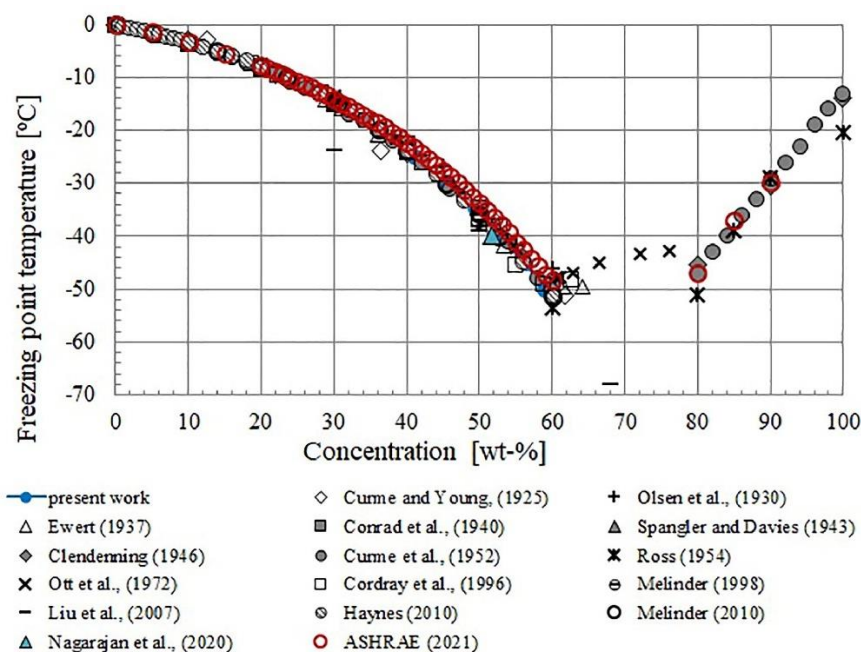
11. ábra a) A kritikus sebesség a jégkoncentráció és a jégreszecskek méretének függvényében; **b)** a kritikus sebesség az etanol koncentrációjának függvényében [33]

A **11.a ábra** alapján megállapítható, hogy kezdetben a kritikus sebesség nagysága a jégkoncentráció növelésével együtt növekszik. Maximumát körülbelül 30-35%-os jégkoncentráció mellett éri el, így a rendszer kritikus sebességének csökkentése érdekében javasolt ezen tartomány elkerülése. A csúcérték elérése után a kritikus sebesség nagysága csökken a jégkoncentráció növelése mellett, azonban ilyen összetétel esetén a jégkása áramlása már nem feltétlenül felel meg a Newton-féle súrlódási törvényeknek. [33] [35]

A **11.a ábra** alapján megfigyelhető, hogy a jég szemcsék átmérőjének 300 [μm]-ról 100 [μm]-re való csökkentésével a kritikus sebesség körülbelül 60-80%-kal csökkenthető. Ez általánosságban azt jelenti, hogy a közeg áramlása a szemcseméret csökkentésével egyre biztonságosabbá válik. Ennek következtében a modern technológiáknak köszönhetően előállítható, 100 [μm]-es részecskeméret javasolt a rendszer ideális működése érdekében. [33]

A **11.b ábrából** megállapítható, hogy a hozzáadott fagyálló koncentrációjának növelésével is csökkenthető a közeg kritikus áramlási sebessége. Így minél nagyobb a közegben található fagyálló koncentrációja, annál biztonságosabb az áramlás. A szükséges fagyálló mennyiségét azonban több tényező befolyásolhatja, többek között a hűtőgép elhelyezése, az üzemeltetési paraméterek és külső környezet paraméterei. Ezek közül mérnöki véleményem alapján az utóbbit emelném ki, hiszen kültérben elhelyezett hűtőgépek esetén a fagyálló koncentrációja nagyban meghatározza a közeg fagyáspontját. [33]

Ennek következtében a számításokat úgy kell elvégezni, hogy az oldat fagyáspontja alacsonyabb legyen a külső levegő hőmérsékleténél. A **12. ábrán** látható diagram ebben segíthet, hiszen különböző etilén-glikol koncentrációjú víz esetén ábrázolja a közeg fagyáspontját.



12. ábra A víz - etilén-glikol közeg fagyáspontjai különböző fagyálló koncentrációk esetén [36]

Megfigyelhető, hogy a rendszer jelenlegi 35 [%]-os fagyálló koncentrációja mellett a közeg fagyáspontja körülbelül -20 [°C]. Mérnöki véleményem szerint ez egy megfelelő, elegendő biztonságot szolgáltató érték Magyarország éghajlati adatait figyelembe véve.

3 Eredmények

3.1 A hűtőgépek újraválasztása

A hűtéstechnika gyakorlati jelentőségének növekedésével párhuzamosan a hűtőgépek is egyre fejlettebbek, egyre hatékonyabban és környezetkímélőbben üzemeltethetők. Mivel a jelenleg működő H-01, H-02 és H-03 készülékek nem a közelmúltban kerültek beépítésre, a gyógyszergyár üzemeltetői szerint is esedékes lehet a cseréjük. Ennek megfelelően a számításaim is valósabb képet adhatnak a hűtési rendszerről, ha újraválasztott hűtőgépekkel végzem el azokat.

A rendszerek lehető leghatékonyabb összehasonlítása érdekében az általam választott hűtőgépek mindegyikét a Trane gyártja, mely már 110 éve megtalálható a piacon. A céget a fejlett innováció jellemzi, termékei híresek a megbízhatóságukról és a magas minőségükről. 28 országban, több mint 29 ezer embert foglalkoztatnak, ezzel a világ egyik legnagyobb épületgépészeti gyártójaként tartják számon. [37]

Mivel a vizsgált rendszer a gyártó katalógusában leírtakhoz képest eltérő hőfoklépcsőjű, így a szükséges teljesítményigényt át kell számolni a katalógusban lévő 7/12 [°C] melletti értékre. Ehhez elsőként meg kell határozni a két hőfoklépcsőre vonatkozó logaritmikus hőmérsékletkülönbségeket:

$$\Delta t_{ln;1/6} = \left(\frac{t_e - t_v}{\ln \left(\frac{t_e - t_i}{t_v - t_i} \right)} \right) = \left(\frac{1 - 6}{\ln \left(\frac{1 - (-3)}{6 - (-3)} \right)} \right) = 5,6351 \text{ [°C]} \quad (3.1)$$

$$\Delta t_{ln;7/12} = \left(\frac{t_e - t_v}{\ln \left(\frac{t_e - t_i}{t_v - t_i} \right)} \right) = \left(\frac{7 - 12}{\ln \left(\frac{7 - (-3)}{12 - (-3)} \right)} \right) = 12,3315 \text{ [°C]} \quad (3.2)$$

Ahol:

- $\Delta t_{ln;1/6}$ – 1/6 [°C] hőfoklépcsőre vonatkozó logaritmikus hőmérsékletkülönbség [°C]
- $\Delta t_{ln;7/12}$ – 7/12 [°C] hőfoklépcsőre vonatkozó logaritmikus hőmérsékletkülönbség [°C]
- t_e – az előremenő közeg hőmérséklete [°C]
- t_v – a visszatérő közeg hőmérséklete [°C]
- t_i – az elpárolgási hőmérséklet [°C]

Ezt követően meghatározható az 1/6 [°C] hőfoklépcső melletti teljesítményigény 7/12 [°C] hőfoklépcsőre átszámított értéke. Előbbi értékének az üzemeltetési tapasztalatok alapján előforduló 430-650 [kW] közötti teljesítményigény maximumát vettem.

$$Q_{7/12} = Q_{1/6} \cdot \left(\frac{\Delta t_{ln;7/12}}{\Delta t_{ln;1/6}} \right) = 650 \cdot \left(\frac{12,3315}{6,1658} \right) = 1.300 \text{ [kW]} \quad (3.3)$$

Ahol:

- $Q_{7/12}$ – 7/12 [°C] hőfoklépcső mellett igényelt teljesítmény [kW]
- $Q_{1/6}$ – 1/6 [°C] hőfoklépcső mellett igényelt teljesítmény [kW]
- $\Delta t_{ln;1/6}$ – 1/6 [°C] hőfoklépcsőre vonatkoztatott logaritmikus hőmérsékletkülönbség [K]
- $\Delta t_{ln;7/12}$ – 7/12 [°C] hőfoklépcsőre vonatkoztatott logaritmikus hőmérsékletkülönbség [K]

A kapott eredmény függvényében, 7/12 [°C] hőfoklépcső mellett a hűtőgépeknek legalább 1300 [kW] teljesítményt kell fedezniük. A megfelelő hűtőgépek kiválasztása során törekedtem arra, hogy szükség esetén a három hűtőgép tudja fedezni a gyógyszergyár teljes hűtési igényét (2221,65 [kW]). Ebből az egyidejűleg jelentkező, becsült teljesítményigényre (430-650 [kW]) nézve az következik, hogy a készülékek képesek azt akár külön-külön is biztosítani. Emellett figyelembe vettem, hogy a hűtőgépek részterhelésen sok esetben hatékonyabban üzemeltethetők, mint a névleges teljesítményen való működés esetén.

A jelen formában üzemelő rendszer újraválasztott hűtőgépei Trane RTAF 410 HSE XLN készülékek. A Trane RTAF levegő-víz típusú, kompresszoros termékcsalád gépei 7/12 [°C]-os hőfoklépcső és 35 [°C]-os kültéri léghőmérséklet mellett 300 és 1900 [kW] közötti névleges hűtőtelsítményekben állnak rendelkezésre. A fogyasztói igények precíz kiszolgálása érdekében 5 hatékonysági szinten is elérhetőek: általános, magas, extrém, magas szezonális és magas rövid-szezonális kivitelben. [38] [39]

A hűtőgépek leginkább veszélyeztett elemeként számontartott elpárologtató 10,5 [bar] üzemi nyomásra lett tervezve. A csövek átmérője 19 [mm], melyek 19 [mm] átmérőjű Armaflex II vagy azzal egyenértékű, zártcellás hőszigeteléssel vannak védve. Ezzel a szállított közeg hőmérséklete állandó értéken tartható, továbbá megakadályozható a felületi kondenzáció létrejötte is. Érdemes megemlíteni, hogy a Trane RTAF készülékek alkalmasak lehetnek jég előállítására is. Ez a kedvezőbb környezeti körülményeknek köszönhetően jellemzően az

éjszakai órákban lehetséges. Ekkor az elpárologtatóból kilépő közeg hőmérséklete akár -12 [°C]-ra is csökkenthető. [38] [39] [40]

A választott RTAF 410 HSE XLN hűtőgépeket magas szezonális hatékonyságú, extrém alacsony zajszintű fokozatban vizsgáltam. Így 7/12 [°C]-os hőfoklépcső és 35 [°C]-os külső léghőmérséklet mellett 1488,8 [kW] hűtőtéljesítmény előállítására képesek. [38] [39]

A 7/12 [°C]-os hőfoklépcső melletti névleges hűtőtéljesítmények ismeretében meghatározható az 1/6 [°C]-os hőfoklépcsőre vonatkozó érték is:

$$Q_{1/6} = Q_{7/12} \cdot \left(\frac{\Delta t_{ln;1/6}}{\Delta t_{ln;7/12}} \right) = 1488,8 \cdot \left(\frac{6,1658}{12,3315} \right) = 744,4 [kW] \quad (3.4)$$

Ahol:

- $Q_{1/6}$ – 1/6 [°C] hőfoklépcső mellett leadott teljesítmény [kW]
- $Q_{7/12}$ – 7/12 [°C] hőfoklépcső mellett leadott teljesítmény [kW]
- $\Delta t_{ln;1/6}$ – 1/6 [°C] hőfoklépcsőre vonatkoztatott logaritmikus hőmérsékletkülönbség [K]
- $\Delta t_{ln;7/12}$ – 7/12 [°C] hőfoklépcsőre vonatkoztatott logaritmikus hőmérsékletkülönbség [K]

A készülékek 4 darab fordulatszám-szabályozású csavarkompresszorral rendelkeznek, mellyel képesek a pillanatnyi igények gyors és precíz kiszolgálására. A leadott hűtési teljesítmény az inverteres technológiának köszönhetően a maximális érték akár 10 százalékára leszabályozható. Az egyidejűleg becsült teljesítményigényt egy hűtőgép 90 [%]-os, együttesen két hűtőgép 45 [%]-os, három hűtőgép pedig 30 [%]-os részterhelés értékek mellett tudja fedezni. [38] [39]

A Trane RTAF 410 HSE XLN hűtőgépek minimum -20 [°C]-os és maximum 55 [°C]-os külső léghőmérsékletek között alkalmazhatóak. A készülékek a névleges teljesítmény előállításához 465,3 [kW] elektromos teljesítményt igényelnek. Ezek ismeretében meghatározható a méretezési állapotra vonatkozó EER (Energy-Efficiency Ratio) érték, mely megmutatja, hogy a hűtőgépek a befektetett elektromos áramból mennyi hűtőtéljesítmény előállítására képesek. Ezek alapján a Trane RTAF 410 HSE XLN készülékek névleges EER értéke 3,2 [kW/kW]. [38] [39]

A hűtőgépek azonban egy naptári év során általában csak rövid ideig működnek névleges körülmények között. Ennek következtében, a valós energiafogyasztás becsléséhez megalkották az ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) indexet, mely segítségével a

gyakorlatban túlnyomórészt előforduló, részterheléses rendszert tudjuk energetikai szempontból megítélni és mérni. A Trane RTAF 410 HSE XLN készülékek ESEER értéke a magas szezonális hatékonyságú fokozatnak köszönhetően 5,13 [kW/kW]. [38] [39]

Jelen eszköz két hűtőkörrel rendelkezik, melyek rézcsövekből épülnek fel. Ennek köszönhetően ellenállnak a korróziónak, ezzel biztosítva a rendszer hosszú élettartamát. A hűtőkörök hűtőközeg-töltete R134a vagy R513A lehet. Az R134a széles körben elterjedt hűtőközeg volt, azonban magas globális felmelegedési potenciálja (GWP) miatt fokozatosan kivezetésre kerül. Ennek helyettesítésére lehet alkalmas az R513A hűtőközeg, mely kisebb GWP érték mellett képes hasonló teljesítmény szolgáltatására. Amennyiben a jövőben további szigorítások lépnének életbe a hűtőközegek GWP értékével kapcsolatban, egyes Trane RTAF készülékek már a rendkívül alacsony globális felmelegedési potenciállal rendelkező R1234ze hűtőközeggel is üzemeltethetők. Így várhatóan megoldható lenne a többi készülék esetében is a jelenlegi hűtőközegek helyettesítése. [38] [39] [41]

A kompresszoros hűtőgépek egyik fő hátránya lehet az általuk kibocsátott zaj mértéke. Ennek kiküszöbölésére a termékcsalád készülékei általános, alacsony és extrém alacsony zajszinten is megtalálhatóak a piacon. A Trane RTAF 410 HSE XLN esetében az 9614:2009 szabvány szerint kibocsátott zajszint 95 [dB]. A hűtőgép hosszúsága 13510 [mm], szélessége 2200 [mm], magassága 2584 [mm], üzemi súlya pedig 9840 [kg]. Kültérben történő elhelyezése a hóhatár szintje fölött végrehajtandó, méretei következtében pedig kiemelt statikai figyelmet igényel. [38]

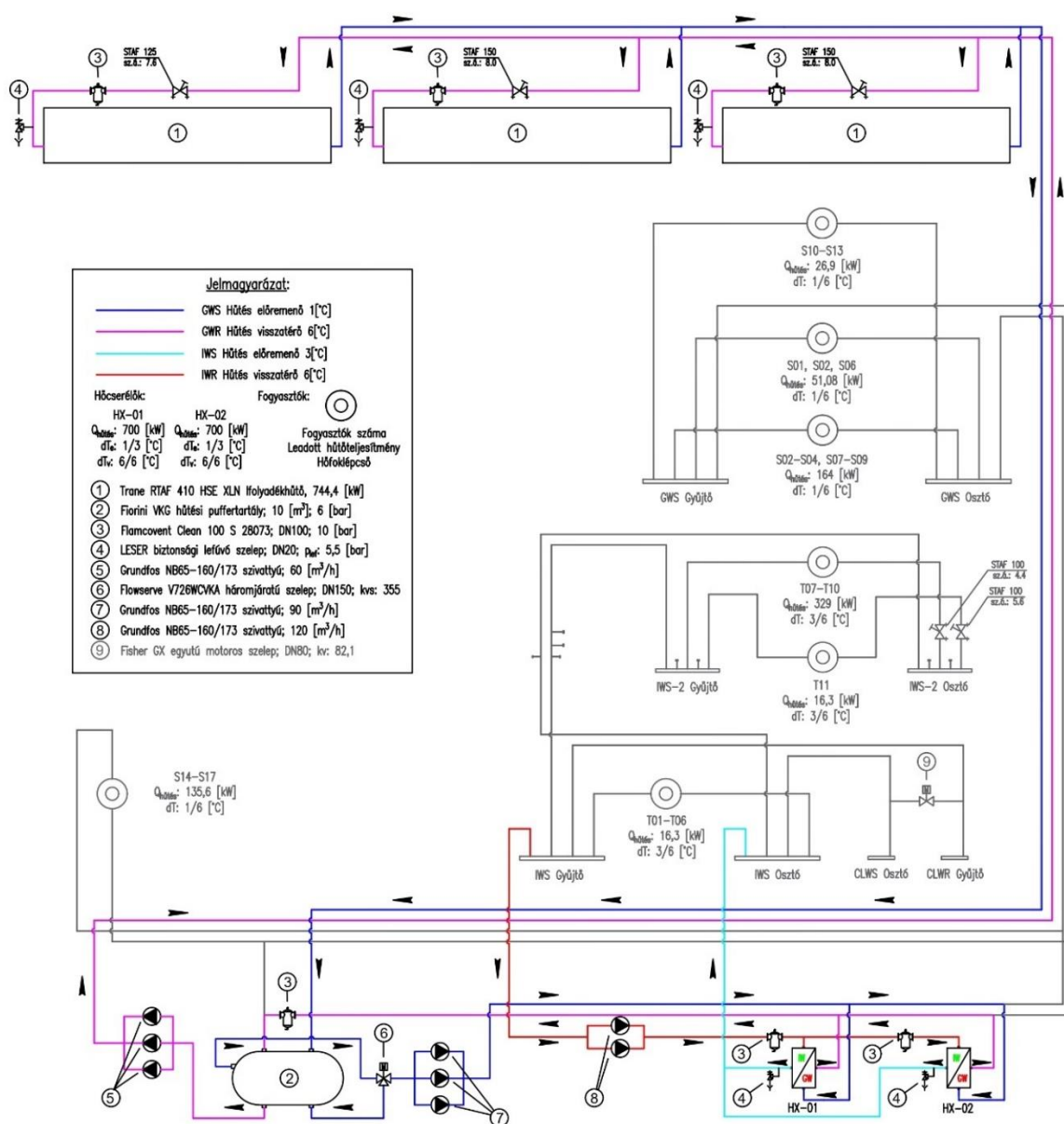
3.2 A hűtőgépek óránkénti kapcsolási számának meghatározása

A hűtési rendszerek tervezésének és a megfelelő hűtőgépek kiválasztásának egyik fő szempontja a kompresszorok (óránkénti) kapcsolási számának meghatározása. Ennek az az oka, hogy túl magas kapcsolási szám esetén a kompresszor két üzemszakasz között nem tud megfelelően visszahúlni. Ez ronthatja a hűtőkörfolyamat és a hidegenergia termelésének hatékonyságát, illetve csökkentheti a készülékek élettartamát. Ennek következtében megvizsgáltam, hogy hogyan alakulnak a kompresszorok kapcsolási számai a három rendszer-variáció esetén. A mérnöki gyakorlatban ajánlott maximális óránkénti kapcsolási szám értéke körülbelül 6 [1/h].

3.2.1 A hidegvizes pufferrel ellátott rendszer esetén

A 4. ábrán látható, meglévő rendszer egyszerűsített elvi kapcsolását módosítottam az általam vizsgált három esetnek megfelelően. Ábrázolásra kerültek az újraválasztott hűtőgépek, illetve

a rendszer újragondolása által a szerelvényekre vonatkozó változtatások. Hidegvizes puffertárolóként egy Fiorini VKG 10 [m³] térfogatú termékre esett a választásom. A rendszer biztonsága szempontjából kiemelendő, hogy a szekunder folyadéktér esetén az eredeti tervvel megegyezően, közvetlenül a fogyasztóknál került biztosításra a rendszer tágulása. A szivattyúk szabályozása állandó nyomáskülönbségre, BMS (Building Management System) távadók segítségével történik. A fogyasztók szabályozása az eredeti rendszerhez hasonlóan szintén a végpontokon történik. A hidegvizes pufferrel ellátott rendszer módosított, egyszerűsített elvi kapcsolása látható a **13. ábrán**.



13. ábra A hidegvizes pufferrel ellátott rendszer egyszerűsített elvi kapcsolása

A kapcsolási számok meghatározásához első lépésként a hidegvizes pufferrel ellátott rendszer mértékadó térfogatáramát számítjuk ki az alábbi összefüggéssel:

$$\dot{V}_{\text{mértékadó}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{hűtési,min}}}{c_{\text{víz}} \cdot \rho_{\text{víz}} \cdot \Delta T_{\text{hűtési}}} = \frac{3600 \cdot 744,4 \cdot 0,9}{4,18 \cdot 980 \cdot 5} = 117,755 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (3.5)$$

Ahol:

- $\dot{V}_{\text{mértékadó}}$ – a mértékadó térfogatáram [m^3/h]
- $Q_{\text{hűtési,min}}$ – a részterhelésen előállítható hűtőkapacitás [kW]
- $c_{\text{víz}}$ – a víz fajhője [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
- $\rho_{\text{víz}}$ – a víz sűrűsége [kg/m^3]
- $\Delta T_{\text{hűtési}}$ – az alkalmazott hűtési hőfoklépcső [K]

A következő lépésben az igényelt víztérfogatot számítjuk ki, ami a teljes rendszer (hűtőgépek, csőszakaszok, fogyasztók) és a beépített P-01 puffertároló méretéből adódik.

$$V_{\text{igényelt}} = V_{\text{puffer}} + V_{\text{rendszer}} = 10 + 10 = 20 \text{ [m}^3\text{]} \quad (3.6)$$

Ahol:

- $V_{\text{igényelt}}$ – a teljes rendszer minimálisan igényelt víztérfogata [m^3]
- V_{puffer} – a beépített puffertároló térfogata [m^3]
- V_{rendszer} – a hűtéstechikai rendszer víztérfogata [m^3]

Ezt követően a teljes rendszer minimálisan igényelt víztérfogata és a mértékadó térfogatáram ismeretében meghatározható a kompresszor óránkénti kapcsolási száma.

$$n = \frac{\dot{V}_{\text{mértékadó}}}{V_{\text{igényelt}}} = \frac{117,755}{20} = 5,89 \text{ [1 / h]} \quad (3.7)$$

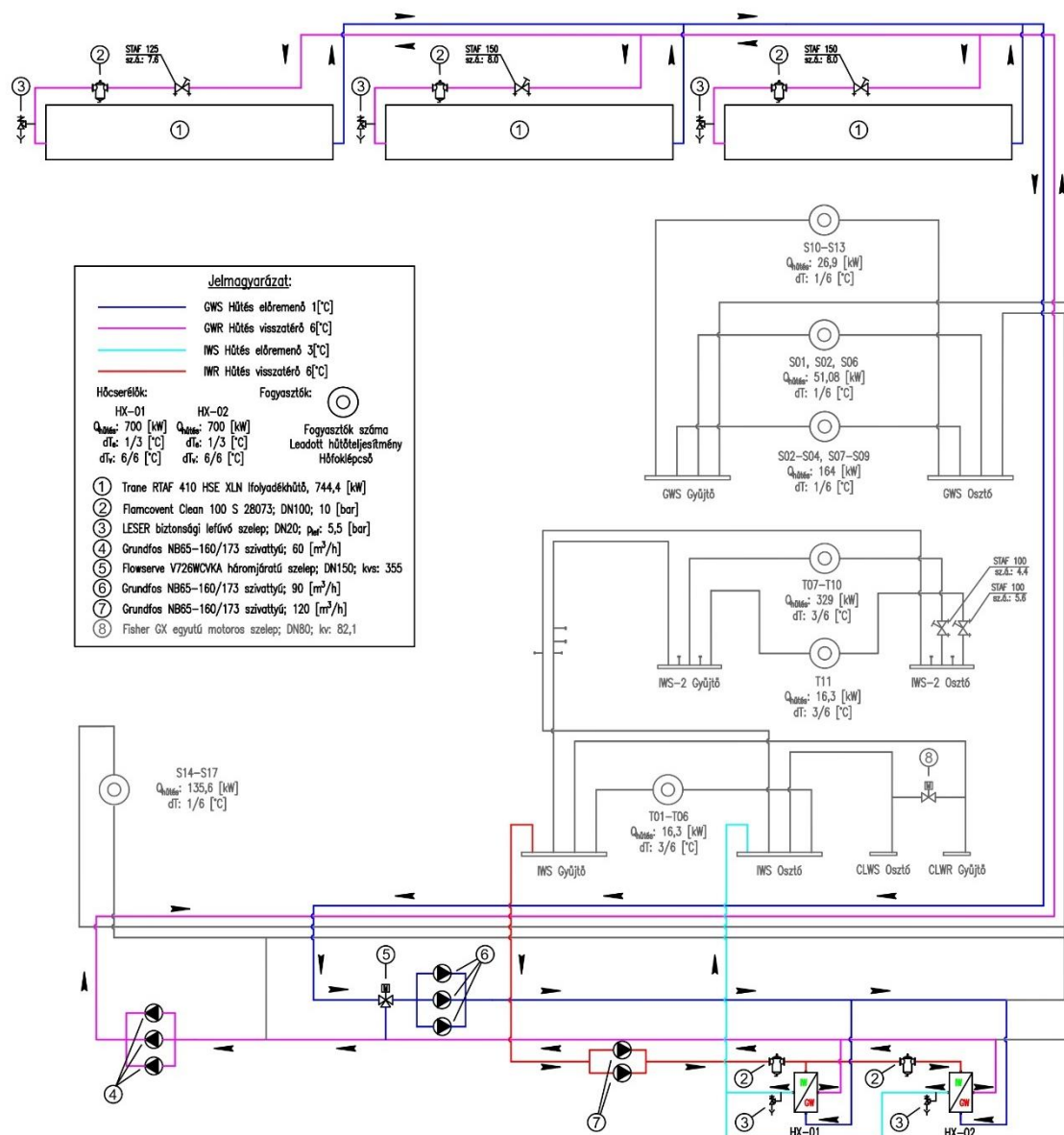
Ahol:

- n – a kompresszor óránkénti kapcsolási száma [$1/\text{h}$]
- $\dot{V}_{\text{mértékadó}}$ – a mértékadó térfogatáram [m^3/h]
- $V_{\text{igényelt}}$ – a teljes rendszer minimálisan igényelt víztérfogata [m^3]

3.2.2 A puffertároló nélkül üzemelő rendszer esetén

A puffertároló nélküli esetre is módosítottam a meglévő rendszer egyszerűsített elvi kapcsolását. Ebben az esetben is ábrázolásra kerültek az újraválasztott hűtőgépek és a fontosabb szerelvényekre vonatkozó változtatások. A rendszer tágulásának biztosítása, szabályozása és

beszabályozása szempontjából a hidegvizes pufferrel ellátott alternatívához hasonlóan jártam el. A hűtőgépek és a fogyasztók körét egy bypass-ág köti össze, így ezek egymástól függetlenül is szabályozhatóak. Az erre az esetre vonatkozó egyszerűsített elvi kapcsolást a **14. ábrán** mutatom be.



14. ábra A hidegvizes pufferrel ellátott rendszer egyszerűsített elvi kapcsolása

A puffertároló nélküli rendszer esetén a hidegvizes puffertárolónál alkalmazott összefüggésekhez hasonló képletek használata szükséges. A rendszer mértékadó térfogatáramának meghatározásához ebben az esetben is a 3.5 egyenletet kell alkalmazni. Mivel azonban a rendszerben nincs beépített puffertérfogat, így a minimálisan igényelt víztérfogat a hűtéstechikai rendszer víztérfogatával egyezik meg.

$$V_{igényelt} = V_{rendszer} = 10 [m^3] \quad (3.8)$$

Ahol:

- $V_{igényelt}$ – a teljes rendszer minimálisan igényelt víztérfogata [m^3]
- $V_{rendszer}$ – a hűtéstechikai rendszer víztérfogata [m^3]

Ennek következtében a kompresszor óránkénti kapcsolási számát is a hűtéstechikai rendszer térfogata határozza meg a mértékadó térfogatáram értéke mellett.

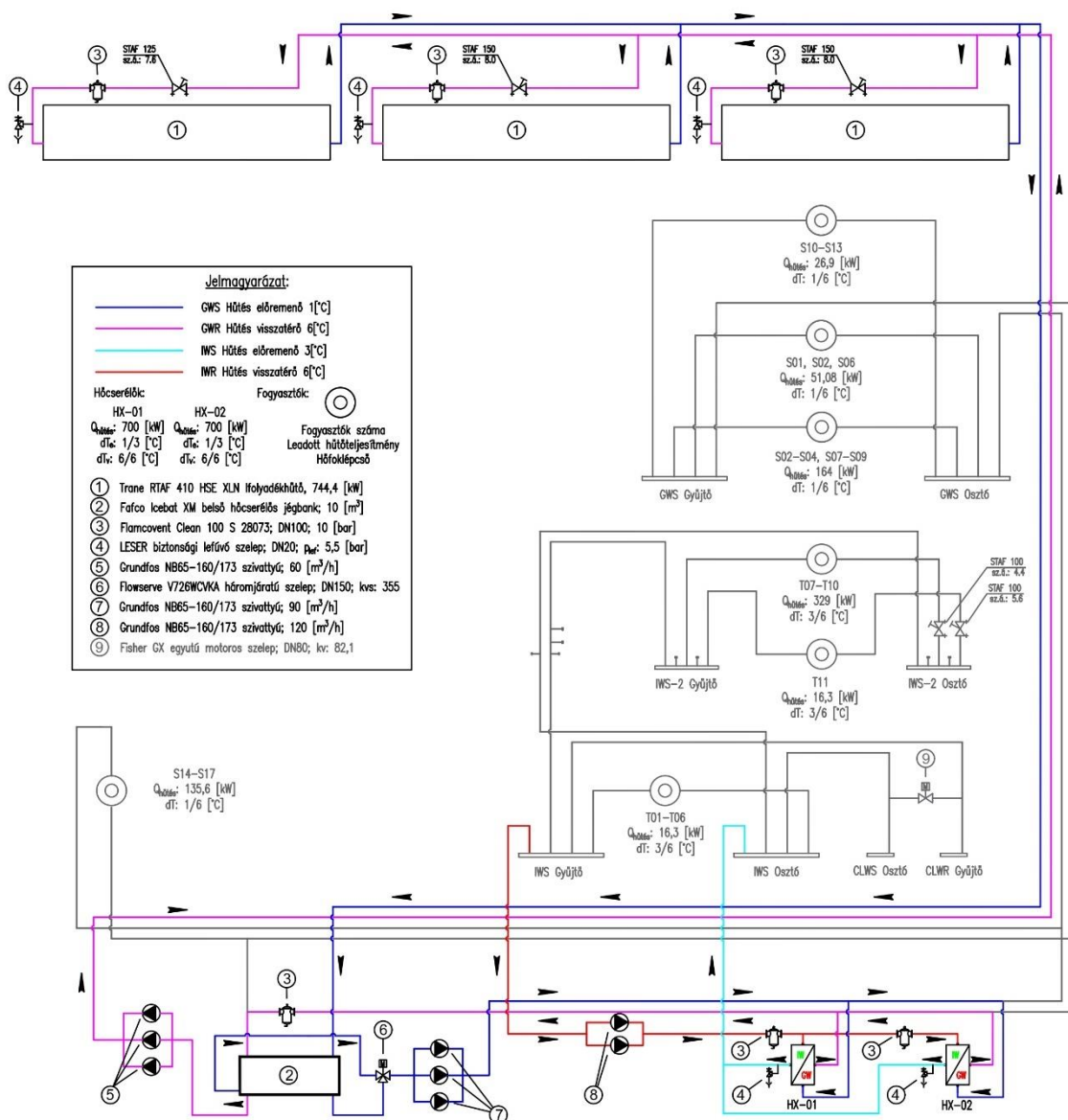
$$n = \frac{\dot{V}_{mértékadó}}{V_{igényelt}} = \frac{\dot{V}_{mértékadó}}{V_{rendszer}} = \frac{117,755}{10} = 11,78 [1 / h] \quad (3.9)$$

Ahol:

- n – a kompresszor óránkénti kapcsolási száma [$1 / h$]
- $\dot{V}_{mértékadó}$ – a mértékadó térfogatáram [m^3 / h]
- $V_{igényelt}$ – a teljes rendszer minimálisan igényelt víztérfogata [m^3]
- $V_{rendszer}$ – a hűtéstechikai rendszer víztérfogata [m^3]

3.2.3 A jegesvizes puffertárolóval ellátott rendszer esetén

Végezetül a jégakkumulációs puffertartállyal ellátott rendszernél is módosítottam az eredeti rendszer egyszerűsített elvi kapcsolását. Az újráválasztott hűtőgépek és a főbb szerelvények mellett megjelenítettem az általam választott Fafco Icebat XM típusú, 10 [m^3] térfogatú jégbankot. A rendszer biztonsága szempontjából az eddig említettekkel megegyezően jártam el a biztonsági lefűvató szelepek és a tágulási tartályok esetén egyaránt. A nagyobb energiasűrűségű hőtárolásra szolgáló, jégakkumulációs puffertartállyal ellátott rendszer egyszerűsített elvi kapcsolása a **15. ábrán** látható.



15. ábra A hidegvízes pufferral ellátott rendszer egyszerűsített elvi kapcsolása

A jégakkumulációs berendezések esetén a tárolókapacitást a szenzibilis- és a látenshő együttesen biztosítja. A szenzibilis hőtartalmat a szekunder hidegenergia-rendszer, azon belül annak hőfoklépcsője határozza meg. A szenzibilishő a víz hőmérséklet-változásából adódik, nagysága egyenesen arányos a közeg fajhőjével és tömegével.

$$Q_{\text{szenzibilis}} = c_{\text{víz}} \cdot \rho_{\text{víz}} \cdot V_{\text{telj;rendszer}} \cdot (T_{\text{v;szek}} - 273) =$$

$$= 4,18 \cdot 980 \cdot 20 \cdot (279 - 273)/3600 = 136,547 \text{ [kWh]}$$
(3.10)

Ahol:

- $Q_{\text{szenzibilis}}$ – a hűtött közeg szenzibilishő tartalma [kWh]
- $c_{\text{víz}}$ – a víz fajhője [kJ/(kg · K)]

- $\rho_{v\acute{z}}$ – a víz sűrűsége $[kg/m^3]$
- $V_{telj;rendszer}$ – a rendszer teljes térfogata $[m^3]$
- $T_{v;szek}$ – a szekunder oldal visszatérő hőmérséklete $[K]$

A látenshő-tartalom a jég fázisváltozásából adódik, egyenesen arányos annak tömegével, olvadáshőjével és a puffertároló térfogatával. A rendszert nagyban meghatározza a vízben lévő jég koncentrációja. Mérnöki véleményem szerint, a **11.a ábra** segítségével a jégkoncentráció értékét 20 térfogatszázalékban határoztam meg. Ekkor a közeg még a vízhez hasonló áramlástani tulajdonságokkal rendelkezik, így szállítása speciális berendezések nélkül megoldható.

$$\begin{aligned} Q_{látens} &= x \cdot \rho_{jég} \cdot V_{puffer} \cdot L_{olvadáshő} = \\ &= 0,2 \cdot 917 \cdot 10 \cdot 333,55 = 169,925 [kWh] \end{aligned} \quad (3.11)$$

Ahol:

- $Q_{látens}$ – a hűtött közeg látenshő tartalma $[kWh]$
- x – a vízben lévő jég koncentrációja $[\%/100]$
- $\rho_{jég}$ – a víz sűrűsége $[kg/m^3]$
- V_{puffer} – a beépített puffertároló térfogata $[m^3]$
- $L_{olvadáshő}$ – a jég olvadáshője $[kJ/kg]$

Ezt követően a szenzibilis- és a látenshőtartalmak ismeretében meghatározható a beépített puffertartály tárolókapacitása.

$$\begin{aligned} Q_{puffer} &= Q_{szenzibilis} + Q_{látens} = \\ &= 136,547 + 169,925 = 306,472 [kWh] \end{aligned} \quad (3.12)$$

Ahol:

- Q_{puffer} – a beépített puffertároló energiakapacitása $[kWh]$
- $Q_{szenzibilis}$ – a hűtött közeg szenzibilishő tartalma $[kWh]$
- $Q_{látens}$ – a hűtött közeg látenshő tartalma $[kWh]$

A hűtőgépek kapcsolási számának meghatározásához elsőként szükségünk van az egy óra alatt jelentkező teljesítményigényre. Ezt követően a 3.12 egyenletben számított tárolókapacitást elosztva a rendszer óránkénti energiaszükségletével megkapjuk a puffer által fedezett időtartam nagyságát:

$$t_{puffer} = \frac{Q_{puffer}}{Q_{hűtési}} = \frac{306,472}{650} = 0,4715 [h] \quad (3.13)$$

Ahol:

- t_{puffer} – a beépített puffertároló által fedezett időtartam [h]
- Q_{puffer} – a beépített puffertároló energiakapacitása [kWh]
- $Q_{hűtési}$ – a rendszer energiaszükséglete [kW]

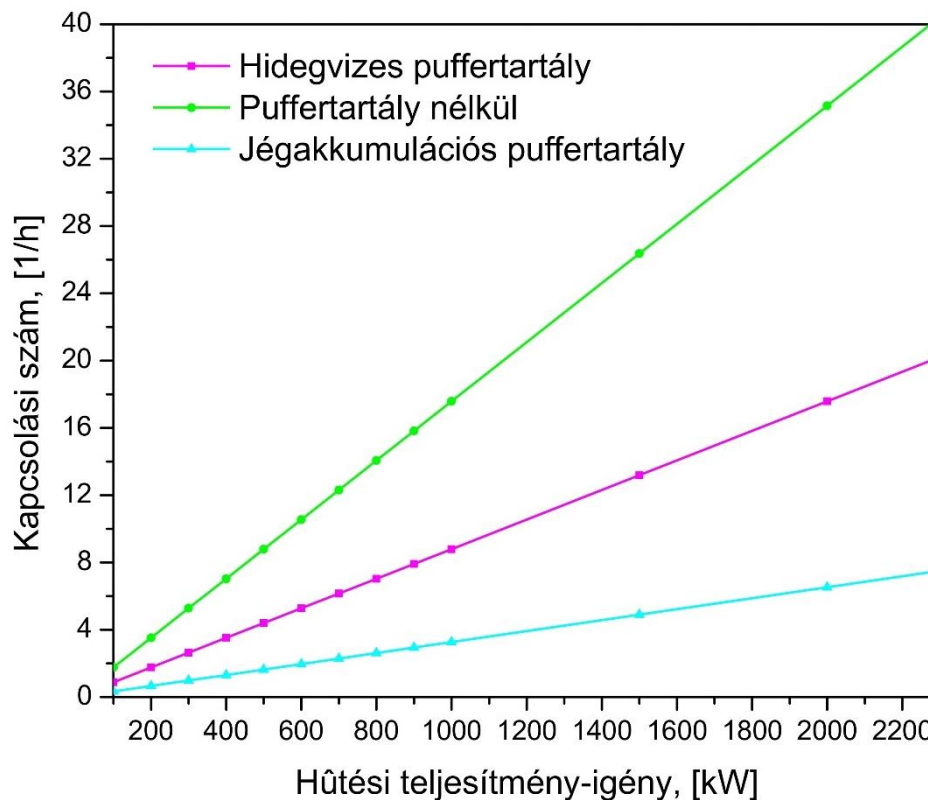
Végül a kapott érték reciprokaként meghatározható a kompresszor óránkénti kapcsolási száma a vizsgált energiaszükségletre és tárolótérfogatra.

$$n = \frac{1}{t_{puffer}} = \frac{1}{0,4715} = 2,12 [1 / h] \quad (3.14)$$

Ahol:

- n – a kompresszor óránkénti kapcsolási száma [1 / h]
- t_{puffer} – a beépített puffertároló által fedezett időtartam [h]

A számított értékekből látható, hogy a jégakkumulációs puffertartállyal ellátott rendszer esetében a legkisebb a hűtőgép óránkénti kapcsolási száma, míg a puffertartály nélküli variáció esetében a legnagyobb. A kapott eredmények hatékonyabb szemléltetése érdekében diagramon ábrázoltam, hogy a gyógyszergyár teljes hűtési teljesítményigényének spektrumában hogyan változnak a kapcsolási számok értékei. Ez látható a **16. ábrán**.



16. ábra A kapcsolási számok változása különböző teljesítményigények esetén

3.3 Továbblépési lehetőségek

A hidegenergia-igény éjszakai betárolása

Kísérletet tettem a teljes éjszakai betároláshoz szükséges tárolótérfogat kiszámítására is. Mivel a hidegenergia az éjszakai órákban tárolható be leghatékonyabban, így a hűtőgép kizárólag akkor üzemelne. Ebben az esetben kihasználható továbbá, hogy az áramszolgáltatók a völgyidőszakban alacsonyabb áron biztosítják az elektromos energiát. [32] [31]

Első lépésként meg kell határozni a hűtési rendszer számára egy egész napra szükséges hidegenergia mennyiségét. Ehhez az üzemeltetői tapasztalatok alapján előforduló 430-650 [kW] közötti teljesítményigény maximumát vettem alapul, a teljes napra nézve. Mivel a gyógyszergyár folyamatos termelés mellett üzemel, így 24 [h] működési idővel számoltam.

$$Q_{hűtési,nap} = 3600 \cdot Q_{hűtési} \cdot \tau_{működés} = 650 \cdot 24 = 15.600 [kWh] \quad (4.1)$$

Ahol:

- $Q_{hűtési,nap}$ – a teljes napi teljesítményigény [kWh]
- $Q_{hűtési}$ – a rendszer energiaszükséglete [kW]
- $\tau_{működés}$ – a fogyasztói rendszer működési ideje [h]

Ezt követően meghatározható a puffertároló minimálisan szükséges energiakapacitása. Az összefüggésben szereplő betárolási időt az éjszakai betárolás függvényében 8 [h]-ban határoztam meg. Fontos megemlíteni, hogy a kapott eredmény megegyezik a szenzibilis- és látenshő összegével (3.12 egyenlet).

$$Q_{puffer,min} = \frac{\tau_{betárolás}}{\tau_{működés}} \cdot Q_{hűtési,nap} = \frac{8}{24} \cdot 15.600 = 5.200 [kWh] \quad (4.2)$$

Ahol:

- $Q_{puffer,min}$ – a puffertároló minimális energiakapacitása [kWh]
- $\tau_{betárolás}$ – a puffer feltöltésére fordított idő [h]
- $\tau_{működés}$ – a fogyasztói rendszer működési ideje [h]
- $Q_{hűtési,nap}$ – a teljes napi teljesítményigény [kWh]

A 3.10, 3.11, 3.12 és 4.2 egyenleteket felhasználva egy olyan egyenletrendszerhez jutunk, melyből kifejezhető (jégkása betárolása esetén) az éjszakai teljes feltöltéshez szükséges minimális puffertérfogat:

$$V_{puffer,min} = \frac{3600 \cdot \left[Q_{puffer,min} - (c_{v\acute{z}} \cdot \rho_{v\acute{z}} \cdot V_{rendszer} \cdot \frac{(T_{v,szek} - 273)}{3600}) \right]}{x \cdot \rho_{j\acute{e}g} \cdot L_{olvadásh\acute{o}} + c_{v\acute{z}} \cdot \rho_{v\acute{z}} \cdot (T_{v,szek} - 273)} = \quad (4.2)$$

$$= \frac{3600 \cdot \left[5200 - 4,18 \cdot 980 \cdot 10 \cdot \frac{(279 - 273)}{3600} \right]}{0,2 \cdot 917 \cdot 333,55 + 4,18 \cdot 980 \cdot (279 - 273)} = 215,44 [m^3]$$

Ahol:

- $V_{puffer,min}$ – a puffertároló minimális tárolótérfogata [m^3]
- $Q_{puffer,min}$ – a puffertároló minimális energiakapacitása [kWh]
- $c_{v\acute{z}}$ – a víz fajhője [$kJ/(kg \cdot K)$]
- $\rho_{v\acute{z}}$ – a víz sűrűsége [kg/m^3]
- $V_{rendszer}$ – a rendszer puffertároló nélküli térfogata [m^3]
- $T_{v,szek}$ – a szekunder oldal visszatérő hőmérséklete [K]
- x – a vízben lévő jég koncentrációja [%/100]
- $\rho_{j\acute{e}g}$ – a víz sűrűsége [kg/m^3]
- $L_{olvadásh\acute{o}}$ – a jég olvadáshője [kJ/kg]

Összehasonlításképpen a 3.10, 3.12 és 4.2 egyenletekből kifejezhető az éjszakai teljes betároláshoz szükséges minimális puffertérfogat víz közeg alkalmazása esetén:

$$V_{puffer,min} = \frac{3600 \cdot Q_{puffer,min}}{c_{v\acute{z}} \cdot \rho_{v\acute{z}} \cdot (T_{v,szek} - T_{e,szek})} - V_{rendszer} = \quad (4.2)$$

$$= \frac{3600 \cdot 5200}{4,18 \cdot 980 \cdot (279 - 274)} - 10 = 903,97 [m^3]$$

Ahol:

- $V_{puffer,min}$ – a puffertároló minimális tárolótérfogata [m^3]
- $Q_{puffer,min}$ – a puffertároló minimális energiakapacitása [kWh]
- $c_{v\acute{z}}$ – a víz fajhője [$kJ/(kg \cdot K)$]
- $\rho_{v\acute{z}}$ – a víz sűrűsége [kg/m^3]
- $V_{rendszer}$ – a rendszer puffertároló nélküli térfogata [m^3]

- $T_{v,szek}$ – a szekunder oldal visszatérő hőmérséklete [K]
- $T_{v,szek}$ – a szekunder oldal visszatérő hőmérséklete [K]

A kapott eredményekből látható, hogy még jégakkumulációs puffer használata esetén is rendkívül nagy tárolótérfogatot igényelne az éjszakai, teljes betárolás. Hidegvizes puffertárolók alkalmazása mellett azonban még ennek is a többszörösére lenne szükség. Ezáltal jobban érzékelhetővé válik a magas energiasűrűségű hőtárolás jelentősége.

Szabadhűtés alkalmazhatóságának vizsgálata

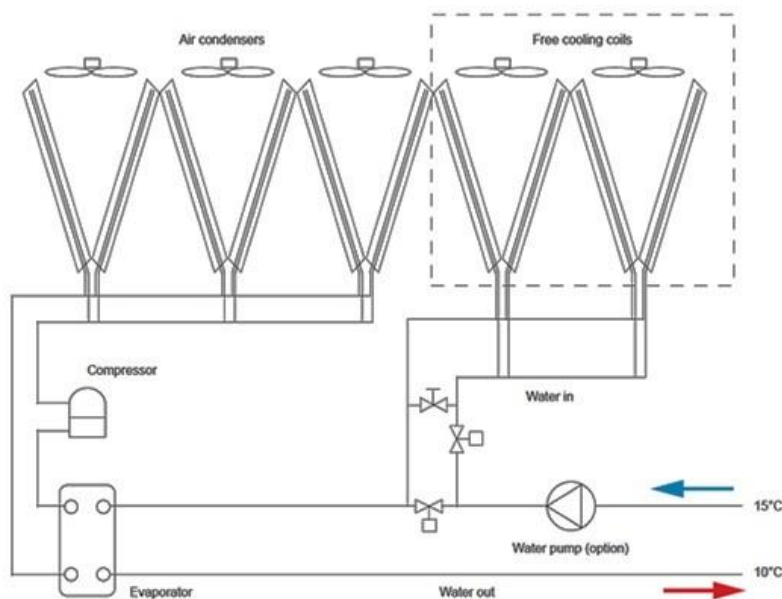
A hűtés energiahatékony és környezetbarát módon történő megvalósításának egy másik alternatívája a szabadhűtés alkalmazása. A módszer leegyszerűsített lényege az, hogy egy alacsonyabb energiájú külső közeggel képesek lehetünk energia elvonására a hűteni kívánt térből vagy berendezésből. Erre alkalmas közeg lehet akár a külső levegő, víz (tó, folyó, talajvíz, rétegvíz) vagy a talaj. Mivel ezek általánosságban könnyen hozzáférhetőek, így jó lehetőségeket kínálnak a technológia alkalmazására. [42]

A szabadhűtés alkalmazhatóságát meghatározó főbb tényezők a földrajzi elhelyezkedés és éghajlati viszonyok, illetve a hűtésttechnikai rendszer igényei. A külső és a klimatizálni kívánt hely közötti hőmérsékletkülönbség nagyban befolyásolja, hogy milyen hatékonysággal és milyen időszakban valósítható meg a szabadhűtés. Ennek függvényében a komfortot és az ipart kiszolgáló alkalmazásokat célszerű különválasztani. Előbbi esetén a magasabb belső hőmérsékletnek köszönhetően a teljesítményigény nagyobb arányban és egyszerű kialakítás mellett lehet. A technológiai felhasználásoknál az alacsony hőfoklépcső miatt ennél nagyobb körütekintésre lehet szükség a szabadhűtés alkalmazhatóságának megvizsgálására. [42] [43]

A szabadhűtés alkalmazható például lég- és folyadékhűtéses hűtőgépeknél, hőszivattyúknál, szárazhűtőknél, légkezelő berendezéseknél és fan-coil készülékeknél is. A léghűtéses folyadékhűtőknél az egyik legnépszerűbb kivitel a szabadhűtési opcióra, amikor a kondenzátor mellé, az elpárologtató felőli oldalon egy vizes hőcserélőt építenek be. Ezzel egy csővezetékrendszeren keresztül megvalósíthatóvá válik a kompresszoros, valamint a szabadhűtés is. [42]

Csak szabadhűtés esetén a hűtőgépben kizárólag a kondenzátor-ventilátoroknak szükséges működniük, melyek átmozgatják a levegőt a vizes hőcserélőn. Így a kompresszormunka megtakarítható és csak a ventilátorok villamos teljesítményfelvétele számít az energiafogyasztásba. Amennyiben azonban a szabadhűtés önmagában nem képes biztosítani a

teljes hűtési-igényt, a kompresszornak akkor is elegendő lehet kisebb nyomáskülönbséget létrehoznia. Ezt a rendszerkapcsolást mutatja be a **17. ábra**. [42] [44]



17. ábra Szabadhűtés kihasználásának egyik alternatívája léghűtéses folyadékhűtők esetében [42]

A szabadhűtést kihasználó megoldások többsége nem csak új beruházások esetén, hanem meglévő létesítményeknél is alkalmazható. Összefoglalva, a szabadhűtés egy effektív alternatívát nyújthat az energiatakarékos és környezettudatos rendszerek kiépítésére. Egyszerű és költséghatékony megvalósíthatósága miatt pedig belátható időn belül megtérülhet a kialakításra fordított befektetés. [43] [45]

4 Összefoglalás

Dolgozatom első fejezetében a vizsgált gyógyszergyárat mutattam be. Ismertettem a gyógyszergyártás folyamatát meghatározó belső környezeti követelményeket, melyeket különböző szabványok segítségével határozhatunk meg. Ezt követően részleteztem a gyógyszergyár jelenleg működő hűtési rendszerének főbb paramétereit, illetve a fogyasztók teljesítményigényét. Ezeket egy egyszerűsített elvi kapcsolás segítségével igyekeztem hatékonyan szemléltetni. Végezetül pedig összegeztem az egyes körökre vonatkozó hűtési teljesítményigényeket, melyeket a későbbi számításaim során használtam fel.

A következő fejezetben megvizsgáltam a hidegenergia termelésének két formáját, az abszorpciós, illetve kompresszoros hűtőgéppel történő hűtést. Ezt követően ismertettem a hidegenergia tárolásának szenibilishő, kémiai hőtartalom és látenshő segítségével történő formáit. Bemutattam napjaink egyik leggyakrabban alkalmazott megoldását a hidegenergia tárolására, a hidegvizes pufferrel ellátott rendszert. Végezetül ismertettem a látenshőben rejlő lehetőségek kihasználásával egyre elterjedtebb jégakkumulációs rendszer működését, illetve az ezt meghatározó főbb paramétereket.

Dolgozatom harmadik részében a hűtési rendszer hatékonyabb vizsgálata érdekében újra kellett választanom a gyógyszergyár hűtőgépeit, majd ábrázoltam az általam vizsgált három rendszeralternatíva egyszerűsített elvi kapcsolását. Ismertettem a hűtőgép kompresszorok óránkénti kapcsolási számának meghatározására szolgáló összefüggéseket, majd elvégeztem ezek kiszámítását a három rendszervariációra vonatkozóan. A kapott eredményeket diagram segítségével is igyekeztem hatékonyabban szemléltetni. Végezetül továbblépési lehetőségként vázoltam a napi hűtési teljesítményigény éjszakai betárolását és az ahhoz szükséges tárolótérfogatot, illetve a szabadhűtés hasznosíthatóságának vizsgálatát.

Összefoglalva a kapott eredményeket, a nagyobb energiasűrűségű hőtárolás lehetővé teheti a hűtőgépek óránkénti kapcsolási számának jelentős csökkentését. Ezen felül a jégakkumulációs puffer a rendszer tartalék hűtőkapacitását megnövelve jelentősebb biztonsági tartalékot tud nyújtani a rendszer számára. Ez egy gyógyszergyár épülete esetében különösen fontos szempont lehet. Ezek alapján a jégakkumulációs puffertartályok használata nagyban hozzájárulhat a hűtőgépek és a hűtési rendszerek hatékonyabb, biztonságosabb és hosszabb távú üzemeltetéséhez.

Dolgozatom zárásaként szeretném megköszönni a Körös Campus Alapítvány, a Debreceni Talentumok Alapítvány és Debreceni Egyetem Tehetséggondozó Programjának támogatását.

Irodalomjegyzék

- [1] „europa.eu,” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210311-1?redirect=%2Feurostat%](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210311-1?redirect=%2Feurostat%20). [Hozzáférés dátuma: 2023 9 26].
- [2] „OMSZ,” [Online]. Available: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idojarasa/main.php?no=2&ful=3. [Hozzáférés dátuma: 2023 09 26].
- [3] G. Dr. L. Szabó és S. Józsa, Szerzők, *Jegesvizes puffertárolók hűtési alkalmazhatóságának vizsgálata egy.* [Performance]. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2024 Konferencia.
- [4] „hutoepito.hu,” [Online]. Available: <https://hutoepito.hu/nelkulozhetetlen-informaciok-a-tisztateri-szabvanyokrol/>. [Hozzáférés dátuma: 12 05 2024].
- [5] „hutoepito.hu,” [Online]. Available: <https://hutoepito.hu/tisztateri-szabvanyok-osszehasonlitas/>. [Hozzáférés dátuma: 12 05 2024].
- [6] *ISO 14644-1 - Cleanrooms and associated controlled environments - Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*, International Organization for Standardization, 2015.
- [7] *The Rules Governing Medicinal Products in the European Union Volume 4 EU Guidelines for Good Manufacturing Practice for Medicinal Products for Human and Veterinary Use*, 2022.
- [8] *Az Európai Unió Gyógyszerszabályozási Előírásai - 4. kötet - 1. Rész - 3. Fejezet : Helyiségek és Berendezések*, 2003.
- [9] *The Rules Governing Medicinal Products in the European Union Volume 4 Good Manufacturing Practice Guidelines on Good Manufacturing Practice specific to Advanced Therapy Medicinal Products*, 2017.
- [10] „hutoepito.hu,” [Online]. Available: <https://hutoepito.hu/tisztateri-a-gyakorlatban/>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [11] „dbhir.com,” [Online]. Available: <https://stat.dbhir.com/telepules/G%C3%B6d%C3%B6ll%C5%91>. [Hozzáférés dátuma: 21 04 2024].
- [12] WENFIS Mérnök Iroda Kft, „GÖDÖLLŐ VÁROS TELEPÜLÉSI KÖRNYEZETVÉDELMI PROGRAMJA 2021 - 2026,” Gödöllő, 2020.
- [13] HBHE, BFVT, HÉTFA, PESTTERV, Pro Régió és Városkutatás, „ITS Gödöllő 2015-2020. (Megalapozó vizsgálat - Helyzetfeltárás és helyzetelemzés)”.

- [14] „Consilium,” [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/hu/press/press-releases/2023/10/09/renewable-energy-council-adopts-new-rules/>. [Hozzáférés dátuma: 01 10 2024].
- [15] „Magyar Energetikai Társaság - Ifjúsági Tagozat,” [Online]. Available: https://energiam.blog.hu/2019/09/27/hutes_melegvizzel_az_abszorpcios_hutogepekrol_roviden. [Hozzáférés dátuma: 26 9 2023].
- [16] B. Le Lostec, N. Galanis és J. Millette, „Simulation of an ammonia-water absorption chiller,” 2013.
- [17] „Blogger,” [Online]. Available: <http://mithogyanbiztosanne.blogspot.com/2013/07/abszorpcios-hutogep.html>. [Hozzáférés dátuma: 26 09 2023].
- [18] K. Árokszállási, Hőtárolás - a jövő technológiája, Érd: Roxa Kft., 2011.
- [19] R. Sánta, *A kompresszoros hőszivattyúk üzemének szimulációja és optimalizációja az épületgépészetben*, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2014.
- [20] „Wikipedia,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C5%91zkompresszi%C3%B3s_h%C5%B1t%C5%91g%C3%A9p. [Hozzáférés dátuma: 26 9 2023].
- [21] Z. Dr. Jakab, L. Dr. Láng és I. Dr. Csury, *Kompresszoros hűtés I.*, Magyar Mediprint Szakkiadó Kft., 2000.
- [22] „Magyarország Kormánya,” [Online]. Available: <https://nemzetiklimavedelmihatosag.kormany.hu/v2/tananyag/tankonyv/161-rendszerelemek-a-hutokorfolyamatban>. [Hozzáférés dátuma: 26 9 2023].
- [23] G. L. Szabó, „Épületek sugárzó hűtési rendszereinek energetikai és exergetikai vizsgálata - egyetemi doktori értekezés,” Debreceni Egyetem, Debrecen, 2019.
- [24] Z. Andrassy, „Fázisváltó anyaggal töltött hőtároló modellezése, optimalizálása és épületgépészeti rendszerekbe illesztése,” Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2021.
- [25] S. Varga-Grund, „Biogáz-tüzelésű gázmotor hulladékhőjének szezonális hőtároláson keresztüli hasznosíthatóságának vizsgálata,” Miskolci Egyetem, Miskolc, 2021.
- [26] T. Borbély, *Szilárd töltetű hőtároló optimális kialakítása*, Veszprém: Pannon Egyetem, 2014.
- [27] L. Dr. Fülöp, Szerző, *SZEZONÁLIS HŐTÁROLÓ NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSRA*. [Performance]. Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar.
- [28] G. B. -. P. Gilli, *A hő tárolása*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1987.
- [29] J. Tamasauskas, M. Poirier, R. Zmeureanu és R. Sunye, „Modeling and optimization of a solar assisted heat pump using ice slurry,” 2012.

- [30] G. L. Szabó, Fan-coil hűtési rendszerek tervezése, Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press, 2020.
- [31] M. Kauffeld, M. J. WANG, V. Goldstein és K. E. Kasza, „ICE SLURRY APPLICATIONS,” 2010.
- [32] D. Várjon, Gazdaságos lég- és hűtőtechnikai berendezések, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1985.
- [33] Q. Tian, G. He, H. Wang és D. Cai, „Simulation on transportation safety of ice slurry in ice cooling system of buildings,” 2013.
- [34] T. Wu, N. Zhu, Z. Hu, Z. Luo, P. Hu és F. Lei, „Numerical study on critical flow velocity of ice slurry in the pipe of ice source heat pump system,” 2023.
- [35] T. Yu, Q. Du, M. Chen, Y. Chen, W. Song és Z. Feng, „Research progress of mobile cold storage using ice slurry,” 2023.
- [36] M. Ignatowicz és B. Palm, „Experimental investigation of thermophysical properties of ethylene glycol based secondary fluids,” *International Journal of Refrigeration*, 2023.
- [37] „Wikipedia,” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Trane>. [Hozzáférés dátuma: 13 10 2024].
- [38] „gsdhvac.com,” [Online]. Available: <https://gsdhvac.com/Product%20Documents/Trane-RTAF-Installation-Operation-Maintenance-gsdhvac.com-hvac-r-Technologies.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 21 10 2024].
- [39] „Trane,” [Online]. Available: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/es/product-systems/catalog/sintesis_prime_rtaf_air-cooled_chiller.pdf. [Hozzáférés dátuma: 21 10 2024].
- [40] „Trane Hong Kong,” [Online]. Available: https://www.tranek.com/files/Products/RLC-PRC046D-GB_0416.pdf. [Hozzáférés dátuma: 22 10 2024].
- [41] K. Bilen és K. Dağdır , „Usage of R513A as an alternative to R134a in a refrigeration system: An experimental investigation based on the Kigali amendment,” *International Journal of Thermofluids*, 2024.
- [42] G. Péter, „Szabadhűtés, mint energiatakarékos, környezetbarát megoldás,” *VGF&HKL Szaklap*, 2016/6.
- [43] S. Ákos, „A szabadhűtés egyszerű megoldásai,” *VGF&HKL Szaklap*, 2023/9.
- [44] L. Tivadar, „Energiamegtakarítás a hűtéstechnikában,” *VGF&HKL Szaklap*, 2021/7-8.
- [45] E. Csaba, „Hűteni télen is kell,” *VGF&HKL Szaklap*, 2022/1-2.