

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**KOVÁCS TAMÁS**  
létesítménymérnök MSc

**Gödöllő**  
**2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Szent István Campus**

**Létesítménymérnöki MSc**

**Edzőterem épületgépészeti rendszereinek vizsgálata  
üzemeltetési és energetikai szempontból**

**Belső konzulens:** Dr. Hermanucz Péter  
egyetemi docens

**Külső konzulens:** Csiszár Zsolt  
műszaki igazgató

**Készítette:** **Kovács Tamás**  
ZSUOLO  
levelező tagozat

**Intézet/Tanszék:** **Műszaki Intézet**  
Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

**Gödöllő**  
**2023**

**MŰSZAKI INTÉZET LÉTESÍTMÉNYMÉRNÖKI MESTERSZAK**  
**létesítményüzemeltető-energetikai specializáció**

**DIPLOMADOLGOZAT**

feladatlap

*Kovács Tamás (ZSUOLO)*

részére

**A diplomadolgozat címe:**

**Edzőterem épületgépészeti rendszereinek vizsgálata üzemeltetési és energetikai szempontból**

**Feladatkiírás:**

A dolgozat célja egy Budapest belvárosában található edzőterem energetikai korszerűsítési lehetőségeinek vizsgálata épületgépészeti oldalról. A szakirodalmi áttekintés során sorra vesszük a főbb energiamegtakarítási lehetőségeket. A dolgozatban a létesítmény fűtési-hűtési és légtechnika rendszere áttervezésre kerül, majd végül egy becslés készül az az új rendszer várható energiafelhasználására.

**Közreműködő tanszék:** Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

**Külső konzulens:** *Csiszár Zsolt műszaki igazgató, „KLIMA” Kft. 1131 Budapest, Reitter Ferenc utca 132.*

**Belső konzulens:** *Dr. Hermanucz Péter egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet*

**Beadási határidő:** 2022 november 2.

Gödöllő, 2022.        hó        nap

**Jóváhagyom**

(tanszékvezető)

*Jabai Mária*  
(szakfelelős)

**Átvettem**

(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2022.        hó        nap

*Csiszár Zsolt*  
Csiszár Zsolt

## Tartalom

1.	Bevezetés .....	6
2.	Energetikai háttér.....	6
3.	Hővisszanyerésen alapuló energiamegtakarítási lehetőségek .....	6
3.1	Szabadhűtés.....	7
3.2.	Szennyvíz hővisszanyerés.....	9
4.	Hőszivattyús rendszerek alkalmazása.....	12
5.	VRV/VRF rendszerek.....	16
6.	Komfort paraméterek.....	21
7.	A létesítmény meglévő rendszereinek bemutatása .....	24
7.1.	Helyiségek .....	24
7.2.	Épületgépészeti rendszerek általános leírása .....	24
8.	Energiafogyasztás .....	25
8.1.	Gázfogyasztás .....	25
8.2.	Villamos energiafogyasztás .....	26
8.3.	Vízfogyasztás .....	26
9.	Üzemeltetési szokások és igények.....	28
9.1.	Méretezési paraméterek összehasonlítása az üzemeltetési tapasztalatokkal .....	29
10.	Új méretezési paraméterek meghatározása.....	30
10.1.	Fűtési hőszükséglet, nyári hőterhelés .....	30
10.1.1.	Becslés fogyasztási adatokból .....	30
10.1.2.	Számítás WinWatt programmal.....	32
10.2	HMV előállítási teljesítmény becslése .....	36
10.3.	Frisslevegő szükséglet számítása.....	41
11.	Rövid távú javaslatok .....	43
11.1.	Folyadékhűtő modulációs lehetőségének helyreállítása.....	43
11.2.	Szabadhűtés megvalósítása .....	45

11.3.	Splitklímák telepítése .....	45
12.	Javasolt fűtési-hűtési rendszer: Háromcsöves VRF rendszer .....	47
12.1.	A tervezett rendszer leírása .....	47
12.2.	Alkalmazott hűtőközeg tulajdonságai (Zoltán V. , 2023) .....	50
12.3.	Kivitelezési szempontok.....	53
13.	Frisslevegő ellátás.....	55
14.	Tervezett rendszerrel elérhető energiamegtakarítás .....	58
14.1.	Hűtés.....	58
14.2.	Fűtés, HMV .....	59
14.3.	Eltérő energiahatékonyságú kültéri egységek vizsgálata .....	60
15.	Összefoglalás .....	62
16.	Summary.....	63
17.	Irodalomjegyzék .....	65
18.	Mellékletek listája.....	70

## **1. Bevezetés**

A dolgozat célja egy Budapest belvárosában található edzőterem energetikai korszerűsítési lehetőségeinek vizsgálata épületgépészeti oldalról. A létesítmény üzemeltetője az energiafogyasztás csökkentése mellett számos igényt fogalmazott meg a megvalósítandó rendszerrel kapcsolatban. A szakirodalmi áttekintés során sorra vesszük a főbb energiamegtakarítási lehetőségeket, amelyek a létesítmény meglévő rendszerét figyelembe véve megvalósíthatók. Ezeknek a lehetséges megoldásoknak a működési elve, főbb ismérvei is bemutatásra kerülnek.

A dolgozatban a létesítmény fűtési-hűtési és légtechnika rendszere áttervezésre kerül, a helyes tervezési paraméterek megválasztásához számos szakirodalomban fellelhető forrásból meríttem. A méretezést az épületgépészeti rendszerek tervezése, a tervezett rendszer működésének leírása követi, majd végül egy becslés készül az az új rendszer energiafelhasználására, így a régi rendszerhez képest a megtakarított energia számítható.

## **2. Energetikai háttér**

A 2022-es évben a földgáz, valamint az elektromos áram ára is jelentősen nőttek, ez az áremelkedés az eddig korszerűtlen épületgépészeti rendszereket üzemeltető fogyasztókat is érdekeltté tette energiahatékonyabbá és növelő beruházások megvalósításában.

Az Magyarországon a földgáz ára nem háztartási fogyasztók számára 2021 1. félévében 7,44 HUF/kWh volt míg 2022 1. félévére ez közel háromszorosára 20,9 HUF/kWh-ra nőtt. (EUROSTAT, 2023).

A villamos energia ára szintén az előző forrás adatai alapján közel megkétszereződött, 35,8 HUF/kWh-ról 59,9 HUF/kWh-ra emelkedett. (EUROSTAT, 2023)

Mindezeket figyelembe véve a létesítményüzemeltetők részére kiemelt fontos feladattá vált az épületgépészeti rendszereik veszteségének csökkentése, valamint az energiaárak növekedése kedvezően hatott az energetikai fejlesztési célú beruházások megtérülésére.

## **3. Hővisszanyerésen alapuló energiamegtakarítási lehetőségek**

A vizsgált létesítményben alkalmazható energiahatékonyabbá és növelő, a veszteségek csökkentésére irányuló épületgépészeti lehetőségek közül néhány az alábbiakban kifejtésre kerül.

### 3.1 Szabadhűtés

A szabadhűtés alapvető funkciója a külső levegő felhasználása hűtési feladat ellátására. Stasi és társai (Roberto Stasi, 2022) esettanulmányt végeztek egy ~1000 m<sup>2</sup> alapterületű olaszországi lakóépületre, amelyben kifejtették hogy milyen hűtési energiamegtakarítással jár különböző szabadhűtési stratégiák alkalmazása. Többek között három ilyen hibrid szellőztetési stratégiát vizsgáltak:

1. Föld-levegő hőcserélő: 200 mm átmérőjű lefektetése a talaj alá összesen 80 m hosszban, 3,5 m mélyen a talajszint alatt, amin keresztül a levegőt 3°C hőmérsékletkülönbség esetén ventilátorokkal az épület belsejébe vezetik.
2. Éjszakai szellőztetés: Automatikusan nyíló bukóablakok alkalmazása, amely 22:00 és 6:00 között nyitott állapotban vannak.
3. Szabadhűtés: Külső levegő vezetése ventilátorokkal a meglévő légszűrőrendszerbe, amennyiben az hűtésre felhasználható.

A szimuláció eredményeit a következő táblázatban foglalták össze, ami havi bontásban mutatja be az egyes stratégiák hűtésre felhasznált villamosenergia mennyiségének csökkenését:

Hűtési energiafelhasználás csökkenése havi bontásban							
	ÁPR.	MÁJ.	JÚN.	JÚL.	AUG.	SZEPT.	OKT.
FÖLD - LEV HCS	-25.9%	-32.1%	-24.4%	-15.4%	-18.0%	-25.6%	-22.4%
ÉJSZAKAI SZELL.	-1.9%	-17.2%	-16.6%	-9.0%	-13.8%	-21.8%	-17.2%
SZABADHŰTÉS	-19.7%	-16.6%	-8.8%	-2.7%	-7.6%	-9.9%	-21.1%

1. ábra: A három lehetséges szellőztetési stratégia lehetséges hűtési energiamegtakarításai havi bontásban [ (Roberto Stasi, 2022)] nyomán

A szerzők eredményei szerint minden hónapban a föld-levegő hőcserélő alkalmazása csökkentette a leginkább a hűtésre felhasznált villamosenergia mennyiségét, az éjszakai szellőztetés átmeneti időszakban kevésbé volt hatékony mint a szabadhűtés, viszont csúcsideőszakban hatékonyabbnak bizonyult.

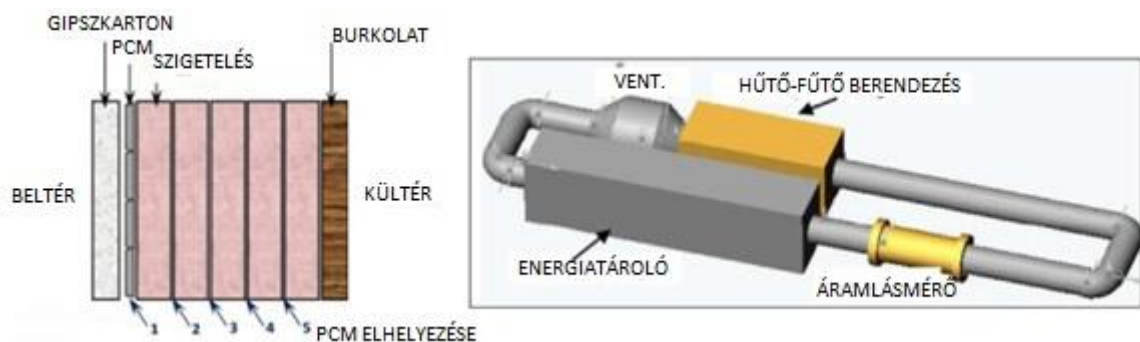
Ez az egyszerű elv tovább kombinálható hőtároló anyagok és különleges fázisállapotváltozást végző anyagok (továbbiakban PCM) alkalmazásával, melyek alkalmazásával az anyag látens hőjét tárolhatjuk el. Ezen módszerekről Muriel (Muriel Iten, 2016) átfogó elemzést végzett és a lehetséges alkalmazásokat passzív és aktív kategóriákba sorolták. A passzív módszerek elsősorban az épületburok hőtároló tömegét növelik speciális

épületszerkezeti megoldásokkal, míg az aktív megoldások a meglévő épületgépészeti rendszerekbe integráltan működnek.

A passzív megoldások során többek között falszerkezetbe integrálták, de vizsgáltak megoldásokat nyílászárókba valamint födém és padlószerkezetekbe történő beépítésre is. Egyes kutatásokban a falba szerelt PCM elemek akár 27%-kal is csökkentették egy déli tájolású falon átáramló hőmennyiségét ( Yangbing K, 2003), a csúcshőterhelést 51,3%-kal csökkentette, valamint az megnövekedett hőtárolási kapacitásnak következtében a csúcsterhelés 6,3 órával később jelentkezett az épületen belül a környezethez képest.

Muriel és társai cikkükben több hátrányt is említettek, ami gátat szab a passzív technológiák gyakorlati alkalmazásának, ezek többek között:

- Az alacsony hőátadási tényező a falfelület és a belső levegő között korlátozza a hőtároló képességet
- Kellemetlen szagterhelés jelentkezik a PCM falpanelel ellátott helyiségekben
- Egy kísérlet során a PCM falpanelel ellátott helyiségekben található fémes felületeken korrózió jelentkezett
- A kísérletek során használt PCM anyagok nem felelnek meg a legtöbb tűzvédelmi követelménynek



2. ábra: Példa PCM anyagok passzív (bal) és aktív (jobb) alkalmazására (Muriel Iten, 2016) nyomán

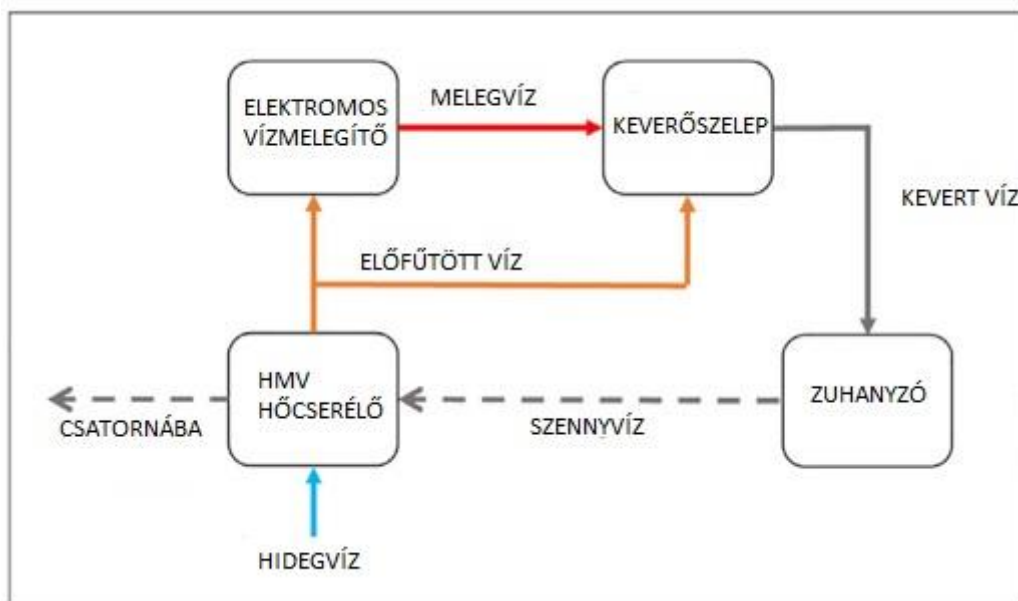
Az aktív módszerek közül kiemelkedő eredménynek számít (Yangbing K, 2003) által alkalmazott PCM-el ellátott mennyezeti panel, melyen keresztül egy ventilátor áramoltatta a külső levegőt és akár  $12-19 \text{ W/m}^2$  totál hűtőteljesítményre is képes volt. A legtöbb vizsgált rendszer a gyakorlati alkalmazáshoz túl alacsony mennyiségű hőt volt képes eltárolni, például egy vizsgált kísérlet  $40 \text{ W}$  hűtőteljesítményt adott le az anyag a 19 órás olvadási periódusa alatt.



Összeségében a fentiek alapján kijelenthetjük, hogy a jelenleg működő szabadhűtési stratégiák alkalmazásával éves szinten akár 10~20%-kal is csökkenthető a hűtésre felhasznált villamosenergia az éghajlattól függően, továbbá hogy az ezt tovább javítandó PCM anyagok bár jelenleg a gyakorlatban nem alkalmazhatók, számos kutatás irányul ezek fejlesztésére.

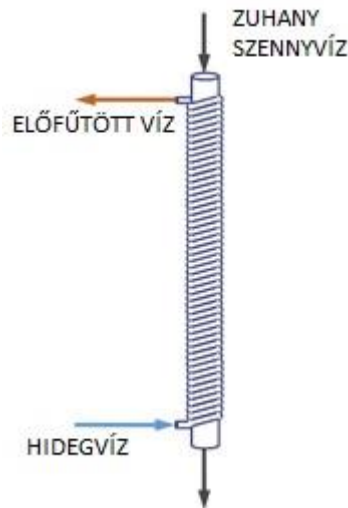
### 3.2. Szennyvíz hővisszanyerés

A vizsgált létesítmény HMV fogyasztása edzőterem jellegéből fakadóan kiemelkedően magas, aminek legnagyobb része zuhanyzásra fordítódik. (Anusha Ravichandran, 2021) kutatásaik során a szennyvíz hővisszanyerő rendszerek lehetőségeit és fenntarthatóságát vizsgálták. A vizsgált rendszer működési elvét az 3. ábra mutatja be:



3. ábra: Ravichandran hővisszanyerős rendszerének működési elve [Ravichandran et al. (2021)] nyomán

A zuhanyból kilépő és csatornából távozó vizet egy hőcserélőn keresztül előmelegítették, majd ezt az előmelegített víz egy részét a hőtermelőbe vezették, egy részét pedig keverőszelepen keresztül jutott a zuhanyhoz. A vizsgált hővisszanyerő a 4. ábra szerinti kialakítású, hossza 40 col (1016 mm).



4. ábra: Henderson és Hewitt kutatásában vizsgált hőcserélő [ (P Henderson, 2001)] nyomán

A hőcserélő függőlegesen és vízszintesen is telepíthető, előbbi közel 75%, utóbbi 50% hatásfokkal működik (P Henderson, 2001) kutatása szerint. Ravichandran et al. (2021) elemzése során egy ilyen hőcserélő 20 éves élettartama alatt akár 41,176 kWh hőt is visszanyerhet egyéb kedvező paraméterek esetén, és 2-6 éven belüli megtérülési idővel beépíthetők különböző amerikai családi házakba.

A kutatási eredmények alapján a technológia alkalmazásának lehetőségeit érdemes megvizsgálni az edzőteremben, kiváltképp mivel az edzőterem 3 gépháza a vizesblokkok alatti szinten helyezkedik el, így akár a jobb hatásfokú függőleges telepítés is megvalósítható lehet.

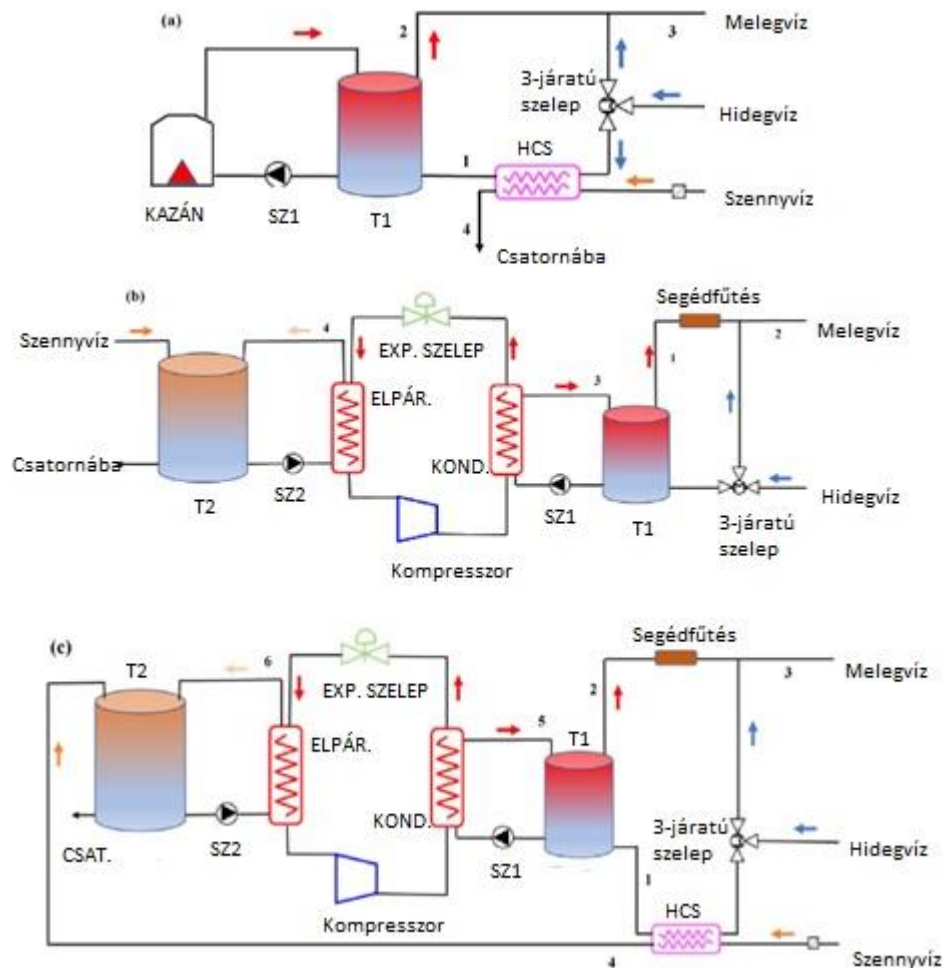
A fenti módszer hátránya, hogy a hővisszanyerés nem időzíthető, a zuhanyzással egyidőben jön létre a hővisszanyerés. Ez a hátrány kiküszöbölhető egy tároló beépítésével, és egy víz-víz hőszivattyús kör közbeiktatásával.

(Dongwei Zhang, 2023) egy hotelben vizsgálta ennek a hatékonyságát. A 5. ábrán láthatjuk. A felső „A” változat a Ravichandran kísérletének megfelelő hővisszanyerési kapcsolást mutatja be. A „B” változatban hőhasznosító hőcserélő helyett az említett víz-víz hőszivattyús kör kerül beépítésre egy szennyvíz tároló tartállyal. A „C” változat az előző kettő kombinációja, ahol beépítésre kerül a hőhasznosító hőcserélő és a hőszivattyús kör is. A három lehetséges módszert összehasonlítva a szerzők a következőt állapították meg:

- A „C” változatban a legkisebb az éves energiafogyasztás, és a nyári hónapokban a segéd hőtermelő nélkül ki tudja elégíteni a hotel HMV igényét. A hőhasznosító hőcserélő alkalmazása a „B” változathoz képest 58,57%-kal csökkentette a

felhasznált energiát, viszont a hőcserélő alkalmazásával a közbeiktatott hőszivattyú COP-je 10,04%-ot csökkent a hőcserélő nélküli változathoz képest. Ez a magasabb belépő vízhőmérséklettel, és a hőforrás alacsonyabb hőmérsékletével magyarázható.

- Bár az „A” változathoz képest 43,69%-kal kevesebb éves energiát használ fel a „B” változat, mégis több CO<sub>2</sub> kibocsátással jár. A „C” változat viszont az „A” változathoz mérten 33,99 tonnával kevesebb CO<sub>2</sub>-t termel évenként, és 76,67%-kal kevesebb energiát használ fel.
- Egyértelműen kijelenthető, hogy környezetvédelmi szempontból a „C” változat a legkedvezőbb. A vizsgált rendszereknél a közvetett SO<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub> kibocsátás magasabb volt a hőszivattyús alkalmazásnál mint a földgáz tüzelésű kazánál, ez viszont az energiafelhasználás helyétől távol, az áram megtermelésének helyén jelentkezett, ahol központi kénmentesítő és denitrifikáló eljárásokkal kezelhető. Fontos továbbá megjegyezni, hogy villamos energiafelhasználásból eredő környezeti szennyezés vizsgálatánál mindig figyelembe kell venni az adott ország energiamixét. A kutatás Kínában készült, ahol 2020-ban több mint 60%-ban szén alapon állították elő a villamos energiát. (IEAA, 2023). Magyarországon ezzel szemben a villamos áram megtermelése kevesebb mint 40%-ban történt földgáz és szén alapú, CO<sub>2</sub> kibocsátással járó erőművekben (IEAA, 2023). Így elmondható, hogy nálunk az egységnyi megtermelt villamos energia alacsonyabb CO<sub>2</sub> kibocsátással jár, ami alapján a szerzők konklúziója a hazánkban még erősebb érvényű.



5. ábra: Zhang három szennyvíz hővisszanyerő modellje: csak hőcserélő alkalmazása (legfelül); köztes víz-víz hőszivattyú alkalmazása (középen), és az előző kettő kombinációja (alul) [ (Rongpeng Zhang, 2018)] nyomán

#### 4. Hőszivattyús rendszerek alkalmazása

A vizsgált létesítményben jelenleg a fűtési energiát gázkazán állítja elő, a hűtést pedig egy folyadékhűtő biztosítja, amely fűtési üzemre nem alkalmas. Az előzőekben bemutatott energiaárak változásával érdemes megvizsgálnunk az átállást hőszivattyús fűtési megoldásra. A gázkazános rendszerekről történő átálláskor azonban több tényezőt figyelembe kell vennünk, mivel mindkét rendszernek megvannak az előnyei és hátrányai, ezek közül néhányat az alábbiakban foglaltam össze:

A gázkazános rendszerek főbb előnyei a hőszivattyús rendszerekkel szemben:

- - külső hőmérséklet nem befolyásolja a teljesítményt
- magas hőmérsékletű víz is egyszerűen előállítható
- berendezés beruházási költsége alacsony

A gázkazános rendszerek főbb hátrányai a hőszivattyús rendszerekkel szemben:

- földgáz ára 2021 és 2022 között háromszorosára nőtt, míg a villany csak kétszeresére [ (EUROSTAT, 2023)]
- külön közműcsatlakozás szükséges, aminek kiépítése költséges ha nem áll rendelkezésre
- égéstermék elvezető kialakítása szükséges
- CO2 kibocsátás üzem közben a felhasználás helyén

A hőszivattyús rendszerek főbb előnyei a gázkazános rendszerekkel szemben:

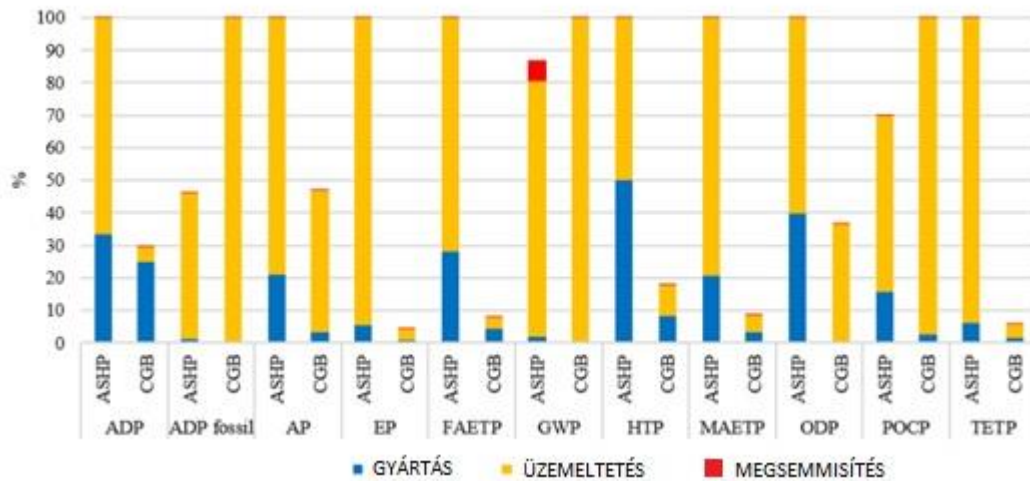
- magas szezonális jósági fok (akár 4-4,2)
- villamos energia kedvező ára
- levegőszennyezés nem a felhasználás helyén keletkezik
- lehetőség megújuló energiából termelt áram felhasználására
- hűtés-fűtés egy berendezéssel megoldható

A hőszivattyús rendszerek főbb hátrányai a gázkazános rendszerekkel szemben:

- fűtési teljesítmény a legtöbb gépben esik a környezeti hőmérséklet csökkenésével (kivéve gőzbefecskendezéses kompresszoros gépek)
- magas hőmérsékletű víz (HMV) előállítására alacsony hatékonysággal vagy egyáltalán nem képes
- víz-levegő vagy levegő-levegő rendszer esetén zajterhelés a telepítés helyén
- a rendszer fűtési üzemben leolvaszt, ezzel a veszteséggel számolni kell, légkezelőre dolgozó rendszerek esetén ezt ellensúlyozni szükséges
- a felhasznált hűtőközegek üvegházhatása magas, szivárgás esetén a légkörbe jutva környezetszennyező hatású.

Az összefoglalásból látható, hogy egyértelműen nem jelenthető ki egyik rendszerről sem hogy jobb mint a másik, sem gazdasági sem pedig környezetvédelmi szempontból.

(Gabriel Naumann, 2022) teljes életciklus elemzést végzett egy kondenzációs gázkazános és egy víz-levegős hőszivattyús rendszerre, 11 kategóriában értékelve a két változatot.



6. ábra: Naumann teljes életciklus vizsgálatának eredményei kondenzációs gázkazán (CGB) és víz-levegő hőszivattyús (ASHP) rendszerekre (Gabriel Naumann, 2022) nyomán

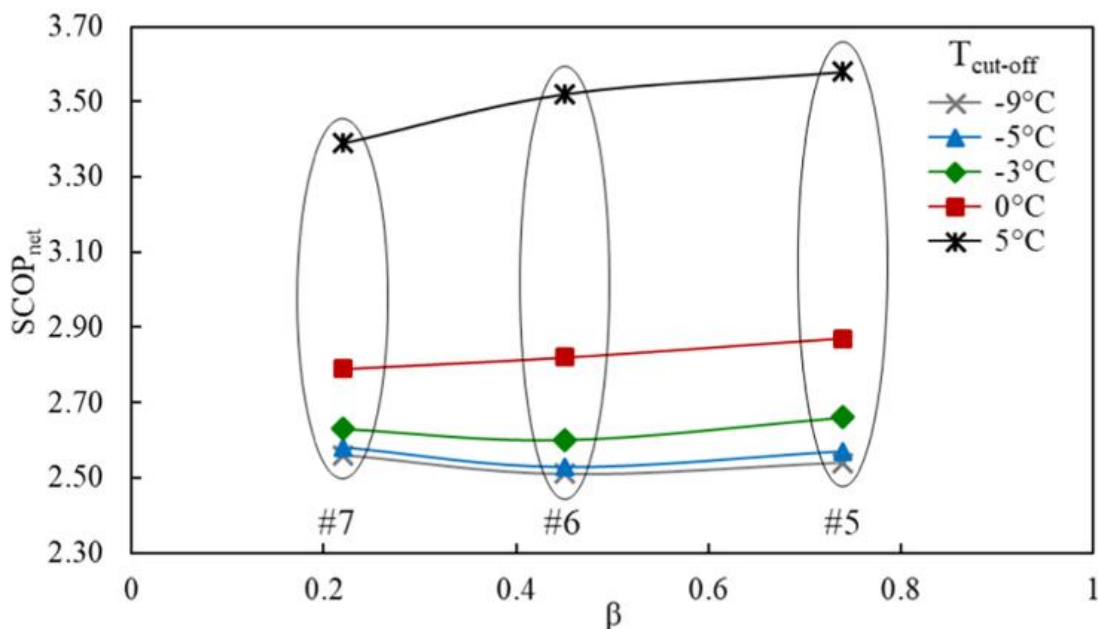
Az eredményeket a 6. ábra tartalmazza, ahol az ASHP a levegő víz hőszivattyú, a CGB a kondenzációs gázkazán értékeit mutatja. A 11 értékelt kategória a következő:

- Abiotikus kimerülési potenciál (ADP elemek és ADP fosszilis),
- Savasodási potenciál (AP),
- Eutrofizációs potenciál (EP),
- Édesvízi vízi ökotoxicitási potenciál (FAETP)
- Globális felmelegedési potenciál (GWP)
- Humán toxicitási potenciál (HTP),
- Tengeri vízi ökotoxicitási potenciál (MAETP),
- Ózonréteg kimerülési potenciál (ODP),
- Fotokémiai oxidációs potenciál (POCP)
- Szárzsföldi ökotoxicitási potenciál (TETP).

A gázkazános rendszer 8 kategóriában kapott jobb értékelést a hőszivattyúnál, a hőszivattyú csak az ADP fosszilis, GWP és a POCP kategóriákban teljesített jobban. Azonban a hőszivattyús rendszer karbon intenzitása 70%-kal alacsonyabb a gázkazános rendszernél. További érv a hőszivattyús rendszerek mellett környezetvédelmi szempontból (Alberta Carella, 2021) és (Byeongmo Seoa, 2020) kutatásai. Munkájukban a meglévő gázkazános fűtési rendszerek hőszivattyúra történő kiváltását vizsgálták, és kimutatták ennek lehetséges

pozitív hatását a város levegő minőségére. Amennyiben a hőszivattyúk által felvett villamos energia 35%-a karbonsemleges megújuló energiából történik, a CO<sub>2</sub> kibocsátás 72-79%-kal csökken a kutatás szerint. További eredmény, hogy a várható primerenergia felhasználás 12-56% között csökkenthető hőszivattyúk alkalmazásával különböző paraméterek függvényében (hőfokhíd, energiamix, stb.).

A kutatásban az is megfigyelhető, hogy minél alacsonyabb a külső hőmérséklet, valamint minél magasabb előremenő vízhőfokkal dolgoznak a hőszivattyúk, a jósági fokuk egyre csökken. Ezek a hátrányok kiküszöbölhetők hibrid kazános-hőszivattyús fűtési rendszerek alkalmazásával. Egy ilyen hibrid rendszerről készült tanulmányban (Matteo Dongellini, 2021) a különböző vezérlési és hőszivattyú méretezési stratégiák hatását vizsgálták a rendszer energiahatékonyságára. Munkájuk során dinamikus szimulációkat végeztek az optimális bivalencia pont megtalálására, és 6-22% közötti hatásfokjavulást mutattak ki a monovalens módon működő vagy csak hőszivattyús, vagy csak gázkazános rendszerekkel szemben. Észak-olaszországi klímaviszonyok mellett az optimális átváltási hőmérséklet és a gázkazán között 0°C-ra adódott. A megválasztott bivalencia pont hatását a hőszivattyú jóságfokára a 7. ábra szemlélteti:



7. ábra: A bivalencia pont megválasztásának hatása az SCOP-re Dongellini kutatásában [ (Matteo Dongellini, 2021)]

Az energiamegtakarítás akkor volt a legnagyobb, ha a hőszivattyú a maximális hőszükséglet 74%-ra lett méretezve. A szimulációk kimutatták, hogy a hőszivattyú leolvasztási ciklusai akár 5-15% közötti hatásfokromlást is okozhatnak hideg és nedves éghajlatokon, valamint

hogy a modern inverteres és elektromos adagolószeleppel szerelt hőszivattyúknál a ki-be kapcsolási ciklusok száma jelentősen nem befolyásolja az energiahatékonyságot, szemben a gázkazánokkal, ahol a ki-be kapcsolások miatti veszteség mértéke jelentős.

(Matteo Dongellini, 2021) kutatásában a hőszivattyú 55/45°C hőfoklépcsővel működött, azonban meglévő rendszerek retrofitjénél, HMV termelésnél ennél magasabb hőmérsékletre is szükség lehet. (Jiatong Jiang, 2022) átfogó elemzést készítettek a korszerű magas vízhőmérsékletet előállító hőszivattyús jelenlegi kutatási eredményeiről. Laboratóriumi körülmények között tesztelt, akár 80°C előremenő vizet előállító berendezések működési elvét és a kísérleti jelleggel használt modern hűtőközeggel működő rendszereket összegezték ebben a munkában. A szerzők által felvonultatott megoldások nagy része csak az ipari alkalmazásoknál fordul elő, viszont egyes bemutatott kapcsolásokat az épületgépészetben használt hőszivattyúkban is alkalmazzák, ezek közül két megoldás a tervezett hűtés-fűtési rendszer jellemzésekor leírásra is kerül.

## **5. VRV/VRF rendszerek**

Levegő-levegő hőszivattyús rendszer, az elnevezés a "VRV=Variable Refrigerant Volume" és "VRF=Variable Refrigerant Flow" kifejezésekből ered, amelyek a szabadalmaztatott nevektől függetlenül hasonló rendszereket jelentenek. Általában véve, közvetlen párologtatásos hűtő- és fűtőrendszereket jelölnek, amelyekben egy kültéri hőcserélő egységet egy közös gerincen keresztül több beltéri hőcserélő egységgel kötnék össze, és a hűtőközeg mennyisége, ezzel együtt a leadott teljesítmény, az egyes beltéri egységekben külön-külön szabályozható. (Tarek, 2023) Több átfogó vizsgálat készült ipari és lakóépületekben melyek azt bizonyítják, hogy a VRF rendszerek alkalmazásával energiahatékony és környezetkímélő módja a fűtési-hűtési igény kiszolgálásának. (Hua Liu, 2022) (Hanlong Wana, 2020) (Mingyang Qian, 2021)

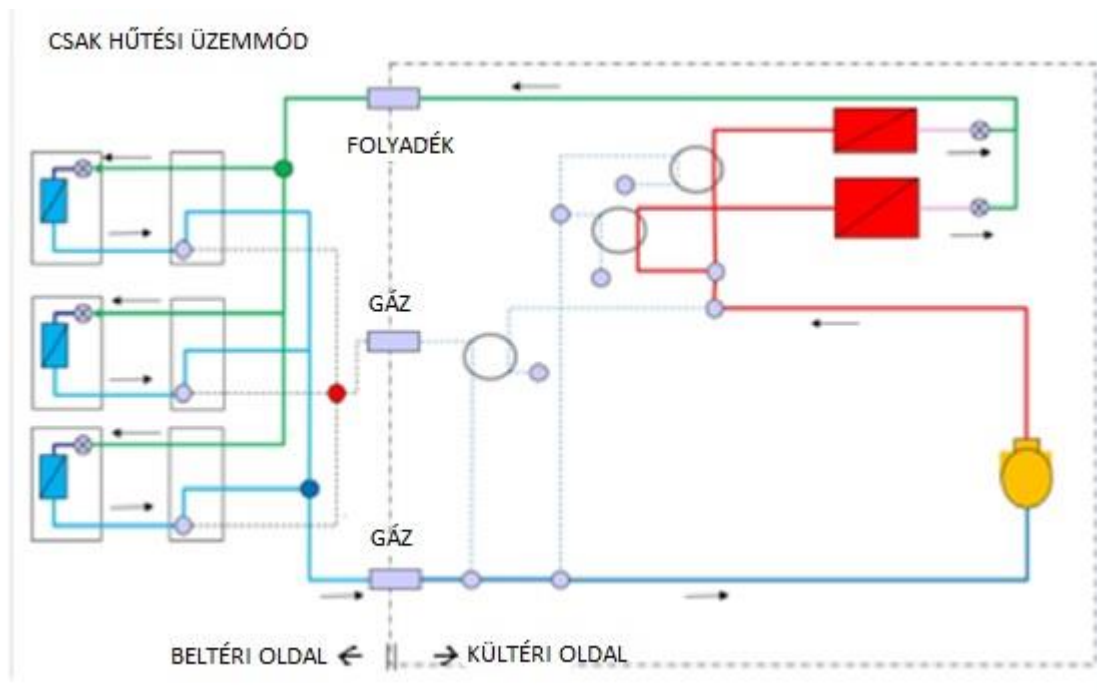
Ezt a technológiát tovább fejlesztve jelentek meg a háromcsöves VRF rendszerek, amelyekkel egy rendszeren belül egyidejű hűtés és fűtés is megvalósítható különböző zónákban. A piacon jelenleg található legtöbb rendszer 3 csővezetékekkel (magas nyomású gáz, alacsony nyomású gáz, folyadék fázisok) csatlakozik ún. üzemmódváltó dobozokhoz, ahonnan az egyes beltéri egységekig 2 cső (gáz és folyadék fázis). A hűtési/fűtési üzemmód között az osztódobozokon csonkonként lehet váltani, egy csonkra több beltéri egység is csatlakozhat. A háromcsöves rendszereket hővisszanyerős VRF rendszernek is nevezik, mivel nagyobb energiahatékonyságot érnek el azáltal, hogy hővisszanyerést tesznek lehetővé



az épület különböző zónái között. Ez csökkenti a rendszer energiafogyasztását és jelentős energiamegtakarítást eredményezhet. Elérhető a piacon olyan hővisszanyerős VRF rendszer is ami az osztódoboz és a kültéri egység között is csak két csövet használ, viszont itt az üzemmódváltó dobozok felépítése jóval bonyolultabb, mivel ezekben történik meg a hővisszanyerés. Szintén létezik olyan „Hybrid VRF” megoldás is, ahol a kültéri egység és az osztódobozok között hűtőközeg, az osztódoboz és a beltéri egységek között pedig víz a hőhordozó közeg, így elkerülhető hogy a tartózkodási zónába hűtőközeget vigyünk.

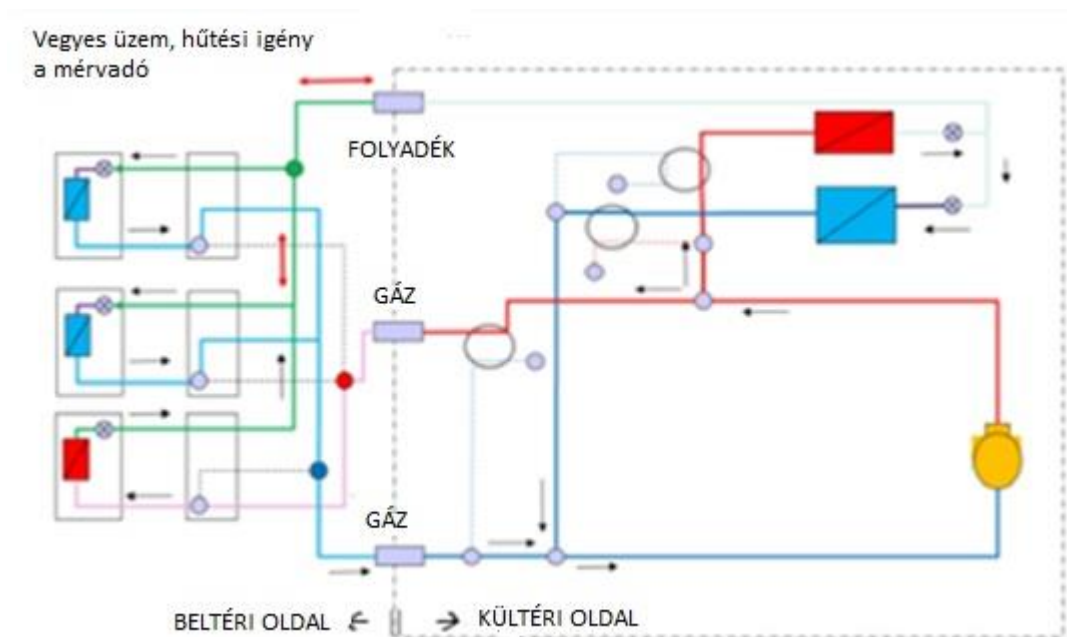
A vizsgált létesítményben a háromcsöves rendszer lehetőségeit HMV termelésre tervezzük felhasználni, mivel a nyári hűtési igény mellett a HMV igény is jelentős. A különböző lehetséges üzemmódok megértéséhez Zhang és társai kutatását veszem alapul, akik sikeresen felállítottak egy modellt, ami 10%-on belül megadja egy háromcsöves VRF rendszer várható energiafogyasztását (Rongpeng Zhang, 2018)

A háromcsöves VRF rendszer hat különböző módban képes működni, kültéri egység állapotától és attól függően, hogy milyen hűtési/fűtési igények vannak az épületen belül. Az első módban csak hűtési igény van, fűtési igény nélkül, és a kültéri egységben található mindkét hőcserélő kondenzátorként működik.



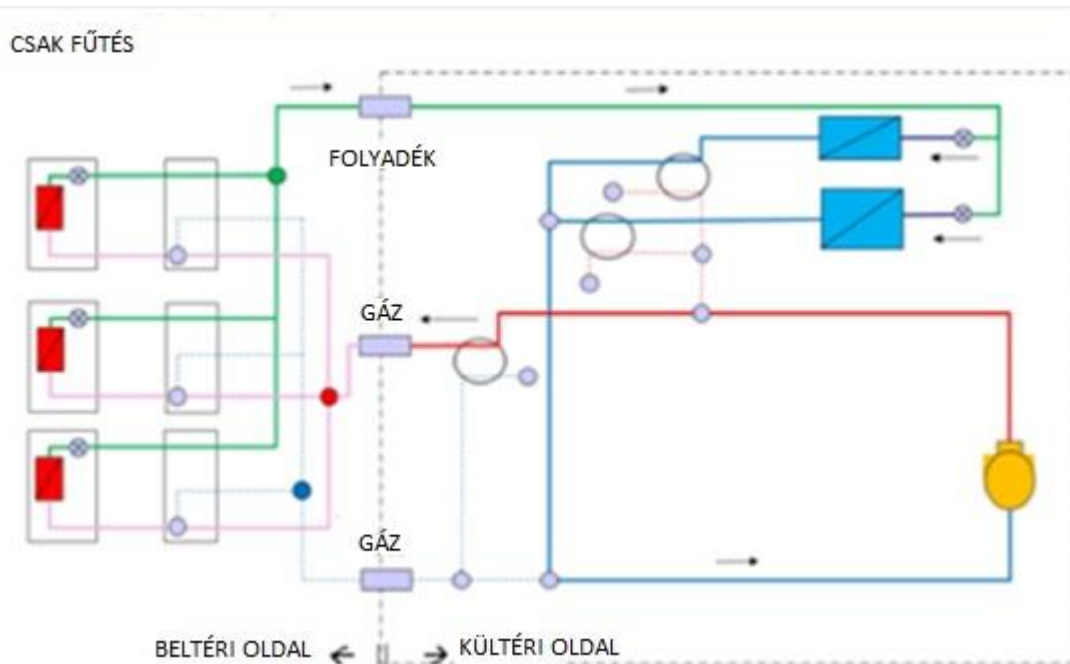
8. ábra: Háromcsöves VRF rendszer működése hűtési üzemmódban [ (Rongpeng Zhang, 2018)] nyomán

A második módban egyszerre van jelen a fűtési és hűtési igény és a kompresszor által termelt hő együttesen, mint a fűtési terhelésének összege, ezért mindkét kültéri egység hőcserélő kondenzátorként működik. A harmadik és negyedik módokban egyszerre lép fel fűtési és hűtési igény, de a kültéri egység egyik hőcserélője kondenzátorként, míg a másik hőcserélője párologtatóként működik, attól függően hogy a hűtési vagy a fűtési igény-e a nagyobb, ezáltal hővisszanyerési veszteség lép fel. Az ötödik módban a zóna hűtési terhelésének és a kompresszor hőjének összege sokkal kisebb, mint a zóna fűtési terhelésének összege, ezért mindkét kültéri egység hőcserélő elpárologtatóként működik.



9. ábra: Háromcsöves VRF rendszer működése átmeneti időszakban [ (Rongpeng Zhang, 2018)] nyomán

A hatodik módban csak fűtési terhelés van, hűtési terhelés nélkül, a kültéri egység mindkét hőcserélője elpárologtatóként működik.



10. ábra: Háromcsöves VRF rendszer működése fűtési üzemmódban (Rongpeng Zhang, 2018) nyomán

A VRF rendszerek jelentős hátránya a víz-levegős hőszivattyús rendszerekhez képest, hogy az épület belsejében jelentős mennyiségű hűtőközeget viszünk be. Erre vonatkozóan az MSZ-EN 378-as szabvány tartalmaz előírásokat. A szabvány alapján történő ellenőrzésre a későbbiekben a tervezési feladatrészen sor kerül. A vizes rendszerekkel szemben további hátrányként tekinthetünk az egyébként környezetvédelmi szempontból előnyös, egyre szigorodó hűtőközegekre vonatkozó előírásokra az EU-n belül, amit a F-gáz rendelet (Commission, European, 2015) foglal össze. A rendelet többek között felső GWP határt szab az alkalmazható hűtőközegeknek, külön szervizcélú és új telepítésekhez, ezen belül is a telepített rendszer funkciójához kötve. Jelenleg a legtöbb VRF rendszer a viszonylag magas 2088-as GWP értékű R410A hűtőközeggel működik, bár kis teljesítményekben vannak elérhető alternatívák pl. 675-ös GWP értékű R32, ez az A2L tűzvédelmi besorolása miatt új kihívásokat jelent a tervezők számára. Könnyen belátható, hogy amennyiben a VRF rendszerünkben alkalmazott hűtőközeg a rendelet szerint tiltólistára kerül, az nagyban lerövidíti a fűtési-hűtési rendszerünk élettartamát, ezért érdemes megvizsgálni a jövőben bekövetkező szigorításokat.

Az F-gáz rendelet jelenlegi állapota szerint VRF rendszerekben használt hűtőközegek GWP értékére korlátozás nincs, csak a monosplit rendszerű, 3 kg-nál alacsonyabb töltetű új berendezéseknél szabnak meg 750-es GWP határt 2025-től a III. mellékletben foglaltak szerint.

„Single split air-conditioning systems containing less than 3 kg of fluorinated greenhouse gases, that contain, or whose functioning relies upon, fluorinated greenhouse gases with GWP of 750 or more”

Viszont a rendelet 2015 óta nem változott, és már több elérhető szigorítási tervezet érhető el az EU oldalán. A tervezett módosítás még csak munkaközi állapotban van, de amennyiben elfogadásra kerül, jelentős változást hozhat a felhasználható hűtőközegek terén. Komforthűtés terén két részt érdemes kiemelni, ami 2027-től lépne életbe (European Commission, 2022):

„Split systems of a rated capacity of up to and including 12 kW containing, or whose functioning relies upon, fluorinated greenhouse gases with GWP of 150 or more, except when required to meet safety standards.”

Ami minden split jellegű rendszert 12 kW-os teljesítményig érint, és 150-es GWP-ben határozza meg a maximális megengedhető értéket, ezzel a jelenleg legtöbbször használt R32 hűtőközeget is korlátozná a lakossági komfort split körében.

A másik a nagyobb teljesítményű rendszerekre vonatkozik:

„Split systems of a rated capacity of more than 12 kW containing, or whose functioning relies upon, fluorinated greenhouse gases with GWP of 750 or more, except when required to meet safety standards.

1 January  
2027 „

Bár a szövegezés még nem végleges és jelenleg magyar nyelven nem elérhető, a fentiek alapján minden VRF rendszer is csak 750 alatti GWP értékű hűtőközeggel működhet, amit az R32 éppen teljesít 733-as GWP értékével. Létezik viszont olyan hűtőközeg is a piacon, ami kiküszöböli az R32 A2L tűzveszélyességi osztálya által okozott hátrányokat, és a tervezett szigorított F-gáz feltételeknek is megfelel, ez a hűtőközeg az R466A.

(Atilla G. Devecioglu, 2020) tanulmányának eredményei azt mutatták, hogy R466A alkalmazásával nagyobb hűtő és fűtőteljesítményt tudtak elérni, mint R410A felhasználásával ugyanazon a rendszeren belül. Az R466A-val üzemelő berendezés COP értékei hűtési módban 5-15%-kal, fűtési módban pedig 4%-kal magasabbak voltak, mint az R410A-val üzemelő rendszer értékei. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az R466A alkalmas alternatív hűtőközeg lehet VRF rendszerekhez és légkondicionálókhoz az R410A helyett. Emellett az R466A rövid távon közvetlenül használható R410A rendszerekben ún. drop-in hűtőközeggént anélkül, hogy bármilyen szerkezeti módosítást kellene végrehajtani.

## 6. Komfort paraméterek

Az energetikai felülvizsgálat során szükségessé vált az edzőterem fűtési-hűtési, valamint légtechnikai rendszerének újraméretezése és áttervezése, mivel a létesítmény funkciója és használatának módja változott az eredeti terv szerinti állapothoz képest. Ehhez szükséges a méretezési paraméterek, mint a belső hőmérséklet és a szükséges frisslevegő igény helyes megválasztása, amihez számos javaslatot és utalást találunk a szakirodalomban.

Huang 40 fiatal felnőtt teljesítményét és komfortérzetét vizsgálták egy edzőteremben kutatásuk során, eltérő belső hőmérsékleteknél (Chongyun Huang, 2021). A kísérletük során egyaránt vizsgálták az állóképességi valamint az erőfejlesztő edzésekre vonatkozó hatást is, külön férfi és női kontrollcsoportokon. A három vizsgált belső hőmérséklet 22°C, 24°C, valamint 26°C volt, mindhárom esetben 50% relatív páratartalomnál.

Az eredményeiket összefoglalva:

- A 26°C-os belső hőmérsékletnél az állóképességi edzés során végzett gyakorlatok részben intenzitása emelkedett, de a teljes volumen megegyezett a 24°C-ban végzett edzéssel.
- A 22°C-ban végzett edzés során a férfiak teljesítménye nem változott, a nőké viszont jelentősen csökkent a 24°C-ban mérthez képest.
- A 26°C-os hőmérséklet komfortérzet szempontjából elfogadhatatlan volt az állóképességi, de kifejezetten az erőfejlesztő edzés során.

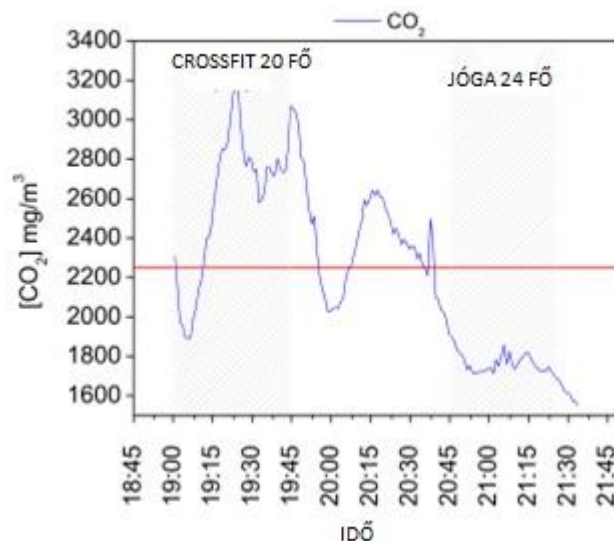
A szerzők javaslata alapján az edzőterem nyári hőterhelés számításánál 24°C-os belső hőmérsékletet vettem figyelembe a tervezés során.

Revel kutatása alapján elmondható, hogy az edzőtermekben és uszodatermekben végzett tesztek során a PMV értékek szórása nagyobb volt, mint általános terekben, a  $\pm 0.3$  értéket is elérheti (G.M. Revel, 2014). Ennek magyarázata a termet használók eltérő belső hőtermelése ami a végzett edzés intenzitásától függ, az uszodatermekben pedig az alacsonyabb clo értékű öltözet magasabb érzékenységet okoz a környezeti hőmérsékletre. A méréseik során a közepes sugárzási hőmérsékletet és a levegőhőmérsékletet egyenlőnek tekintették, ami nagy terek esetén, sugárzó felületek hiányában lehetséges. Ezt a feltételezést két valós esetben méréssel igazolták egy edzőteremben és egy uszodában, ahol 0,2 °C-os eltérés a levegőhőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet között kisebb mint 0,02 PMV eltérést okozott. A mérések során a légsebesség kevésbé volt intenzív hatással a komfortérzetre mint a hőmérséklet, és 0,2 m/s-nál alacsonyabb légsebességeknél a PMV már nem változott.

Ezt figyelembe véve kijelenthetjük, hogy az edzőterem légtechnikai rendszereinél 0,2 m/s-nál légsebességnél alacsonyabbra méretezett befűvés nem jár komfortnövelő hatással.

A levegőhőmérséklet és a légsebesség mellett a belső levegő minőségére is figyelmet kell fordítanunk. Ramos és társai 11 lisszaboni edzőteremben mérték a belső hőmérséklet és páratartalom mellett a beltéri levegő szennyezők koncentrációját is (PM10, PM2.5, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>2</sub>O és VOC). (C.A. Ramos, 2014) Az eredményeik alapján a legtöbb edzőterem szellőztetése nem volt megfelelő, és az igények nagyban változtak a végzett edzés típusától függően. A 11. ábrán láthatjuk egy terem CO<sub>2</sub> koncentrációját a nap során, a piros vonal a portugál előírások szerinti megengedett koncentrációt jelöli. Látható hogy egy magas intenzitású 20 fős csoportos edzés során a koncentráció akár a limit másfélszeresét is átlépte, viszont egy 24 fős jógaóra alatt csökkent a CO<sub>2</sub> koncentráció. A mérések során a VOC (illékony szerves vegyületek) koncentrációjában a terem takarítása után szintén határérték feletti adatokat mértek.

A szerzők eredményeit figyelembe véve az edzőterem szellőztetését és frisslevegő bevitelét CO<sub>2</sub> koncentrációra történő szabályozással érdemes végezni, a takarítást pedig vagy illékony szerves vegyületeket nem tartalmazó takarítószerrel, vagy üzemidőn kívül szellőztetéssel összehangoltan kell elvégezni. A mérések során a por koncentrációra (PM10, PM2.5) szintén nagy hatással volt a használt szűrők típusa, és a frisslevegő bevezetésének helye.

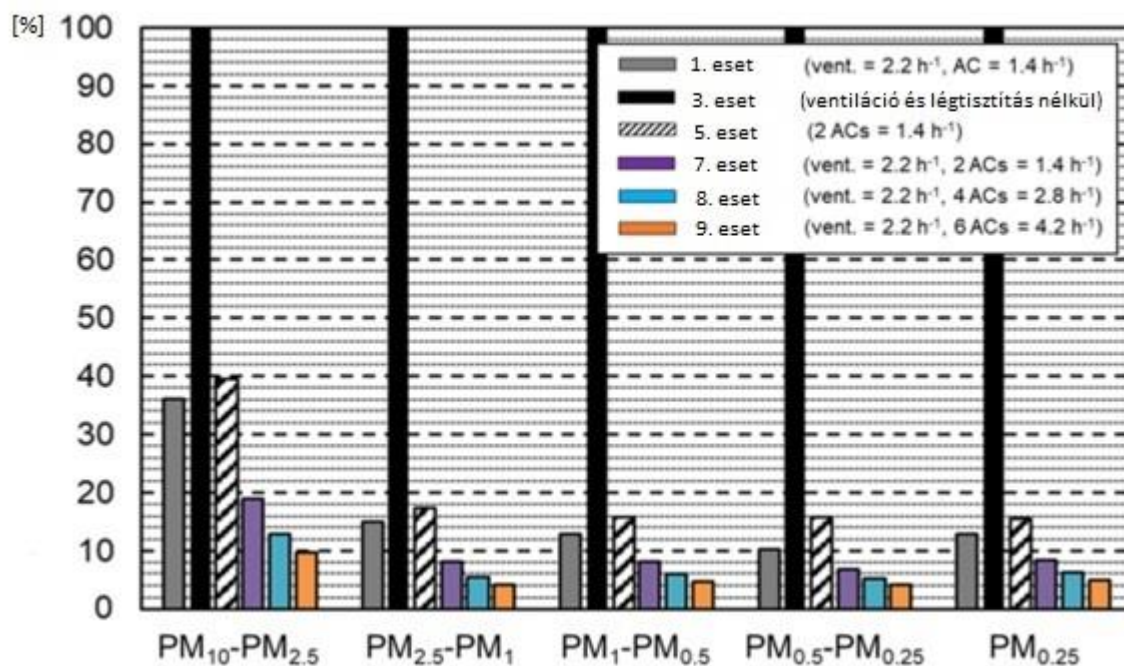


11. ábra: Keletkező CO<sub>2</sub> mennyisége Ramos kutatásában az aktivitástól függően [ (C.A. Ramos, 2014)]

A COVID-19 megjelenése után az edzőterem az első létesítmények között voltak, amelyek működését tiltották. Blocken és társai egy 886 m<sup>3</sup> légterű teremben végzett méréseket 35

fővel Hollandiában, ami során a légcsereszám változtatásának és a légtisztító berendezések alkalmazását vizsgálta az aeroszolkoncentrációjára (Blocken, 2021). Az eredményeik szerint a 2,2-es légcsereszám (ami 4,5-szerese a holland előírásoknak) sem volt hogy 30 perces edzés alatt az aeroszolkoncentrációja jelentősen nőjön. Az 1,39-es légcsereszámnak megfelelő mennyiségű levegőt (esetükben 1230 m<sup>3</sup>/h) kezelő légtisztító berendezések kizárólagos alkalmazása is szintén elégtelen volt az emelt légcseréhez hasonlóan. Az emelt légcsereszám és a légtisztító együttes berendezések alkalmazásával azonban a szellőztetés nélküli esethez képest akár 90%-os csökkenést is el tudtak érni az aeroszolkoncentrációjában a 12. ábra alapján.

A Blocken által alkalmazott emelt légcsereszám 55,6 m<sup>3</sup>/h/fő-t jelentett a kísérleteikben, ami többszöröse az ASHRAE 62.1. szabványa által [ (ASHRAE)] javasolt 36 m<sup>3</sup>/h/fő értéknek.



12. ábra: Blocken által mért belső levegő szennyező koncentrációk különböző esetekre [ (Blocken, 2021)] nyomán

Mindezeket figyelembe véve a légtechnikai méretezés során 50 m<sup>3</sup>/h/fő-nél alacsonyabb értéket nem veszünk fel a frisslevegő igényre, és minden VRF beltéri egységek speciális légtisztító szűrőpanellel látunk el, hogy a tervezett rendszerünkben is a frisslevegőbevezetést valamint a légtisztítást hatékonyan kombináljuk Blocken kutatásához hasonlóan.

## **7. A létesítmény meglévő rendszereinek bemutatása**

### 7.1. Helyiségek

A fitness center a Gozdsu udvar egyik épületének része, a -2. pince és a földszint közötti területen helyezkedik el. A földszinti rész alapterülete 483 m<sup>2</sup>, a pinceszinti terület 1379 m<sup>2</sup>.

A földszinten recepció, masszázsszobák, egy spinning terem és egy crossfit terem található.

A pinceszinten találjuk az öltözőket, a gépekkel felszerelt GYM és CARDIO termek közös teret alkotnak, valamint egy elválasztott STUDIO terem is itt került kialakításra. A medence, jacuzzi tereket szintén itt találjuk. A meglévő gépészeti rendszer berendezéseinek gépháza a társasházzal közös mélygarázsban található. Külön gépházban kerültek elhelyezésre a gázkazánok (a társasházzal közös), a medence légkezelő és vízkezelés, a jacuzzi vízkezelés, valamint a HMV tartályok és a központi melegvíz elosztás, így ez összesen 4 gépházat jelent.

### 7.2. Épületgépészeti rendszerek általános leírása

#### *Fűtés*

A fűtési energiát a társasházzal közös kazánházba betervezett és beépített 2 db Remeha GAS 610 ECO 2x9 kondenzáció gázkazán biztosítja, 1062 kW teljesítménnyel, 60/80°C hőfoklépcsőre méretezve.

A hőleadók a GYM, CARDIO, STUDIO termekben kizárólag Climaciat Airtop légkezelők. A földszinten 4 csöves fan-coilos rendszer került kialakításra, a vizesblokkokban padlófűtést illetve radiátorokat is találunk.

#### *Hűtés*

A hűtési energiát az épület tetjén található 2 db LENNOX WA 230 KLN folyadékhűtő biztosítja. A nem tartalmaz váltószelvet, fűtésre nem alkalmasak. A folyadékhűtők egyenként 200 kW névleges hűtési teljesítménnyel rendelkeznek, R407C hűtőközeggel működnek, 2 hűtőkörből állnak, hűtőkörönként 2 kompresszorral szereltek. A teljesítményszabályozás a kompresszorok léptetésével lehetséges, sem a kompresszor, sem a kondenzátor ventilátorok nem inverteres szabályozásúak. A vízkezelést Aquacontrol AC G1/300 berendezés végzi. A hűtési hőfoklépcső 5/10°C, a közeg 35% koncentrációjú etilén-glikol víz keverék. A berendezések hidraulikus váltón keresztül csatlakoznak az elosztóhálózathoz.



Hűtési üzemben a GYM-CARDIO-STUDIO helyiségek légkezelői, valamint a földszinti négycsöves légszűrő nélküli fan-coil berendezések.

#### *Használati melegvíz*

A HMV előállítását szintén a fűtési rendszert ellátó Remeha GAS 610 ECO kazánok végzik. A tárolókapacitást 3 db 1000 literes HOVAL melegvítároló biztosítja, amelyek a pinceszintben külön gépházban kerülnek elhelyezésre. Cirkulációs hálózat szintén kialakításra került.

#### *Medence, Jacuzzi*

A medence légkezelését külön légkezelő végzi, típusa MENERGA ThermoCond 37 06 11. A medencevíz tartandó hőmérséklete 28°C. Az uszodatér méretezési hőmérséklete 29-32°C, a relatív páratartalom 60%. A légkezelő kiválasztása 40 kg/h páratelhelésre történt, a légszállítás 6300 m<sup>3</sup>/h.

A medence fűtése egy 105 kW teljesítményű hőcserélőn keresztül, a jacuzzi fűtése egy 45 kW teljesítményű hőcserélőn keresztül valósul meg, a fűtési energiát szintén a már bemutatott gázkazán állítja elő.

#### *Szellőzés*

A frisslevegő beszívása a -2 és a földszint közötti áttörésen át történik, közel a STUDIO teremhez. Az elhasznált levegő kidobása a A10 jelű aknában történik. A komplexumban 9 db komfort légkezelő található, ezek ~30-40% frisslevegő aránnyal üzemelnek, hűtő-fűtő kaloriferrel ellátottak.

## **8. Energiafogyasztás**

### 8.1. Gázfogyasztás

Az éves gázfogyasztás 36 000 m<sup>3</sup>, a gázkazán által megtermelt energia három módon hasznosul:

- Komfort fűtés
- HMV előállítás
- Medence és jacuzzi fűtés

A 2022. augusztus hónapi gázfogyasztás 2200 m<sup>3</sup> volt, itt a fűtési rendszer még nem üzemelt. Amennyiben a HMV előállítás és a medence-jacuzzi fűtés hőigényének külső hőmérséklet

függésétől eltekintünk, becslés szinten kijelenthetjük hogy évi  $12 \times 2200 = 26400 \text{ m}^3$  gáz ezen rendszerek ellátására, a fennmaradó  $9600 \text{ m}^3$  a fűtési rendszer ellátására kerül felhasználásra. Ez azt jelenti, hogy a nyári időszakban jelentős egyidejű komfort hűtési, valamint HMV és uszodatechnikai fűtési igény lép fel. Ennek ellenére a jelenlegi rendszerben semmiféle hővisszanyerési lehetőség nincs.

### 8.2. Villamos energiafogyasztás

Az egy évre visszamenő villamos energiafogyasztást az alábbi 1. táblázat táblázat tartalmazza:

1. táblázat: 2019 évi villamos fogyasztási adatok

Év	Hónap	Fogyasztás (kWh)
2019	január	39212
2019	február	30659
2019	március	41285
2019	április	40146
2019	május	48375
2019	június	59385
2019	július	63423
2019	augusztus	69284
2019	szeptember	65203
2019	október	62190
2019	november	44876
2019	december	43380
<b>Teljes</b>		<b>607418</b>

A nyáron jelentkező többletfogyasztást a folyadékhűtők által felvett teljesítménynek vesszük. A téli hónapok átlagos fogyasztása  $38634 \text{ kWh}$ , a nyári hónapok átlagos fogyasztása  $64031 \text{ kWh}$ , a különbségük  $25397 \text{ kWh}$ , így az éves hűtésre fordított energiát  $76190 \text{ kWh}$ -ra becsülhetjük.

### 8.3. Vízfogyasztás

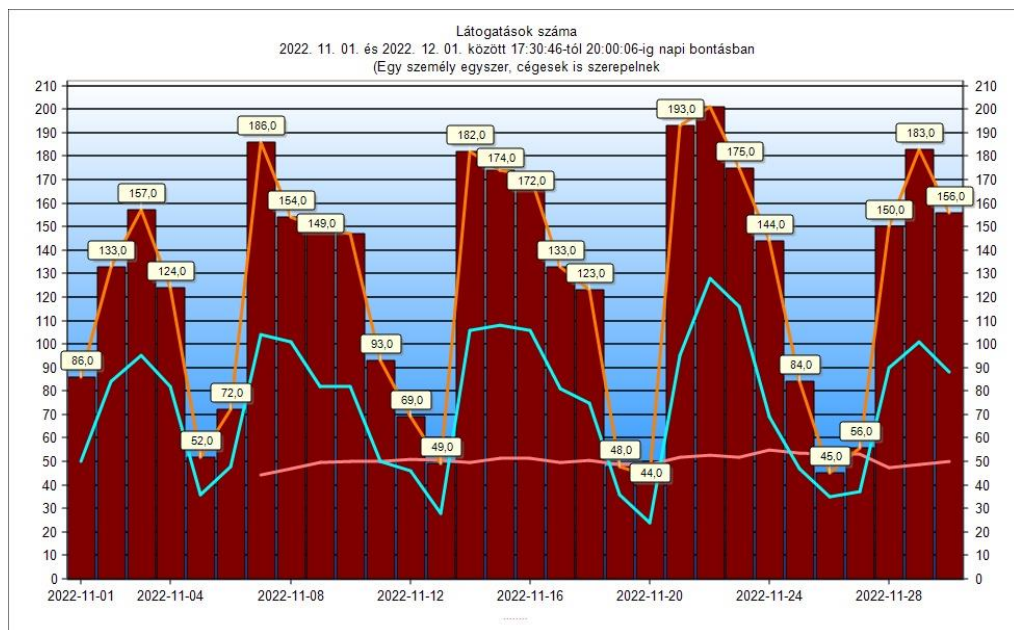
A vízfogyasztás napi rendszerességgel leolvasásra kerül, a 2022.11.12-2022.11.23. közötti időszak mérései a 2. táblázatban látható:

2. táblázat: Napi vízfogyasztás 2022.11.12-2022.11.23

Dátum	Nap	Napi vízfogyasztás [m3]
2022.11.12	Szombat	15
2022.11.13	Vasárnap	12
2022.11.14	Hétfő	18,4
2022.11.15	Kedd	18,05
2022.11.16	Szerda	18,7
2022.11.17	Csütörtök	11,57
2022.11.18	Péntek	22,2
2022.11.19	Szombat	19,8
2022.11.20	Vasárnap	17,1
2022.11.21	Hétfő	20,3
2022.11.22	Kedd	12,6
2022.11.23	Szerda	18,6

Ennek a fogyasztásnak jelentős része HMV. Megfigyelhetjük, hogy a vízfogyasztás hétfő-szerda-péntek napokon a legmagasabb, ilyenkor látogatja a legtöbb vendég az edzőtermet. Kedd-csütörtök napokon, valamint hétvégén akár 50%-kal is kevesebb lehet a napi vízfogyasztás, mint csúcsidekban. A terem beléptetőrendszerének adataival látjuk egy hónapra visszamenőleg az 13. ábrán.

A vízfogyasztási adatokkal összevetve kijelenthetjük hogy a látogatók számával egyenes arányosságot mutat, ezt későbbi számítások során kihasználjuk.



13. ábra: Napi látogatók száma csúcsidekban, 2022 november

## 9. Üzemeltetési szokások és igények

Az üzemeltetővel történt megbeszélés során a következő, a tervezett üzemtől eltérő állapotokra derült fény:

- A két betervezett gázkazán közül csak 1 db működik, és a teljes fűtési időszakban 55°C előremenő hőmérséklettel üzemel a tervezett 80°C helyett. Az így leadott fűtési teljesítményre panasz nincs, a felhasználó számára kielégítő.
- A két folyadékűtőből 1 db meghibásodott, üzemképtelen. A fennmaradó folyadékűtő gyári automatikája meghibásodott, jelenleg teljesítményszabályozás nélkül, on-offos állapotban üzemel.
- A CARDIO-STUDIO részekre tervezett 3-3 légkezelőből helyiségenként csak 1 db légkezelő üzemel.

A létesítmény üzemeltetője az új tervezendő rendszerrel kapcsolatban alábbi igényeket fogalmazta meg:

- A fitnessterem kihasználtsága időben változó, a csúcsideő este 17:00-20:00 között jelentkezik. A STUDIO – CROSSFIT – SPINNING termekben órarend szerint vannak foglalkozások. Jelenlegi rendszer rosszul követi ezeket az időben ingadozó igényeket, gyorsabb reagálású hűtési-fűtési rendszerre lenne szükség.
- Jelenlegi rendszer nem megfelelően szekcionált, amennyiben a hűtési/fűtési igény egy helyiségben jelentkezik. Ilyen üzemállapot például egy nyári, délelőtti spinning óra, ami 30 fő intenzív hőtermelésével jár, miközben más hűtési igény a létesítményben nincs. Jelenleg 2 fan-coil látja el a spinning szoba hűtését, viszont a központi 200 kW teljesítményűnek folyadékűtőnek az egész épület vízkörét le kell hűtenie üzemi hőmérsékletre (5/10°C), emiatt magasak a központi elosztóhálózaton jelentkező veszteségek. Üzemeltetői igény ennek kiküszöbölése.
- Frisslevegős szabadhűtésre jelenleg nincs lehetőség a létesítmény minden részén, ennek kialakítása szükséges
- A nyári időszakban jelentkező egyidejű hűtési és fűtési (HMV + MEDENCE) igények között hővisszanyerés megvalósítandó

### 9.1. Méretezési paraméterek összehasonlítása az üzemeltetési tapasztalatokkal<sup>1</sup>

A jelenlegi rendszer tervezésekor a következő létszámokkal kalkuláltak a frisslevegő igények meghatározásakor:

3. táblázat: Tervezett létszámok, eredeti műszaki leírás szerint (Tóth, 2008)

funkció	hőmérséklet	terület				
	°C	m <sup>2</sup>	liter/s,fő	m <sup>2</sup> /fő	m <sup>3</sup> /h	fő
uszoda+jacuzzi	29-32, 60%	302			6300	126
cardio	22	306,95	12	2,5	11900	275
studio	22	167	12	2	3400	79
gym+lobby	22	246	12	2,5	4500	79
öltözők	20	234			4550	91

Ennek megfelelően az alábbi légkezelő berendezések kerültek beépítésre:

4. táblázat: Beépített légkezelő berendezések (Tóth, 2008)

Helyiség	tender terven szereplő légkezelők	frisslevegő m <sup>3</sup> /h	befűjt levegő m <sup>3</sup> /h	Helyiség	kiviteli terven szereplő légkezelők	frisslevegő m <sup>3</sup> /h	befűjt levegő m <sup>3</sup> /h	
Cardio	AHU 1	3400	8500	Cardio	Cardio1	3967	9100	
	AHU 2	3400	8500		Cardio2	3967	9100	
	AHU 5	1700	3400		Cardio3	3967	9100	
	AHU 6	1700	3400					
	AHU 7	1700	3400					
	Σ	11900	27200		Σ	11900	27300	
Resistance	AHU 4	850	4250	Gym	Gym	4500	10200	
Resistance+lobby	AHU 10	2550	5950					
	Σ	3400	10200		Σ	4500	10200	
Studio	AHU 3	3400	10200	Studio	Studio1	1133,3	3400	
					Studio2	1133,3	3400	
					Studio3	1133,3	3400	
					Σ	3400	10200	
Change Rooms	AHU 8	2550	4420	Öltözők - Bal oldal	AHU-6	2800	5450	
	AHU 9	2550	4420	Öltözők - Jobb oldal	AHU-7	1725	3400	
	Σ	5100	8840		Σ	4525	8850	
Uszoda+Jacuzzi	AHU 11 AHU 12.1 AHU 12.2			Uszoda+Jacuzzi	Menerga	6300	6300	

A 4. táblázat szerint a tervező a helyiség funkciójától függetlenül 50 m<sup>3</sup>/h/fő frisslevegő mennyiséggel számolt.

Az üzemeltetői tapasztalatok és a csúcsidőben végzett helyszíni felmérés szerint ennél jelentősen alacsonyabb létszámmal üzemel a létesítmény.

<sup>1</sup> Épületgépészeti Műszaki Leírás: A Holmes Place Fitnesss Center megvalósulási tervéhez

5. táblázat: Maximális létszámok az üzemeltetési tapasztalatok alapján

Helyiség	MAX. LÉTSZÁM [fő]
1_CROSSFIT	20
1_KÖZLEKEDŐ	10
1_RECEPCIÓ	10
1_SPINNING	30
2_CARDIO	40
2_GYM	40
2_KÖZLEKEDŐ	10
2_ÖLTÖZŐ	20
2_STUDIO	30
2_USZODATÉR	30
<b>TOTÁL</b>	<b>240</b>

Ennek megfelelően a létesítmény hűtési-fűtési teljesítményigényének, valamint frisslevegő igényének újraszámítása vált szükségessé.

## 10. Új méretezési paraméterek meghatározása

### 10.1. Fűtési hőszükséglet, nyári hőterhelés

A fűtési hőszükségletet megadhatjuk becsléssel a fogyasztási adatokból, vagy számíthatjuk MSZ-04.140-3/87 szabvány (Magyar Szabványügyi Testület, 1988) alapján.

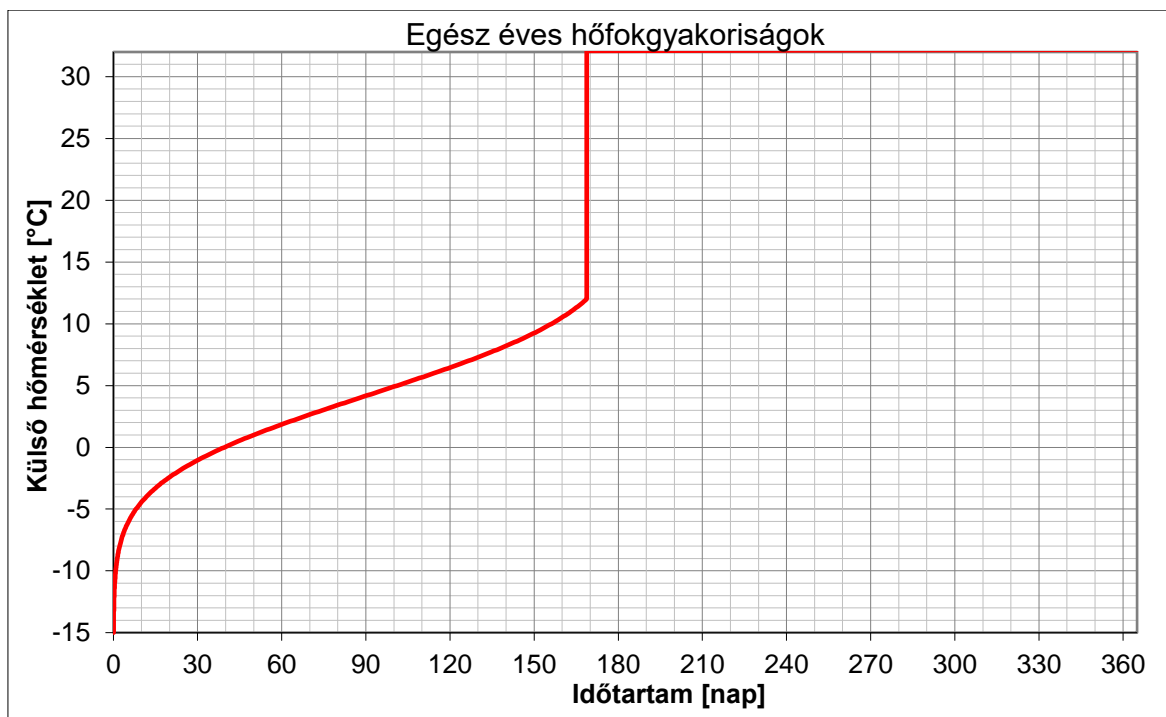
#### *10.1.1. Becslés fogyasztási adatokból*

Az előző fejezetben foglaltak szerint a fűtésre elhasznált éves gázmennyiség  $9600 \text{ m}^3$ , ez  $34,2 \text{ MJ/m}^3$  fűtőértékkel számítva  $328,32 \text{ GJ}$  éves fűtési energiafogyasztást jelent.  $20^\circ\text{C}$ -os belső hőmérsékletet,  $12^\circ\text{C}$  egyensúlyi határhőmérsékletet, és alábbi diagram szerinti hőfokgyakoriságot feltételezve, 95% kazánhatásfokot számítva becsülhetjük a szükséges méretezési fűtési teljesítményt. A fentiek alapján az éves fűtési hőszükséglet:

$$E_f = \text{felhasznált energia} \times \text{kazánhatásfok} [\text{GJ}] = 323,29 \text{ GJ} * 0,95 [-] = 311,9 \text{ GJ}$$

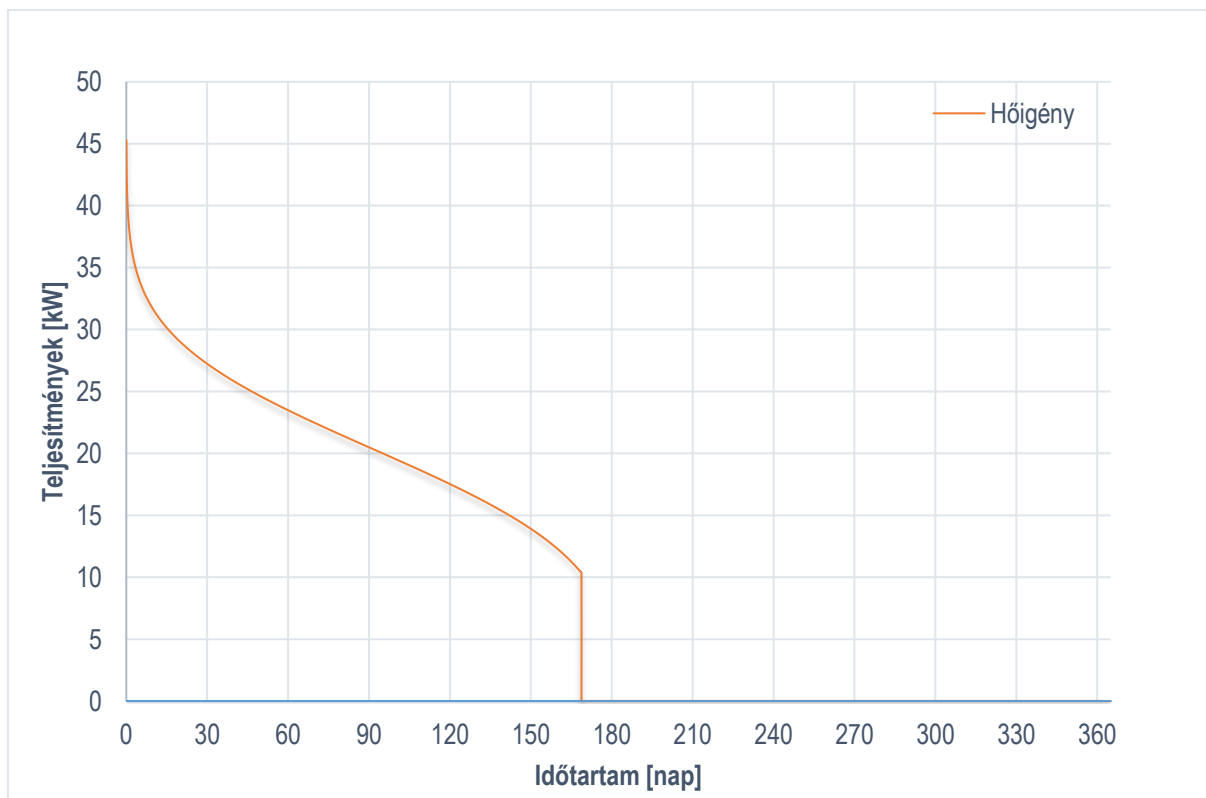
Hőfokhíd átlagos fűtési szezonra vonatkoztatva:  $H = 2790 \text{ nap}^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{csúcs, becsült}} = \frac{E_f * (T_b - T_k)}{H * 24 * 3600} = 45 \text{ kW} \quad (10.1.)$$



14. ábra: Éves hőfokgyakoriságok fűtési teljesítménybecsléshez [ (7/2006. (V. 24.) TNM rendelet, 2023)]

A 14. ábra szerinti hőfokgyakoriságok mellett az alábbi tartamdiagramot kapjuk:



15. ábra: Tartamdiagram becsült fűtési igények mellett

### 10.1.2. Számítás WinWatt programmal

Az épület szerkezetének felvételét követően az egyes helyiségeket létrehozva WinWatt programban az alábbi hőszükségleteket kapjuk. A belső hőterhelés meghatározásakor a 6. táblázatban bemutatott MET értékeket (Ainsworth, 2021) vettük figyelembe, a filtrációs hőveszteség számításakor pedig hővisszanyerős szellőztető működésével kalkuláltunk 50 m<sup>3</sup>/h fejadaggal a valós használati adatokra vonatkoztatva. A téli hőszükséglet számítása során a belső hőtermelést nem vesszük figyelembe.

6. táblázat: Belső hőterhelés és frisslevegő igény az egyes helyiségekben

MAX. LÉTSZÁM [fő]	Tevékenység	Tevékenység MET értéke	BELSŐ HŐTERHELÉS [W]
20	ellenállásos edzés, magas erőfeszítés	6	12528
30	biciklizés, RPM/Spinning óra	8,5	26622
40	kocogás	7	29232
40	ellenállásos edzés, közepes erőfeszítés	5	20880
30	jóga	3,3	10336
<b>160</b>			<b>99598</b>

Példaképpen a CROSSFIT helyiség belső hőterhelésének számítása:

$$Q_b = 6 \left[ \frac{MET}{f\ddot{o}} \right] * 20 [f\ddot{o}] * 58 \left[ \frac{W}{MET * m^2} \right] * 1,8 \left[ \frac{m^2}{f\ddot{o}} \right] = 12528 [W] \quad (10.1.2.1.)$$

Ahol az 58 W/m<sup>2</sup>/MET a MET komfortelméleti definíciójából adódik, az 1,8 m<sup>2</sup>/fő pedig az átlagos ember DuBois felülete. (Bánhidi László, 2000)

A filtrációs hőveszteség meghatározásához ki kell számítanunk a befűjt levegő hatásfokát. Vegyük a hővisszanyerős szellőztető hatásfokát 85%-nak. A méretezési külső hőmérséklet -13°C, a belső levegő 22°C, ekkor a befűjt levegő a hővisszanyerős szellőztető hatásfokának definíciójából számíthatjuk a befűjt levegő hőmérsékletét:

$$\eta_{h\ddot{o}visszanyer\ddot{o}} = \frac{T_{lev,k} - T_{lev,bef\ddot{u}jt}}{T_{lev,k} - T_{lev,b}} \quad (10.1.2.2.)$$

$$T_{lev,t\ddot{e}l,bef\ddot{u}jt} = T_{lev,k} - (T_{lev,k} - T_{lev,b}) * \eta_{h\ddot{o}visszanyer\ddot{o}} = 16,75 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10.1.2.3.)$$

Ilyen hideg levegőt komfortelméleti megfontolások miatt nem engedhetünk befűjni a térbe, temperálni szükséges legalább 20°C-osra. A megadott feltételekkel temperálás elvégzése 2°C külső hőmérséklet alatt szükséges, ekkor lesz a befűjt levegő hőmérséklete 20°C, ez könnyen



belátható az előző képletbe történő behelyettesítéssel. A későbbiekben vizsgálom, hogy ezt a temperálást elektromos fűtőpatronnal, vagy más módon gazdaságos megoldani.

A filtrációs hőnyereség hasonlóképpen számítható, 35°C-os külső hőmérséklet, és 24 °C-os belső hőmérsékletet figyelembe véve. Ekkor a befűjt levegő hőmérséklete:

$$T_{lev,nyár,befűjt} = T_{lev,k} - (T_{lev,k} - T_{lev,b}) * \eta_{hővisszanyerő} = 25,7\text{ °C} \quad (10.1.2.4.)$$

Mintaképpen a fenti gondolatmenet alapján kapott a téli hőszükséglet a CROSSFIT teremre a következő:

The screenshot shows a software window titled "Helyiségek - 1\_CROSSFIT (Tornaterem)". It has several tabs: "Általános adatok", "Téli hőszükséglet", "Nyári hőterhelés", "Radiátorok", and "Felületfűtés-hűtés". The "Téli hőszükséglet" tab is active.

Input fields include:

- Méretezési belső hőmérséklet: 22 °C
- Méretezési külső hőmérséklet: (külső) °C
- Időállandótól függő tényező: 1
- Transzmissziós hőveszteség: 2042 W
- Napsugárzási hőnyereség:  W
- Belső hőforrások teljes ítménye: 0 W
- Filtrációs hőveszteség: 1020 W
- Hőveszteség összesen: 3062 W**

The "Filtráció" section includes:

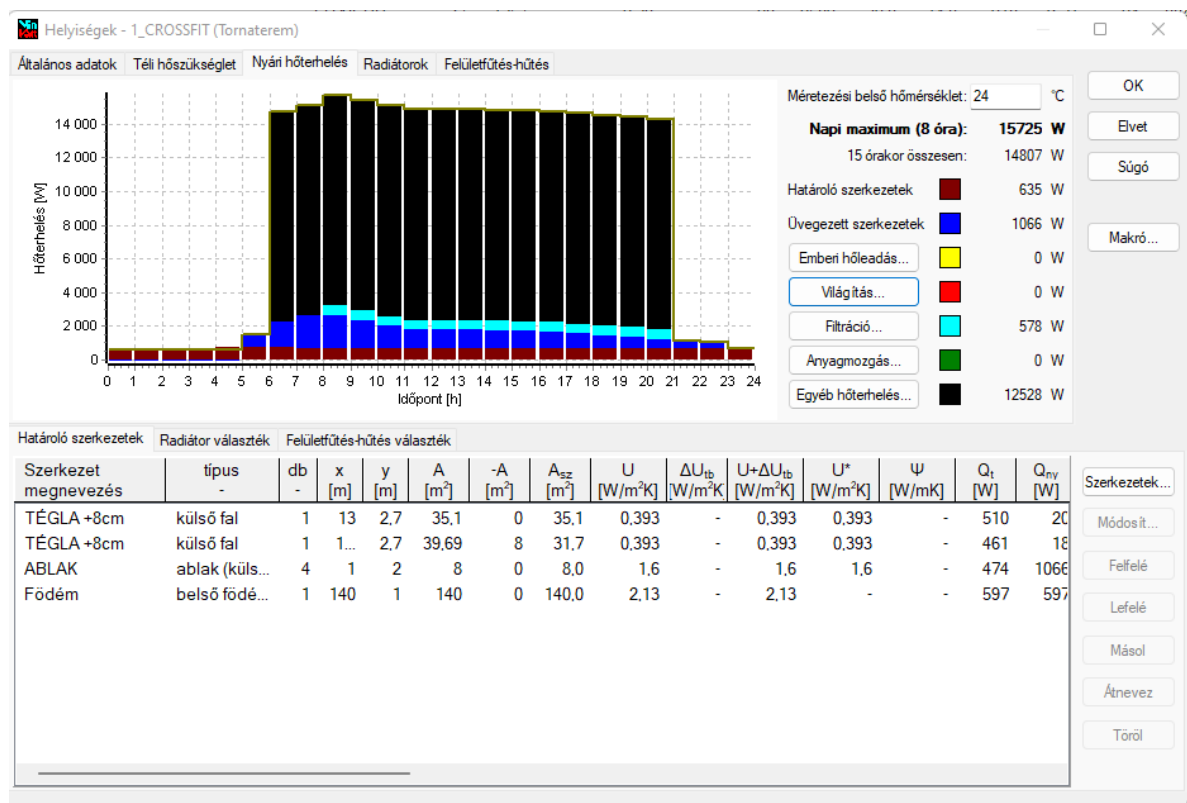
- Ismert légmennyiséggel
- Térfogatáram: 1000 m³/h
- Belépő levegő hőmérséklet: 19 °C
- További infiltráció
- Infiltrációs légcserezés: 0,3 1/h

At the bottom, there is a table for "Határoló szerkezetek" (Boundary structures) with columns for name, type, thickness, coordinates, area, and various heat loss coefficients.

Szerkezet megnevezés	típus	db	x [m]	y [m]	A [m²]	-A [m²]	A <sub>sz</sub> [m²]	U [W/m²K]	ΔU <sub>ib</sub> [W/m²K]	U+ΔU <sub>ib</sub> [W/m²K]	U* [W/m²K]	Ψ [W/mK]	Q <sub>t</sub> [W]	Q <sub>ny</sub> [W]
TÉGLA +8cm	külső fal	1	13	2,7	35,1	0	35,1	0,393	-	0,393	0,393	-	510	20
TÉGLA +8cm	külső fal	1	1...	2,7	39,69	8	31,7	0,393	-	0,393	0,393	-	461	18
ABLAK	ablak (küls...	4	1	2	8	0	8,0	1,6	-	1,6	1,6	-	474	1066
Födém	belső földé...	1	140	1	140	0	140,0	2,13	-	2,13	-	-	597	597

16. ábra: Crossfit terem téli hőszükséglete

A nyári hőterhelés ugyanerre a helyiségre:



17. ábra: Crossfit terem nyári hőterhelése

A program sajátossága miatt a 6. táblázatban számított hőterhelések „Egyéb hőterhelés” kategóriába kerültek besorolásra, mivel itt van lehetőség egyéni hőterhelés értékét megadni. Látható, hogy a méretezési teljesítmény jelentős részét a belső hőterhelés miatt kell bevinni, viszont ez csak a korábban hivatkozott csúcsideben jelentkezik. Így bár a 17. ábra szerint a napi maximum reggel 8:00-kor jelentkezik, ekkor nem lesz a terem kihasználtsága teljes, a meghatározó méretezési állapotnak a 17:00-t jelöljük ki, amikor a terem teljes kapacitása kihasznál.

Az egyes helyiségekre elvégezve a méretezést a fűtési hőszükségletre a következő eredményeket kapjuk:

7. táblázat: Helyiségek téli hőszükséglete

Általános adatok		Téli hőszükséglet				
Helyiségnév	Alapterület [m <sup>2</sup> ]	Mértékadó hőmérséklet [°C]	Külső hőmérséklet [°C]	Transzmissziós veszteség [W]	Filtrációs veszteség [W]	Hővesztesség összesen [W]
1_CROSSFIT	140	22	-15	2042	1802	3844
1_KÖZLEKEDŐ	70	22	-15	1317	1189	2506
1_RECEPCIÓ	208	22	-15	3332	3532	6864
1_SPINNING	65	20	-15	918	1683	2601
2_CARDIO	304	22	-15	3168	3604	6772
2_GYM	230	22	-15	2224	3604	5828
2_KÖZLEKEDŐ	103	22	-15	1868	2591	4459
2_ÖLTÖZŐ	72	22	-15	2234	1802	4036
2_STUDIO	165	22	-15	3634	2703	6337
2_USZODATÉR	505	22	-15	5042	11353	16395
<b>SZUMMA</b>				25779	33863	<b>59642</b>

A kapott 59,6 kW értékből a transzmissziós hővesztesség 25,7 kW, míg a filtrációs hővesztesség 33,9 kW. Az energiafogyasztás alapján becsült méretezési hőszükséglet 45 kW volt. Az eltérés oka lehet, hogy a méretezéskor úgy számoltunk, hogy -15°C külső hőmérséklet mellett minden hővisszanyerős szellőztető berendezés működik, tehát a terem teljesen kihasznált. A valóságban ilyen üzemállapot nem léphet fel.

8. táblázat: Helyiségek nyári hőterhelése

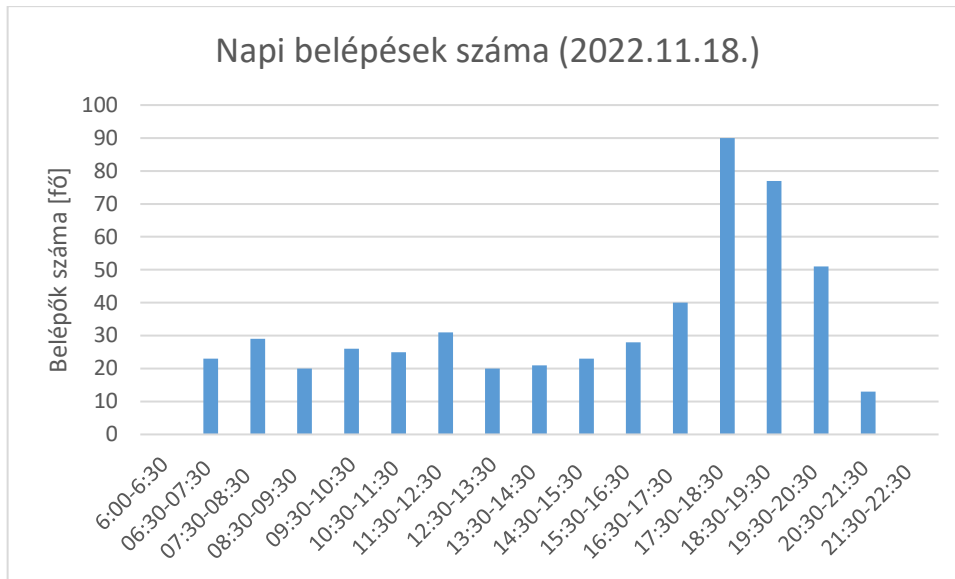
Általános adatok		Nyári hőterhelés		
Helyiségnév	Alapterület [m <sup>2</sup> ]	Mértékadó hőmérséklet [°C]	Hőterhelés maximum [W]	Maximum időpontja [h]
1_CROSSFIT	140	24	15455	8
1_KÖZLEKEDŐ	70	24	2663	18
1_RECEPCIÓ	208	24	8626	11
1_SPINNING	65	24	30874	18
2_CARDIO	304	24	31482	8
2_GYM	230	24	23177	8
2_KÖZLEKEDŐ	103	24	2288	15
2_ÖLTÖZŐ	72	24	3729	6
2_STUDIO	165	24	11590	8
2_USZODATÉR	505	24	8887	6
<b>SZUMMA</b>			<b>138771</b>	

A szükséges hűtési teljesítményeket a 8. számú táblázat mutatja. A belső hőterhelés mindenhol a meghatározó, a filtrációs hőnyereség másodlagos. Ebből következik, hogy a rendszer modulálhatósága kiemelten fontos az energiahatékony működés szempontjából, mivel ezek a belső hőterhelések csak alkalmanként lépnek fel.

#### *10.2 HMV előállítási teljesítmény becslése*

A vízfogyasztás az eddig bemutatottak szerint a hét során ingadozik. 3 m<sup>3</sup> tárolókapacitás áll rendelkezésre a pinceszinti gépházban. A vízfogyasztási adatsorunkból 2022.11.18, pénteki naphoz tartozó 22,2 m<sup>3</sup>-es vízfogyasztás 85%-át tekintjük HMV felhasználásnak, a fennmaradó 15%-ot hidegvíznek tekintjük, amelyet ivóvíznek valamint WC öblítésre használnak el. A napi méretezési HMV igény így 18,9 m<sup>3</sup>.

A HMV igény időbeli eloszlása korrelációt mutat a bent tartózkodó vendégek számával. A létesítményben kártyás beléptetőrendszer működik, ennek segítségével megbízható adatokat kapunk a HMV fogyasztás időbeli becslésére, ezt a kiindulási adatsort 18. ábrán mutatjuk be.



18. ábra: Napi belépések száma (2022.11.18)

Az szükséges teljesítmény becslésekor a következő feltételezésekkel élünk:

A HMV hőmérséklete a tartály 50°C, a belépő hálózati víz 15°C. A teljes napi vízfogyasztás ismert. A HMV tartályokat fekete dobozként modellezzük, melyből a kilépő 50°C hőmérsékletű HMV mennyiségét óránkénti lebontásban egyenesen arányosítjuk a belépő vendégszámmal. Az 1 óra alatt termelt HMV mennyisége triviálisan számítható ( $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$  összefüggésből kiindulva). Feltételezzük, hogy a tartály a nap kezdetekor teljes tárolókapacitás fel van fűtve, hiszen éjszaka a terem zárva van, a HMV tartályok felfűtésére elegendő idő jut.

Két változatható paraméterünk van:

$Q_{\text{H MV}}$  = HMV termelési teljesítmény [kW]

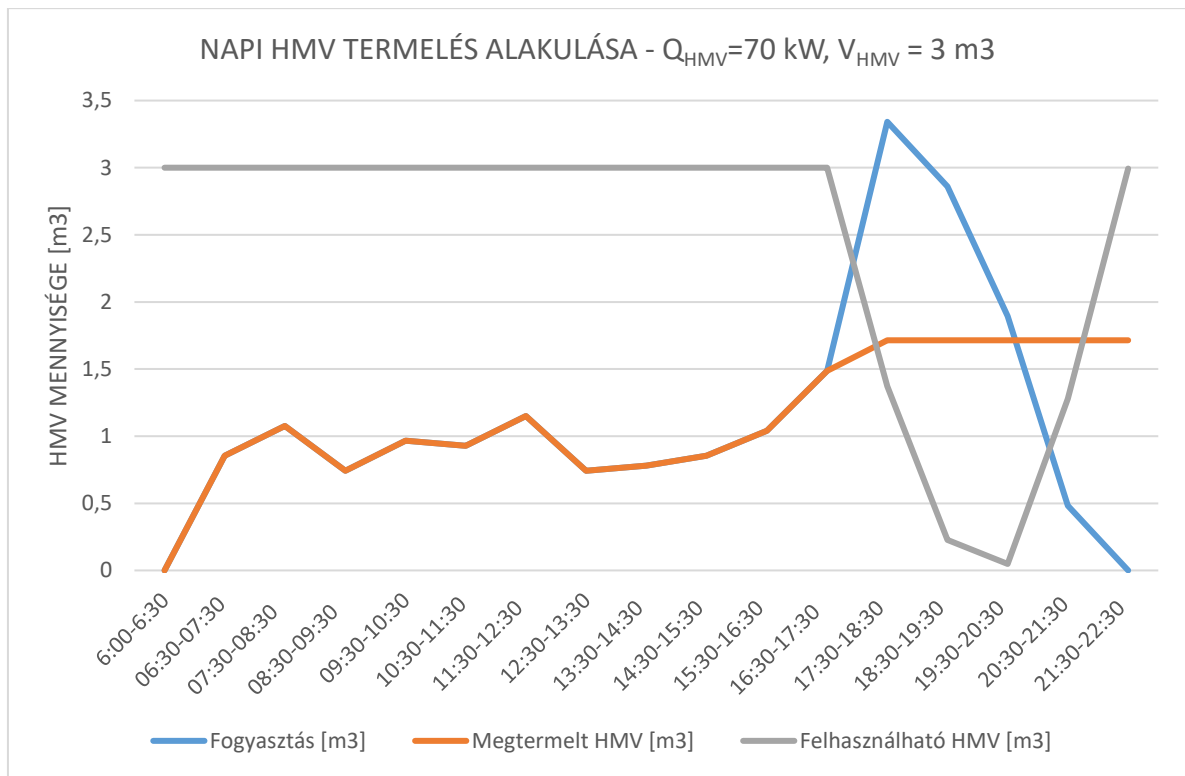
$V_{\text{tároló}}$  = HMV tároló térfogata [ $\text{m}^3$ ]

A jelenlegi tárolókapacitás mellett szükséges becsült HMV teljesítményigényt megtalálhatjuk, ha minden egyes órában szummázzuk a fogyasztásokat és elvételeket. Olyan HMV kapacitást kell választanunk, ahol a felhasználható HMV mennyisége  $>0 \text{ m}^3$ .

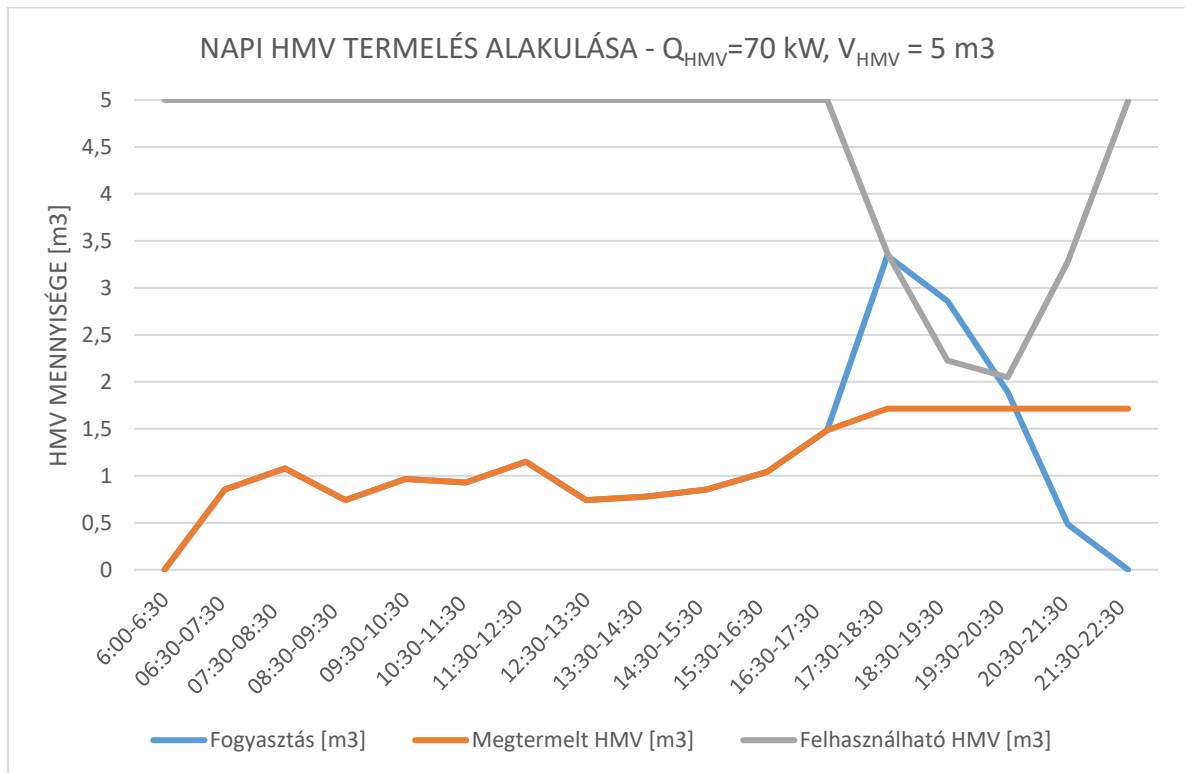
9. táblázat: Felhasználható HMV mennyisége a nap során,  $Q_{hmv}=70\text{ kW}$ ,  $V_{hmv}=3\text{ m}^3$

Idő	Belépő vendégek száma [fő]	Napi fogyasztás aránya [%]	Fogyasztás [m <sup>3</sup> ]	Termelési kapacitás [m <sup>3</sup> ]	Megtermelt HMV [m <sup>3</sup> ]	Felhasználható HMV [m <sup>3</sup> ]
6:00-6:30	0	0	0	0	0	3
06:30-07:30	23	5%	0,85	1,71	0,85	3,00
07:30-08:30	29	6%	1,08	1,71	1,08	3,00
08:30-09:30	20	4%	0,74	1,71	0,74	3,00
09:30-10:30	26	5%	0,97	1,71	0,97	3,00
10:30-11:30	25	5%	0,93	1,71	0,93	3,00
11:30-12:30	31	6%	1,15	1,71	1,15	3,00
12:30-13:30	20	4%	0,74	1,71	0,74	3,00
13:30-14:30	21	4%	0,78	1,71	0,78	3,00
14:30-15:30	23	5%	0,85	1,71	0,85	3,00
15:30-16:30	28	6%	1,04	1,71	1,04	3,00
16:30-17:30	40	8%	1,49	1,71	1,49	3,00
17:30-18:30	90	18%	3,34	1,71	1,71	1,37
18:30-19:30	77	15%	2,86	1,71	1,71	0,23
19:30-20:30	51	10%	1,89	1,71	1,71	0,05
20:30-21:30	13	3%	0,48	1,71	1,71	1,28
21:30-22:30	0	0%	0,00	1,71	1,71	2,99

A 10. táblázatban bemutatjuk a becslés eredményét, 70 kW fűtőteljesítménnyel és 3 m<sup>3</sup> tárolókapacitással. Láthatjuk, hogy a kritikus időszak 19:30-20:30 közötti csúcsidőszak, annak ellenére, hogy legtöbb belépő 17:30-18:30 között volt. Ettől az időszaktól kezdve teljes terhelésen működik a HMV termelést, a termelési kapacitás teljesen kihasznál. Mivel a gépházban rendelkezésre áll hely további 2 db 1000 l térfogatú HMV tároló beépítése megvizsgáltam mi történik ha ilyen módon növeljük a tárolókapacitást.



19. ábra. Napi HMV termelés alakulása, A eset



20. ábra: Napi HMV termelés alakulása emelt tárolókapacitással, B eset

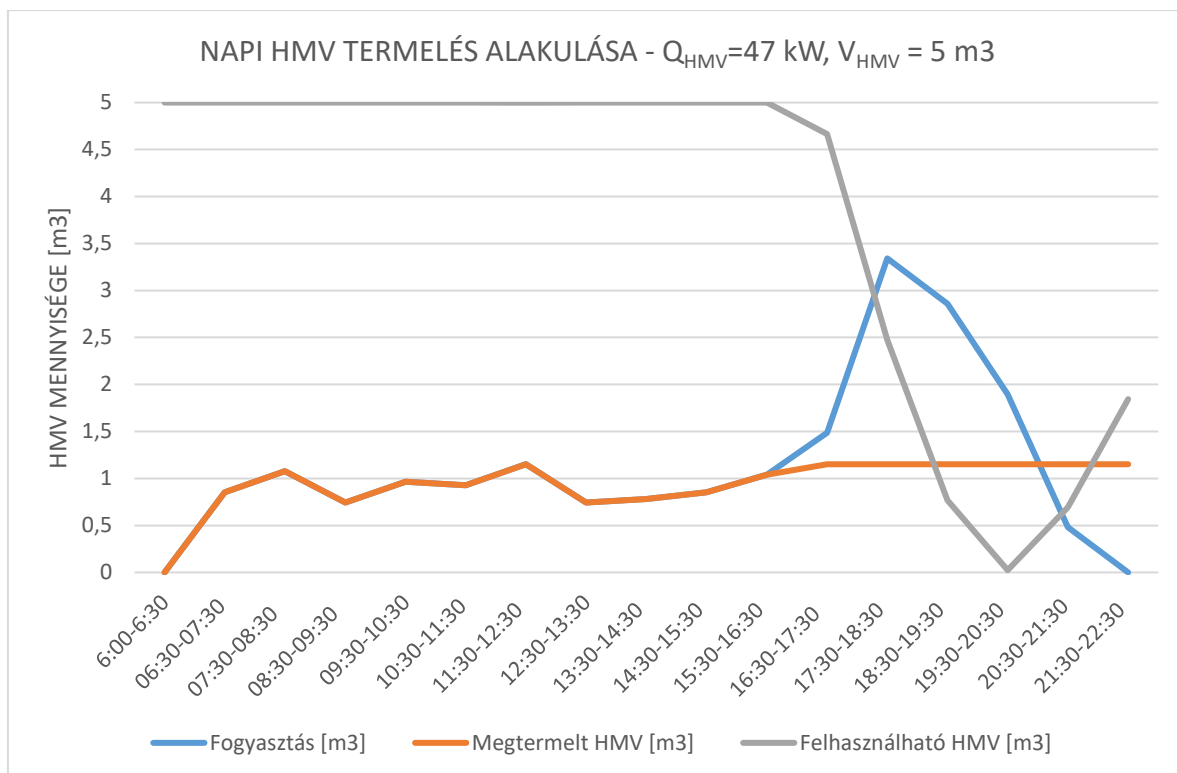
A 19-20. ábrák szerint a tárolókapacitás növelésével a termelési teljesítményünk túlméretezett lett, mindig rendelkezésre áll több mint 2 m<sup>3</sup> 50°C-os víz a tárolóban. Keressük azt a HMV előállítási teljesítmény, amennyi éppen elegendő 5 m<sup>3</sup> tárolókapacitás esetén:

10. táblázat Felhasználható HMV mennyisége a nap során,  $Q_{hmv}=47 \text{ kW}$ ,  $V_{hmv}=5 \text{ m}^3$

Idő	Belépő vendégek száma [fő]	Napi fogyasztás aránya [%]	Fogyasztás [m <sup>3</sup> ]	Termelési kapacitás [m <sup>3</sup> ]	Megtermelt HMV [m <sup>3</sup> ]	Felhasználható HMV [m <sup>3</sup> ]
6:00-6:30	0	0	0	0	0	5
06:30-07:30	23	5%	0,85	1,15	0,85	5,00
07:30-08:30	29	6%	1,08	1,15	1,08	5,00
08:30-09:30	20	4%	0,74	1,15	0,74	5,00
09:30-10:30	26	5%	0,97	1,15	0,97	5,00
10:30-11:30	25	5%	0,93	1,15	0,93	5,00
11:30-12:30	31	6%	1,15	1,15	1,15	5,00
12:30-13:30	20	4%	0,74	1,15	0,74	5,00
13:30-14:30	21	4%	0,78	1,15	0,78	5,00
14:30-15:30	23	5%	0,85	1,15	0,85	5,00
15:30-16:30	28	6%	1,04	1,15	1,04	5,00
16:30-17:30	40	8%	1,49	1,15	1,15	4,67
17:30-18:30	90	18%	3,34	1,15	1,15	2,47
18:30-19:30	77	15%	2,86	1,15	1,15	0,77
19:30-20:30	51	10%	1,89	1,15	1,15	0,02
20:30-21:30	13	3%	0,48	1,15	1,15	0,69
21:30-22:30	0	0%	0,00	1,15	1,15	1,84

A 11. táblázat 5 m<sup>3</sup>-es tárolókapacitáshoz és 47 kW HMV előállítási teljesítményhez mutató értékeket mutatja.





21. ábra Napi HMV termelés alakulása emelt tárolókapacitással, csökkentett teljesítménnyel C eset

Jelentős teljesítményigény csökkenés érhető el a tárolókapacitás növelésével, mivel gépház szabad alapterülete megengedi a bővítés javasolt. A jelentős HMV fogyasztás miatt a legionella elleni védelem csak hosszabb zárvatartás esetén jelent megoldandó feladatot.

A fenti becslés nem veszi figyelembe a hőtermelés és hőtárolás veszteségeit, a HMV tartályt fekete dobozként kezeli egy kimenettel és egy bemenettel.

Javasolt a becslésen túl elvégezni méretezést a DIN 18032-1 „Sportcsarnokok, tornatermek” fejezete alapján.

### 10.3. Frisslevegő szükséglet számítása

A friss levegő igények újraszámításakor a következő módon járunk el:

- A közlekedő, öltöző, recepció, valamint egyéb területeken ahol nem végeznek fizikai erőfeszítéssel járó munkát,  $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{fő}$  frisslevegővel számolunk.
- Az uszodatér légkezelőjét érintetlenül hagyjuk.
- Az edzőtermi részeken először meghatározzuk a méretezési állapothoz tartozó MET értékeket, majd ebből  $\text{CO}_2$  terhelést számolunk. Az egyes termekben végzett tevékenységhez tartozó MET értékek, valamint a belső hőterhelés az alábbi táblázatban látható. [ (Ainsworth, 2021)]

Az 1 MET-tel járó erőfeszítés során definíció szerint 3,5 ml O<sub>2</sub>/kg/perc oxigént használ el a szervezet. A számítás során úgy közelítjük, hogy ez teljes mértékben CO<sub>2</sub> terhelésként jelenik meg az egyes helyiségekben, átlagosan 70 kg testsúlyú emberekkel számolunk. (M Jetté, 1993)

11. táblázat: Egyes helyiségekben keletkező CO<sub>2</sub> mennyisége

Helyiség	MAX. LÉTSZÁM [fő]	Tevékenység	Tevékenység MET értéke	MET összesen	Keletkező CO <sub>2</sub> [l/perc]
1_CROSSFIT	20	ellenállásos edzés, magas erőfeszítés	6	120	40,43
1_SPINNING	30	biciklizés, RPM/Spinning óra	8,50	255	85,90
2_CARDIO	40	kocogás	7	280	94,33
2_GYM	40	ellenállásos edzés, közepes erőfeszítés	5	200	67,38
2_STUDIO	30	jóga	3,3	99	33,35
<b>TOTÁL</b>	<b>160</b>				<b>321,38</b>

Ennek megfelelően a CROSSFIT helyiségre a számítást a következőképpen végezzük:

$$V_{k,CO_2} = \frac{3,5 \left[ \frac{ml O_2}{kg \cdot perc \cdot MET} \right] * 70 \left[ \frac{kg}{fő} \right] * \frac{44}{32} * 6 [MET] * 20 [fő]}{1000 \left[ \frac{ml}{l} \right]} = 40,43 \frac{l}{perc} \quad (10.3.1.)$$

A többi helyiségre hasonlóképpen járunk el, ennek eredményét mutatja a 9. táblázat. Az összes számítási eredményeket figyelembe véve alacsonyabb értéket kapunk a pótlendő levegőre, mint az eredetileg tervezett 50 m<sup>3</sup>/h/fő fejadag. Ezért a hőveszteség és hőterhelés számítása szerint az eredeti tervhez és a szakirodalmi áttekintésben kifejtett ajánlásokat figyelembe véve. 50 m<sup>3</sup>/h/fő légmennyiséggel kalkulálunk, kivétel az öltözőnél, ahol a fizikai aktivitás nem jelentős, így itt 30 m<sup>3</sup>/h/fő fejadaggal számolunk. A hővisszanyerős szellőztető berendezések tervezésekor viszont olyan berendezést szükséges választani ami CO<sub>2</sub> valamint páratartalom értékekre is képes szabályozni, ezzel is csökkentve az üzemeltetési költségeket. A fentieket figyelembe a következő frisslevegő igényeket kapjuk az egyes helyiségekre:

12. táblázat: Frisslevegő igények az egyes helyiségekben

Helyiség	MAX. LÉTSZÁM [fő]	Fejadag [m3/h/fő]	Frisslevegő igény [m3/h]
1_CROSSFIT	20	50	1000
1_SPINNING	25	50	1250
2_CARDIO	60	50	3000
2_GYM	40	50	2000
2_ÖLTÖZŐ	60	30	1800
2_STUDIO	30	50	1500
<b>TOTÁL</b>	<b>235</b>		<b>10550</b>

### 11. Rövid távú javaslatok

Az alábbiakban olyan rövid távú megoldások kerülnek bemutatásra, amelyek alacsony beruházási költséggel javítják a jelenlegi rendszer energiahatékonyágát, annak teljes cseréje nélkül.

#### 11.1. Folyadékűtő modulációs lehetőségének helyreállítása

A „Villamos energiafogyasztás” fejezetben becsült 76190 kWh éves hűtési energiaigény csökkentésének egyik lehetséges módja a jelenleg üzemelő 200 kW hűtési teljesítményű folyadékűtő modulációs lehetőségének helyreállítása. Az üzemeltető nyilatkozata szerint a folyadékűtő gyári vezérlőpanele meghibásodott, a berendezés kora miatt viszont a gyári alkatrészellátás nem biztosított. Ennek áthidalására egy olyan egyedi megoldás került kialakításra, ami on-offos üzemben működteti a berendezést a visszatérő vízhőmérséklet alapján. A berendezés a gyári adatlapja szerint 4 kompresszorral szerelt, és 6 lépésben modulálható 0-17-33-50-67-83-100% teljesítményeken.

#### GENERAL DATA



		WA - EK - DK		LOW NOISE		
ECOLOGIC	WA	200	230	270	300	370
Cooling mode						
Cooling capacity <sup>1)</sup>	kW	180	214	260	275	339
Power input <sup>2)</sup>	kW	80,7	88,1	121	137	163
Full load amps (I)	A	134,1	163,8	201,2	228,0	272,8
EER <sup>3)</sup>		2,5	2,4	2,4	2,2	2,3
EER global <sup>4)</sup>		2,23	2,16	2,14	2	2,07
Compressor			Scroll - hermetic			
Number of compressor	nr	4	4	4	4	6
Capacity steps	%	0-17-33-50-67-83-100	0-17-33-50-67-83-100	0-22-28-50-55-78-100	0-25-50-75-100	0-17-33-50-67-83-100

22. ábra: Meglévő folyadékűtő adatlapja (Tóth, 2008)

Ebből következik, hogy 2 db 17% teljesítménynek, valamint 2 db 33% teljesítménynek kompresszor van a berendezésben, így a modulációs lehetőségek:

1. fokozat:  $1 \times 17\% = 17\%$
2. fokozat  $1 \times 33\% = 33\%$
3. fokozat  $1 \times 17\% + 1 \times 33\% = 50\%$
4. fokozat  $2 \times 17\% + 1 \times 33\% = 67\%$
5. fokozat  $1 \times 17\% + 2 \times 33\% = 83\%$
6. fokozat  $2 \times 17\% + 2 \times 33\% = 100\%$

A jelenleg kialakított vezérlés azonban ezt a lehetőséget nem használja ki, a folyadékűtő részterhelésre nem alkalmas. Jelenleg a piacon többféle, kifejezetten hűtőgép vezérlésre alkalmas, programozható vezérlő található ami tudja kezelni 4 db kompresszor léptetését 2 külön hűtőkörben, amelyek közös elpárologtatóra dolgoznak. Szükséges kialakítani a hűtőköri alacsony és magasnyomás kapcsolókat, a kompresszorok és ventilátormotorok hővédelmét, valamint áramláskapcsolót beépíteni. Erre egy lehetséges sémát találunk a Carel MicroChiller 2 telepítési útmutatójában, ami képes minden a folyadékűtő modulációjának visszaállításához szükséges vezérlési feladatot ellátni.

#### 4.4.2 Two circuits, 1 evaporator

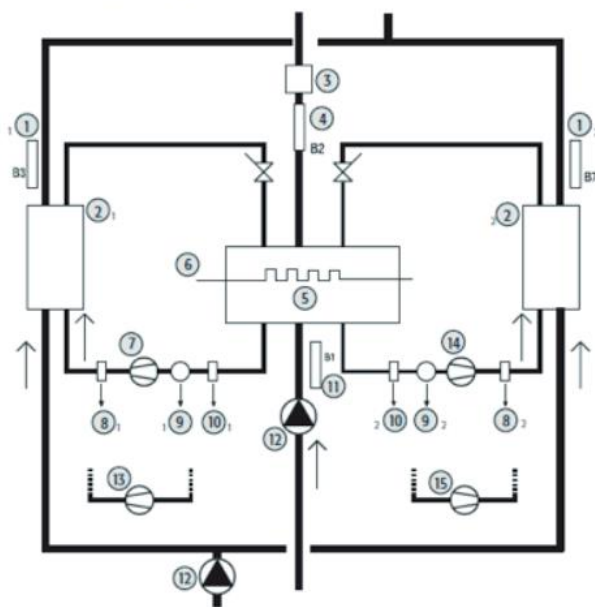


Fig. 4.n

#### Key:

1	condenser fan 1 & 2 thermal protector
2	fan
3	condenser probe
4	supply probe
5	heater 1 & 2
6	evaporator 1 & 2
7	supply fan thermal protector
8	supply fan
9	compressor 1
10	high pressure 1 & 2
11	compressor 1 & 2 thermal protector
12	low pressure 1 & 2
13	room probe
14	compressor 2
15	valve
16	reversing valve
17	compressor 3
18	compressor 4

23. ábra: Alkalmazási példa Carel MChiller 2 vezérlő telepítési útmutatójából (CAREL, 2018.)

Az energiahatékonyság javulása mellett a megfelelő moduláció kialakítása csökkentené a kompresszorindítások számát, ezáltal növelve a berendezés várható élettartamát.

### 11.2. Szabadhűtés megvalósítása

A jelenlegi légtechnikai rendszer kialakítása szerint minden helyiségben, ahol légkezelő van telepítve van lehetőség frisslevegő bejuttatására. A légszűrőhálózat ki van építve, méretezési állapotban a légkezelők 30-40% frisslevegő aránnyal működnek. Azonban a jelenlegi automatika nem ad lehetőséget arra, hogy ezeket a légkezelőket ventilátoros üzemben, 100% frisslevegővel működtessék a folyadékűtő indítása nélkül. A nyári reggeli órákban történő átszellőztetéssel, vagy a magas belső hőterhelések miatt akár átmeneti időszakban is energiamegtakarítást jelenthet egy olyan automatika kialakítása, ami a külső hőmérséklet függvényében engedélyezi a szabadhűtési üzemmódot.

### 11.3. Splitklímák telepítése

Üzemeltető részéről felmerült az igény, hogy az edzőterem egyes részein splitklíma berendezéseket telepítsen, kifejezetten hűtési üzemre méretezve. Az érintett terek a CARDIO és a GYM helyiségek.

Ezekben a terekben a legnagyobb a belső hő és páratérhelés nyáron. A splitklímák kültéri egységének elhelyezésére lehetőség nyílik a szomszédos társasházi mélygarázsban, itt két parkolóhely a fitnesszterem tulajdonában áll. A megoldás jól modulálható, energiahatékony hűtési lehetőséget biztosítana a nyári esti időszakban történő csúcsterhelésre. Jelenleg ez csak a termék előzetesen történő lehűtésével oldható meg, mivel a hűtési rendszer lassan reagál a hirtelen fellépő hőterhelés megjelenésére, és csak központilag vezérelhető. A splitklíma berendezések minimális bontással, gyors telepítési idővel, alacsony beruházási költséggel biztosítanának megoldást a csúcsigények kielégítésére. Az egyetlen megvizsgálandó tényező a hűtési teljesítményeken kívül az a csővezetési nyomvonal, ahol a kültéri és beltéri egységeket összekötő csővezeték vezetjük. Splitklímánál ennek maximális hosszára szigorú előírások vannak. Általánosságban elmondható, hogy az ipari felhasználásra szánt gépek hosszabb maximális megengedett csőhosszal rendelkeznek, valamint minél nagyobb a splitklíma hűtési teljesítmény, annál távolabb helyezhetőek el egymástól a kültéri és beltéri egységek. Az üzemeltetői igény szerint 25 – 25 kW totál hűtési teljesítményű oldalfali splitklíma berendezés telepítési lehetőségeit vizsgáltam. A maximális csőhosszak figyelembevételével az alábbi berendezések kerültek kiválasztásra:

13. táblázat: GYM tervezett splitklímák

CARDIO					
Típus	Modellkód	Menny	Leírás	Max. csövezési hossz [m]	Névl. hűtési teljesítmény [kW]
Kültéri egység	AC071BXAPKG/EU	3	IPARI EMELT HATÉKONYSÁGÚ MONOSPLIT	55	7,1
	AC071RXADKG/EU	1	IPARI MONOSPLIT	50	7,1
Beltéri egység	AC071BNAPKG/EU	3	IPARI EMELT HATÉKONYSÁGÚ MONOSPLIT	-	7,1
	AC071TNXDKG/EU	1	IPARI MONOSPLIT	-	7,1
<b>Totál hűtési teljesítmény</b>					<b>28,4</b>

Költséghatékonysági szempontból a közelebb eső GYM helyiségben lakossági multi-split berendezést választottam. A távolabb eső berendezések ipari split sorozatból kerültek kiválasztásra. A legtávolabbi beltérihez ezek közül is a prémium, emelt hatékonyságú kültéri egységeket kellett választani, ami 5 kW hűtőteljesítmény mellett is 50 m csőhosszal szerelhető.

14. táblázat: CARDIO tervezett splitklímák

GYM					
Típus	Modellkód	Menny	Leírás	Max. csövezési hossz [m]	Névl. Hűtési teljesítmény [kW]
Kültéri egység	AC052BXAPKG/EU	1	IPARI EMELT HATÉKONYSÁGÚ MONOSPLIT	50	5,2
	AC052RXADKG/EU	2	IPARI MONOSPLIT	30	5,2
	AJ100TXJ5KG/EU	1	MULTISPLIT	Totál: 75 m, 25m/beltéri	10
Beltéri egység	AC052BNAPKG/EU	1	IPARI EMELT HATÉKONYSÁGÚ MONOSPLIT	-	5,2
	AC052TNXDKG/EU	2	IPARI MONOSPLIT	-	5,2
	AR18TXFCAWKNEU	2	MULTISPLIT	-	5
<b>Totál hűtési teljesítmény</b>					<b>25,6</b>

A CARDIO részlegben a távolságok miatt 7 kW-os teljesítményű split berendezések kerültek kiválasztásra, ezek közül 3 db emelt hatékonyságú szériából az 55 m-es csövezési hossz miatt.

Összességében elmondható, hogy az itt felsorolt rövid távú javaslatok csak az üzemeltetői igények egy részére jelentenek megoldást.

## **12. Javasolt fűtési-hűtési rendszer: Háromcsöves VRF rendszer**

### *12.1. A tervezett rendszer leírása*

A fitnessterem hűtését a 3 különálló rendszerrel tervezzük, a kapcsolási vázlatok és alaprajzok a mellékletekben található.

- FSZ-1 rendszer: Kétsöves rendszer, a teljes földszintet látja el.
- PINCE-1 rendszer: Háromcsöves hővisszanyerős rendszer a beltéri egységek a CARDIO területén helyezkednek el, 1 db 25 kW-os HT magas hőmérsékletű melegvízteremelő egységgel a központi gépházban.
- PINCE-2 rendszer: Háromcsöves hővisszanyerős rendszer a beltéri egységek a GYM és STUDIO területén helyezkednek el, 1 db 25 kW-os HT magas hőmérsékletű melegvízteremelő egységgel a központi gépházban.

A kültéri egységek tetőre történő feljuttatása helyszíni felmérés alapján a társasházi lifttel, valamint kézi erővel lehetséges. Telepítésüket a meglévő LENNOX folyadékűtők mellé, azok elbontását követően javaslom, mivel itt már rendelkezésre áll egy hanggátló falszerkezet.

A földszinti rendszer kétsöves, mivel a csövezési távolságok miatt erre a rendszerre a földszinti gépházba hydrobox nem lehetséges, így nem tud részt venni a hővisszanyerésben egyidejű hűtési igény és HMV termelés igény esetén.

A pince mindkét rendszere hővisszanyerős, egyidejű hűtési és HMV termelési igény esetén a hővisszanyerés megvalósul a háromcsöves rendszeren keresztül.



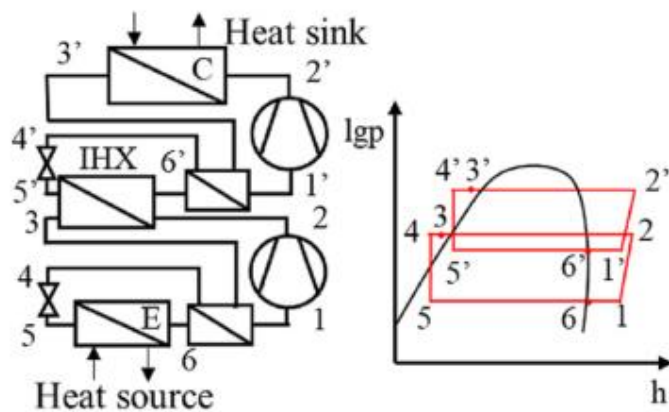
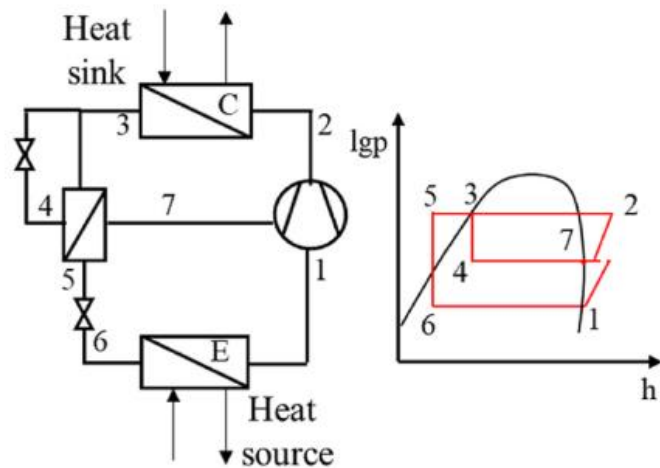
24. ábra: Samsung WindFree 4-utas kazettás beltéri (bal), és HT Hydrobox beltéri egység (jobb)

A beltéri egységek 4-utas kazettás WindFree egységek. Amint a terem hőmérséklete közelít az beállított hőmérséklethez, a lamellák záródnak, és a hideg levegő a frontlap mikroperforációin keresztül, egy elárasztásos befúvóhoz hasonlóan áramlik a helyiségbe. Ezáltal nagyban csökken a huzathatás és a zajterhelés hűtési üzemmódban. A WINDFREE 4-utas kazettás egységek PC4NUCEAN légtisztító dekorpanellel is kérhető. A SPINNING terembe a helyiség álmennyezeti kialakítása miatt légszűrővel, közepes nyomású beltéri egységeket terveztem.

A HMV igény ellátása 2x25 kW teljesítményű HT HYDROBOX beltéri egységeket terveztem, amik pincei gépházban kerülnének elhelyezésre. A HT HYDROBOX beltéri egység akár 80°C-os vizet is képes előállítani a beépített R134a-s hűtőkörének köszönhetően.

A kültéri egységben alkalmazott gőzbefecskendezéses rendszer segít kiküszöbölni a hőszivattyúk teljesítményesését a kültéri hőmérséklet csökkenésével, ezért a kültéri egységek közel a névleges fűtési teljesítményüket képesek leadni -15°C külső méretezési hőmérséklet mellett is, valamint a megoldás hűtési szezonban is emeli az energiahatékonyságot.. (Byungchae Min, 2019), (Yue Ming Li, 2010)





25. ábra: Gőzbefecskendezéses kompresszort alkalmazó kapcsolás (felül) és többlépcsős hőszivattyús kapcsolás (alul) (Jiatong Jiang, 2022)

Az 25. ábrán felül a gőzbefecskendezéses rendszer elvi kapcsolása és logp-h diagramja látható. A kapcsolás szerint a kondenzátor után áramló hűtőközeg egy részét egy expanziós szelepbe vezetjük, majd ez után egy „economizer” hőcserélőn keresztül visszavezetjük a kompresszor fejrészébe a két kompressziós fokozat közé.

Ennek eredményeképpen a kompresszor fejhőmérséklete csökken, valamint változatlan túlhevítés mellett magasabb kondenzációs hőmérsékletet tudunk tartani úgy, hogy a kompresszor működési határain belül maradunk. (Zoltán K. , 2019.)

A 25. ábra alsó kapcsolása a kétfokozatú kaszkád hőszivattyús melegvízelőállítást mutatja be, a közbeiktatott hűtőközeg-hűtőközeg hőcserélővel, ami esetünkben R410A-R134a. Az

R410A kondenzációs hőmérséklete hűtőkörben elérhető nyomáson önmagában túl alacsony a 80°C-os víz előállításához, ez csak két lépcsőben hőszivattyúzva lehetséges.

A fenti két megoldás alkalmazásával a tervezett rendszerünk az irodalmi áttekintésben említett hőszivattyús rendszerek legfőbb hátrányait képes kiküszöbölni (INTERNET, A klíma fejlesztések legkifinomultabb vívmányai, 2023). További előny, hogy az üzemeltető által megfogalmazott igényeket is maradéktalanul képes teljesíteni az alábbiak szerint:

- Jó modulálhatóságot biztosítunk az inverteres szabályozású kompresszorok alkalmazásával, így részterheléseken az üzemeltetés jelentősen gazdaságosabb a jelenlegi rendszernél.
- Számos kialakítású beltéri egység közül választhatunk a helyiség igényeinek megfelelően (pl. oldalfali, négyutas kazettás, álmennyezetben elburkolt)
- A splitklímás megoldással szemben sokkal hosszabb csőhosszak megengedettek, viszont itt is ügyelni kell az első osztóidomtól érvényes követelményekre.
- Háromcsöves rendszer alkalmazásával, hydrobox beltéri egységek csatlakoztatásával (víz-„freon” hőcserélő) egyidejű hűtési és HMV előállítási igény esetén egy rendszeren belül a hővisszanyerés megvalósul.
- A korszerű technológiának köszönhetően a hűtési energiát ~5 SEER, a fűtési energiát ~4 SCOP értékekkel állítjuk elő.
- Napelemes rendszerrel kombinálva az üzemeltetési költségek tovább csökkennek.
- Minden gyártó rendelkezik központi távfelügyeletet, energiamonitoring biztosító rendszerrel, ami akár meglévő épületfelügyeleti rendszerekbe is integrálható.

A VRF rendszerek hátrányaként szokás említeni, hogy csővezetékek hűtőközeg kering, ami elszivároghat. Az alábbiakban megvizsgálom ennek lehetséges kockázatait, ismertetem az alkalmazott hűtőközeg tulajdonságait és bemutatom a kivitelezés során betartandó utasításokat, ami által a gázszivárgás esélye minimalizálható.

### 12.2. Alkalmazott hűtőközeg tulajdonságai

A tervezett rendszer R410A hűtőközeget használ, melynek ODP értéke 0, GWP értéke 1900, két komponensből áll, életvédelmi szempontból besorolása A1.

A környezetet károsító hatás számszerűsítéséhez bevezetésre került két olyan mérőszám, amelyekkel kifejezhető hogy mennyire környezetkímélő egy hűtőközeg, ezek az ODP (Ozone Depletion Potential) és GWP (Global Warming Potential). (Zoltán V. , 2023)

ODP: annak a mértéke, hogy egy kémiai vegyület mekkora károsodást okoz az ózonrétegben a fluor-triklórmétánhoz (R-11 vagy CFC-11) képest. A fluor-triklórmétán ózonlebontó potenciálja a legmagasabb a klórozott metánszármazékok közül, ezért ennek értéket veszik 1,0-nak.

GWP: annak a mértéke, hogy egy kémiai vegyület milyen mértékben járul hozzá az üvegházhatáshoz, a szén-dioxidhoz képest, 100 éves intervallumra vonatkoztatva. A szén-dioxid GWP értéke 1.

Az R410A ODP értéke 0, ennél magasabb nem is alkalmazható az F-gáz rendelet értelmében. Az 1900-as GWP érték magasnak számít, a legutóbbi F-gáz rendelet tervezetek szerint lakossági klímaberendezéseknél 12 kW alatt <150, 12 kW fölött <750 GWP érték bevezetését tervezik. Jelenleg már vannak R32 közeggel működő VRF rendszerek, viszont ezek kis teljesítményűek és az R32 A2L besorolása miatt további problémákat vetnek fel. Jelenleg az EU szabályozás a technológia előtt jár, kísérleti jelleggel az R446A hűtőközeget alkalmazzák az R410A alacsony GWP-jű alternatívájaként (733), viszont ez hatásfoksökkenéssel jár. Jelenleg kereskedelmi forgalomban az ipari méretű VRF rendszerek nagy része R410A közeggel működik.

### **Komponensek száma**

Másik szintén fontos tényező, hogy az adott hűtőközeg egykomponensű, vagy keverék-e. Ez egyrészt termodinamikai szempontból azért érdekes, mert többkomponensű közegeknek minimális „driftje” van, az egyes komponensek eltérő nyomásokon párolognak és kondenzálódnak. A másik következmény, hogy az egyes komponensek illékonyága is eltérő: így egy szivárgás esetén a komponensek egymáshoz viszonyított aránya megváltozik hiszen az egyikből több szivárog el, mint a másikból. Ebből következik, hogy többkomponensű közegek szivárgásakor nem elegendő lefejteni a megmaradt közeget, megjavítani a szivárgást, majd nyomáspróbát követően visszatölteni az lefejtt közeget, pótolva az elszivárgott mennyiséget. Vagy a töltet teljes cseréje, vagy a lefejtt hűtőközeg bevizsgálása, regenerálása szükséges.

A komponensek száma a hűtőközegek jelöléséből is kikövetkeztethető, az R134a egykomponensű, míg az R410A többkomponensű, a kis-nagybetű számít.

## A1 besorolás

A műszaki és környezetvédelmi szempontok után említést kell tennünk az életvédelmi követelményekről is. Egy esetleges szivárgás alkalmával, ha azt nem észleljük időben akár az egész hűtőközegtöltet a tartózkodási zónába szivároghat. Könnyen beláthatjuk ennek veszélyeit, ha elképzelünk egy szállodát, ami szintenként van rendszerekre bontva, és az egyik beltéri egységnél szivárgást tapasztalunk. Bizonyos elszivárgott mennyiség után a rendszer le fog állni (amennyiben más szivárgás elleni védelem nincs beépítve akkor alacsony szívóoldali nyomás hibára), de attól hogy a rendszer áll, a hűtőközegtöltet nagy része, vagy egésze egy helyiségbe szivároghat.

Az életvédelmi szempontoknál két tényező alapján vizsgáljuk a hűtőközegeket:

- toxikusság
- gyúlékonyság

Ezekkel a követelményekkel többek között az „MSZ EN 378-1: Alapkövetelmények, fogalom meghatározások, osztályozás és kiválasztási kritériumok” szabvány foglalkozik. (Magyar Szabványügyi Testület, 2021) A szabvány E-melléklete szerint az R410A besorolása A1.

Az A betű toxikusság szempontból, az 1-es karakter gyúlékonysági szempontból sorolja meg a hűtőközeget. A szabvány szerint csak toxikusság szempontjából kell elvégeznünk az ellenőrzést, mivel az 1-es besorolás „nem gyúlékony” anyagot jelent.

Hogy meghatározzuk a toxikusság szempontjából megengedhető töltetmennyiséget értékelnünk kell a létesítményünket ahol a rendszert telepítjük, valamint a rendszert az alapján, hogy milyen komponensek vannak a belső térben. Ezeket figyelembe véve a fitnesssterembe telepítendő rendszerünk:

- Hozzáférhetőségi kategória szerint: b, „supervised access”, mivel csak tagok léphetnek be, belépőkártyával, a házirend ismeretében
- A VRF rendszer, amennyiben a kültéri egységek a tetőn kerülnek elhelyezésre: „CLASS II – compressors in machinery room or open air”

Table C.1 - Charge limit requirements for refrigerating systems based on toxicity						
Toxicity Class	Access category	Location classification				
		I	II	III	IV	
A	a	Toxicity limit x Room volume or see C.3		No charge restriction	The charge requirements based on toxicity shall be assessed according to location I,II, or III, depending on the location of the ventilated enclosure	
	b	Upper floors without emergency exists of below ground floor level	Toxicity limit x Room volume or see C.3			
		Other	No charge restriction			
	c	Upper floors without emergency exists of below ground floor level	Toxicity limit x Room volume or see C.3			
		Other	No charge restriction			

26. ábra: Megengedhető töltetmennyiségek - MSZ 378-1, C.1 táblázat (Magyar Szabványügyi Testület, 2021)

Ezeket figyelembe véve láthatjuk, hogy A kategóriájú hűtőközegekre, b hozzáférési osztályú létesítményben, II típusú rendszernél semmilyen követelmény nincs a toxikussági szempontból megengedhető töltetmennyiségre.

### 12.3. Kivitelezési szempontok

Előző fejezetben bemutattuk hogy szivárgás esetén a hűtőközeg jelen létesítményben nem jelent veszélyt a bent tartózkodókra. Viszont jelentős környezeti kárt következhet be, az üzemeltető részére emellett egy szivárgás javítása magas költségekkel jár. A VRF rendszerek éppen emiatt szakszerű kivitelezést igényelnek, hogy a szivárgást elkerüljük. A kivitelezés során az alábbiak betartásával a szivárgás szinte teljesen kizárható:

- Változó hűtőközeg tömegáramú rendszerek kivitelezését 6 kg töltetmennyiségig 2. fokozatú F-gáz szakvizsgával, 6 kg töltetmennyiség felett 1. fokozatú F-gáz szakvizsgával rendelkező hűtőgép szerelő szakember végezhet. A kivitelezés során a fenti végzettséggel rendelkező legalább 1 fő szakembernek végig a szerelési helyszínen kell tartózkodnia, amennyiben csőszerelési tevékenység is folyik.
- Tisztasági követelmények: Változó hűtőközeg tömegáramú rendszerek kivitelezését tiszta, pormentes környezetben kell végezni. A helyszínen raktározott rézcsöveket állványon, mindkét végükön ledugózott állapotban, az idomokat, szelepeket, csapokat, Y-idomokat, Ag forrasanyagot elzárva, a szállítási csomagolásukban kell tárolni.

- Változó hűtőközeg tömegáramú rendszerek kivitelezését csak vegytiszta, hűtőközeg szerelésre alkalmas rézcsőből szabad elvégezni. A kivitelezésre alkalmas gyártástechnológia a húzott csőgyártás- ennek tükörfényes a belseje-, az ún. légbuborékos csőgyártási eljárással kialakított csövek –ezek belseje érdes- nem alkalmasak változó hűtőközeg tömegáramú rendszerek kivitelezésére! A rézcsővezetéseket beltéren minimum 13 mm, fűtetlen térben 19 mm-es zártcellás párazáró szigeteléssel kell ellátni. (Mohammed Abujaba, 2022)
- A csőszerelés során az elkészített tartószerkezetre kerülő vezetékek forrasztása tokos, idomos kötésekkel, a teljes forrasztási idő alatt szárított, minimum -50°C-os forráspontú, 99,99%-os tisztaságú N2 gáz áramoltatása mellett történhet, a forrasztóanyag ezüst (Ag) alapú forrasztó pálca.
- A csővezetékekbe bekerülő tokos kötésű, beforrasztott szerelvényeket (elzáró-, visszacsapó- schrader szelepes szerelvények, gömbcsapok, stb.) belső szerkezetét a forrasztás alatt külső hűtéssel (vizes vászon körbetekeréssel) védeni kell.
- A rézcsővezetékeknél 10 m egyenes szakaszonként egy min. 30x30x30 cm-es csőlíra beiktatása szükséges a hőtágulás felvételére.

Az MSZ:EN 378:2-ben (Magyar Szabványügyi Testület, 2018) foglaltaknak megfelelően:

- Az elkészült csőhálózatot a teljes hőszigetelés előtt nyomáspróbázni kell. A nyomáspróba szárított, minimum -50°C-os forráspontú, 99,99%-os tisztaságú N2 gáz felhasználásával történik. A nyomáspróba 40 bar abszolút nyomáson történik, a nyomáspróba ideje minimum 24 óra. A nyomáspróba kezdetén fel kell jegyezni a kezdőnyomás értékét, a pillanatnyi környezeti hőmérsékletet és le kell fényképezni a nyomást mutató manométert. 24 óra elteltével az előbbi teendőket meg kell ismételni. A megfelelő nyomástartás esetén a nyomáspróba jegyzőkönyv kiállítható.
- Az elkészült, szigetelt csőhálózatot és a telepített berendezéseket az üzembe helyezés előtt vákuumolni kell vákuumszivattyú alkalmazásával. A vákuumolást 0,05 bar<sub>a</sub> nyomásig kell folytatni mindaddig, amíg a vákuum értéke stabilan be nem áll (a rendszeren belüli nedvesség eltávozott). A stabil vákuum elérését követően a rendszert „vákuumon” kell hagyni 24 órán keresztül. Csak sikeres próba után tölthető fel az addicionális hűtőközeg a rendszerbe, valamint nyitható össze a kültéri egységben lévő gyári töltettel.

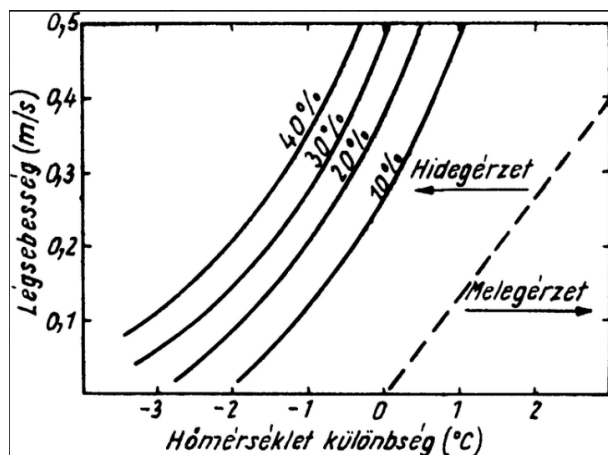
### 13. Frisslevegő ellátás

A frisslevegő biztosításához a szakaszos működés miatt több rendszert terveztem, maximum 1000 m<sup>3</sup>/h légszállítású, álmennyezetbe beépíthető, hővisszanyerős szellőztető berendezésekből felépítve. Adott gyártónál a hővisszanyerős szellőztetőnél 2 kivitel létezik:

- ERV: álmennyezeti kivitelű hővisszanyerős szellőztető berendezések 1000 m<sup>3</sup>/h névleges légszállításig, ellen-keresztáramú entalpia-hőcserélővel, ami a nedvesség visszanyerését is lehetővé teszi, 75% hővisszanyerési hatásfokkal.
- ERV+: Az ERV rendszer direkt elpárologtatós hűtő-fűtő kaloriferrel kiegészített változata. A beltéri egységek VRF rendszerbe illeszthetők.

Hűtési üzemmódban a két megoldás energiafelhasználása közötti különbség minimális, mivel vagy a hővisszanyerős szellőztető egységet csatlakoztatjuk a VRF rendszerre és itt hűtjük vissza a levegőt a kellő mértékben, vagy pedig hűtés nélküli szellőztető alkalmazásánál a kazettás beltéri egység teljesítményét növeljük meg úgy, hogy a filtráció következőben létrejövő hőterhelést is fedezni tudjuk. Fűtési üzemben viszont lehetőség van az előzőekben számítottak szerint 2°C külső hőmérséklet alatt komfortelméleti megfontolások miatt szükséges a levegő temperálása, legalább 21°C-ra, amit lehetőségünk van a légcsatornahálózatba épített elektromos fűtőpatronnal is megtenni. A 21°C hőmérséklet a 22°C-os méretezési hőmérséklethez képest 2°C-os eltérést jelent.

Mivel a frisslevegő bevezetése felülről történik, ezért az 1°C eltérés így is közel a termék használók között 20%-nál fog hidegérzetet okozni az alábbi diagram szerint 0,2 m/s-os légsebességnél:



27. ábra: Huzatérésre elégedetlenek aránya a légsebesség és a léghőmérséklet-különbség függvényében (nyaknál vizsgált)  
[ (Bánhidi László, 2000)]

Ez az MSZ CR 1752:2000 szabvány szerint „B” kategóriának még megfelelő lehet:

15. táblázat: Komfortkategóriák és követelményeik MSZ CR 1752 szerint (Magyar Szabványügyi Testület., 2000)

Kategória	Az egész test hőállapota		Helyi diszkomfort			
	Az elégedetlenek százalékos értéke	Várható hőérzeti érték	Az elégedetlenek százalékos értéke huzat esetében	Függőleges hőmérséklet különbség esetén	Meleg/hideg padló esetén	Sugárzási aszimmetria következtében
	PPD %	PMV	DR %	%	%	%
<b>A</b>	<6	-0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
<b>B</b>	<10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
<b>C</b>	<15	-0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10

Az A kategória vizsgálata szerint edzőtermekben és uszodákban  $-0,3 < PMV < 0,3$ -nál jobb PMV értékeket nem tudtak elérni, (Chongyun Huang, 2021) így az A kategóriára történő méretezés nem megvalósítható, mivel itt  $-0,2 < PMV < 0,2$  értéket kér a szabvány. Emiatt téli befűjt frisslevegő  $1^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabban történő befűvése a teremhőmérsékletnél, és az emiatt legrosszabb esetben 20%-os elégedetlenség nem jelentene besorolásvesztést, így viszont minimalizálhatjuk az elektromos fűtéssel bevitt energiát.

A [ (7/2006. (V. 24.) TNM rendelet, 2023)] 3. melléklete szerint 1486 órában csökken a külső átlaghőmérséklet  $2^{\circ}\text{C}$  alá évente, viszont ez nem teljesen esik egybe az edzőterem nyitvatartási idejével, és csúcsteljesítményével. Továbbá abban a hőmérséklettartományban, ahol az elektromos fűtőpatronok működése szükséges lenne, a VRF kültéri egységek COP értéke is lecsökken. További hátránya az ERV+ alkalmazásnak, hogy a VRF rendszerre csatlakoztatott ERV+ beltéri egységek hatással vannak a VRF rendszer szükséges csőátmérőire, ezáltal az esetleges kivitelezés során a fűtés-hűtés és a szellőzés korszerűsítést egyidejűleg kellene végrehajtani, viszont amennyiben szétválasztjuk a két rendszert ez két ütemben is végezhető.

A fentieket megfontolva az ERV hővisszanyerős szellőztetőkből álló rendszer került kiválasztásra, minden berendezésbe kiegészítő 1,5 kW teljesítményű elektromos fűtőpatronnal, ami képes elvégezni a szükséges temperálást.

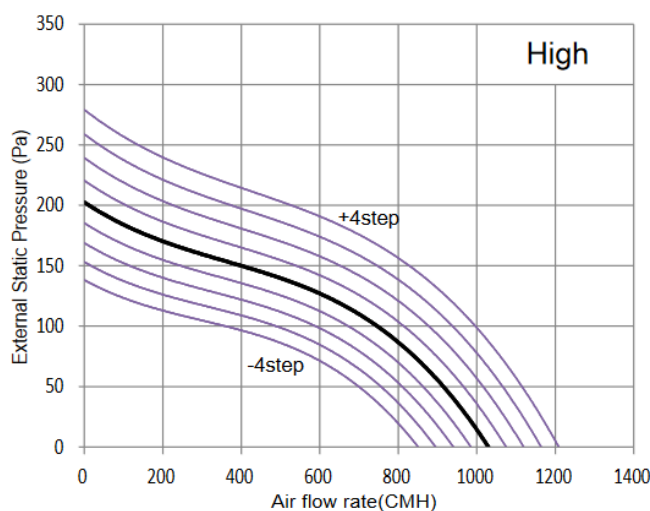
A fentieket figyelembe véve a következő berendezéseket választottam az egyes helyiségek frisslevegő igényének ellátására:



16. táblázat: Választott berendezések a frisslevegő igény ellátására

Helyiség	Választott berendezés	FORDULAT	Légszállítás @150 Pa [m <sup>3</sup> /h]
1_CROSSFIT	AN100JSKLN	HIGH	1000
1_SPINNING	AN100JSKLN	TURBO	1300
2_CARDIO	3xAN100JSKLN	HIGH	3000
2_GYM	2xAN100JSKLN	HIGH	2000
2_ÖLTÖZŐ	2xAN100JSKLN	HIGH	2000
2_STUDIO	2xAN080JSKLN	HIGH	1560
<b>TOTÁL</b>			<b>10860</b>

A választott berendezések ventilátor jelleggörbéje a 2 fordulaton belül is finomszabályozható a 28. ábra szerint:



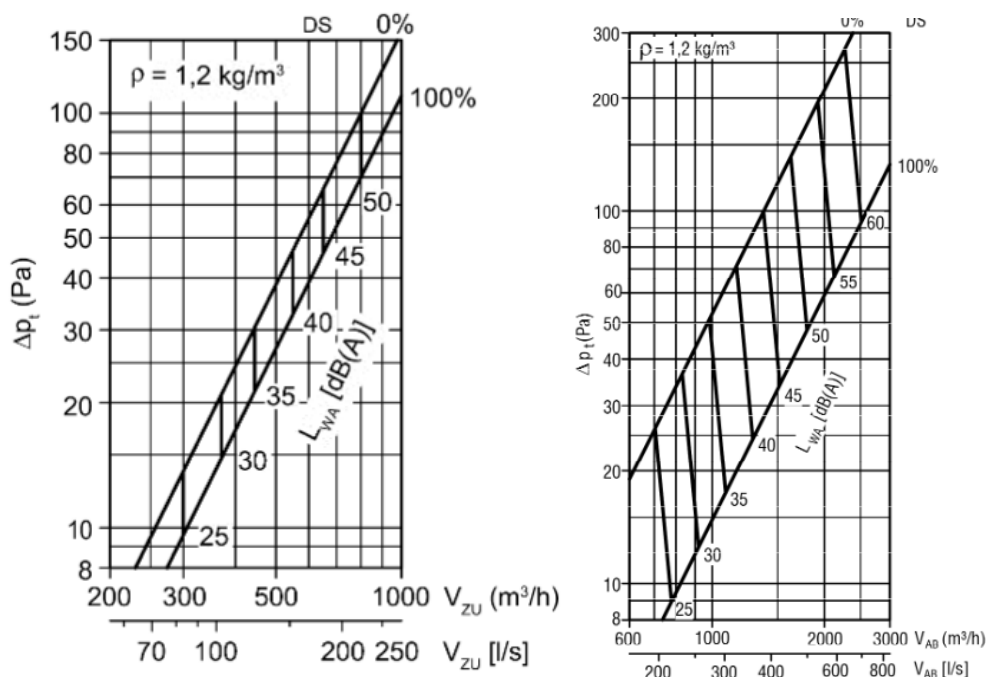
28. ábra: AN100JSKLN ventilátor jelleggörbéje, magas fokozat [ (Samsung, 2023.)]

Minden berendezést 150 Pa külső ellenállásra választottam ki, erre figyelembe kell lenni a légszatónahálózat tervezése során. A teljes légszatónahálózat a dolgozat keretében nem került megtervezésre, viszont a frisslevegő bevezetésére és elszívására alkalmazandó anemosztátok kiválasztásra kerültek.

Minden berendezéshez 2 db SCHAKO DQJ-SRZ-500 mennyezeti örvénybefúvót választottam, ami 500 m<sup>3</sup>/h bevezetett levegőnél 28 Pa ellenállással és 37 db(A) hangteljesítményszinttel rendelkezik a méretezési állapotban a 29. ábra szerint. A nyomásesés kellően alacsony a 150 Pa teljes felhasználható statikus nyomáshoz képest, a zajszint irodai alkalmazáshoz magas, edzőteremhez azonban megfelelő.

Az örvénybefűvő képes a nyári méretezési állapotban a teremhőmérsékletnél több mint 2°C-kal melegebb nyári levegő tartózkodási zónába juttatására a 4 méteres belmagasság mellett is. Téli méretezési állapotban a befűjt levegő 1°C-al hidegebb a méretezési teremhőmérsékletnél, ez a Coanda-effektust kihasználva egyenletesen szétteríthető a teremben.

Elszívásra minden berendezés 1 db SCHAKO LAQ 600 típusú légrácsot választottam ami 1000 m<sup>3</sup>/h elszívott levegőnél 15 Pa ellenállással és 33 db(A) hangteljesítményszinttel rendelkezik az 29. ábra szerint.



29. ábra: Schako DQJ SRZ 500 anemosztát (bal) és LAQ 600 rács (jobb) méretezési nomogramjai [ (INTERNET, Mennyezeti örvény befűvő DQJ-Q-SR, 2023) (INTERNET, LAQ mennyezeti elszívó, 2023)]

## 14. Tervezett rendszerrel elérhető energiamegtakarítás

### 14.1. Hűtés

A számítást az MSZ EN 14825 (Magyar Szabványügyi Testület, 2019) szabvány alapján készítettem.

A gyártó által megadott SEER értékekből indultam ki, ami megmutatja teljes hűtési szezon alatt a leadott hűtési energia és a felvett villamos energia arányát.

Az MSZ EN 14825 szabványban meg vannak határozva azok az időjárásadatok, és az ezekhez tartozó részterhelések ami alapján a gyártók ezt az SEER-t számolják.

Ebből visszaféjtve jutottam az alábbi becsült villamos energiafogyasztásokhoz.

Ezek egy átlagos irodaház hűtési villamos energiafogyasztásának becslésére alkalmasak, ahol a fitneszteremben tervezettel megegyező teljesítményű gépek vannak beépítve.

A magyarországi klímaviszonyok az average climatehez hasonlóak, de elvégeztem a becslést a warmer climate zónára is, mivel a vizsgált létesítményben a hűtési szezon kitolódik.

17. táblázat: A tervezett VRF rendszer várható éves hűtési energiafelhasználása

Berendezés	SEER	db	P <sub>design,c</sub> [kW]	Egyenóra - Average [h]	Egyenóra- Warmer [h]	Qc [kWh] - Average	Ec [kWh] - Average	Qc [kWh] - Warmer	Ec [kWh] - Warmer
AM260AXVAGH/EU	5,29	1	72,8	600	900	43680	8257	65520	12386
AM260AXVGGR/EU	5,45	1	72,8	600	900	43680	8015	65520	12022
AM260AXVGGR/EU	5,45	1	72,8	600	900	43680	8015	65520	12022
Éves hűtési villamosenergia fogyasztás, average climate, Ec [kWh]:									<b>24286</b>
Éves hűtési villamosenergia fogyasztás, warmer climate, Ec [kWh]:									<b>36430</b>

Egy másik megközelítés a várható energiafogyasztás becslésére, ha az 1 db működő LENNOX 230 WA 230 DK LN gép, 3,36-os SEER értékéből indulunk ki.

A nyári és téli hónapok villamos energiafogyasztások átlagának különbségéből azt számoltam, hogy az éves hűtési villamosenergia felhasználás 76190 kWh volt 2019-ben. Ha ugyanezt a hűtési energiát már a jobb SEER értékű Samsung gépekkel termelem meg, akkor  $76190 * 3,36/5,3 = 48\,301$  kWh/év hűtési villamos energiafogyasztás jön ki.

Ez a becslés azt feltételezi, hogy a LENNOX gép jól működik, lépteti a kompresszorokat, lemodulál nem pedig a jelenlegi állapotában on-offosan üzemel.

Figyelmen kívül hagyja továbbá a vízdoldali veszteségeket, valamint a szakaszos üzemből adódó veszteségeket is.

#### 14.2. Fűtés, HMV

A hűtési energiabecslésnél használt módszerhez analóg módon, a fűtési és a HMV megtermelésére fordított villamosenergia éves mértéke a 18. táblázat szerint becsülhető.

18. táblázat: A tervezett VRF rendszer várható éves fűtési energiafelhasználása, hővisszanyerés nélkül

Hővisszanyerés nélkül						
	Gázfogyasztás [m3]	Fűtőérték [kWh/m3]	Hatásfok [-]	Szükséges hőenergia [kWh/év]	SCOP/SEER [-]	Elfogyasztott villamos energia [kWh/év]
Fűtés	9600	9,5	0,95	86640	4	21660
HMV	26400	9,5	0,95	238260	2,5	95304

A háromcsöves rendszer nyújtotta hővisszanyerési lehetőségeket figyelembe véve a következőt kapjuk:

19. táblázat: A tervezett VRF rendszer várható éves fűtési energiafelhasználása, hővisszanyeréssel

Hővisszanyerés: 85% hatásfokkal, a HMV igény fele hűtési időszakban jelentkezik						
	Gázfogyasztás [m3]	Fűtőérték [kWh/m3]	Hatásfok [-]	Szükséges hőenergia [kWh/év]	SCOP/SEER [-]	Elfogyasztott villamos energia [kWh/év]
Fűtés	9600	9,5	0,95	86640	4	21660
HMV	26400	9,5	0,95	140153	2,5	56061

A 3 csöves rendszer hővisszanyerését a következő paraméterek mellett veszem figyelembe (Bo Rang Parka, 2018):

-A hővisszanyerés hatásfoka 85%

-Az éves HMV igénynek csak a fele jelentkezik a hűtési szezonban, amikor ki tudjuk használni a hővisszanyerést.

-A fennmaradó HMV-t hőszivattyúsan termeljük 2,5-ös SCOP-vel.

#### 14.3. Eltérő energiahatékonyságú kültéri egységek vizsgálata

A választott gyártónak kétszöves kivitelben 3 eltérő energiahatékonyságú kültéri egysége elérhető, ami képes a földszinti rendszert ellátni. Az alábbiakban meghatározom az egyes változatok várható hűtési és fűtési energiafogyasztását, a fentebb részletezett módszer szerint. A három választható berendezés:

AM260AXVDGH1EU: ESSENTIAL széria, alacsonyabb energiahatékonysággal. Ebben a teljesítményben két kisebb teljesítményű, 10 és 16 lóerős (1 hűtéstechnikai lóerő = 2,8 kW) kültéri egységből áll össze.

AM260AXVAGH/EU: STANDARD széria, egy 26 lóerős kültéri egység, normál energiahatékonyság.

AM260AXVGGH/EU: PREMIUM széria, egy 26 lóerős kültéri egység, emelt energiahatékonyság.

20. táblázat: Különböző szériájú kültéri egységek várható villamos energiafogyasztása (csak hűtés-fűtés, HMV nélkül)

Típus	Felhasználás	Szükséges hőenergia [kWh/év]	SCOP/S EER [-]	Elfogyasztott villamos energia [kWh/év]	Összes elfogyasztott villamos energia [kWh/év]
AM260AXVDGH1EU	Fűtés	86640	4,09	21183	<b>50697</b>
	Hűtés	196560	6,66	29514	
AM260AXVAGH/EU	Fűtés	86640	3,7	23416	<b>61957</b>
	Hűtés	196560	5,1	38541	
AM260AXVGGH/EU	Fűtés	86640	3,9	22215	<b>59372</b>
	Hűtés	196560	5,29	37157	

Az 20. táblázat eredménye szerint jelen alkalmazásnál a két kültéri egységből álló kombináció bír a legjobb energiahatékonysággal, akár 18%-kal kevesebb energiát használ fel éves szinten a standard energiahatékonyságú megoldáshoz képest. Az egy kültéri egységes prémium szériás berendezés mindössze 4%-os energiamegtakarítást hoz a standard változathoz képest.

Az essential széria emelt energiahatékonyságának egyik oka, hogy két kisebb kültéri egységből áll össze, ezáltal a részterheléseket jobban lekövetni.

## 15. Összefoglalás

A diplomadolgozat során a létesítmény jelenlegi épületgépészeti rendszerét felmértem. Az irodalmi áttekintésben sorra vettem a meglévő épületgépészeti rendszer ismeretében alkalmazható energiamegtakarítási lehetőségeket. Az üzemeltetőkkel történt egyeztetés során a jelenlegi üzemeltetési szokások feltárásra kerültek, valamint az energiafogyasztási adataikat kiértékeltem. A felhasználók igényeit és a használati szokásokat megismerve a fűtési-hűtési és a komfort légtechnikai rendszer újraméretezése indokolttá vált, mivel az eredetileg tervezett rendszer és a jelenlegi felhasználás között számos eltérés van, a meglévő rendszer túlméretezett. Az energiamegtakarítást figyelembe véve több rövid távú megoldási javaslatot tettem, valamint egy hosszú távú, minden igényt kielégítő megoldást is terveztem egy háromcsöves VRF rendszer formájában, ennek a várható energiamegtakarítására egy becslést készítettem. A további energiamegtakarítási lehetőségek feltárása érdekében a következő vizsgálatok elvégzését javaslom:

- Megvalósítható és gazdaságilag indokolt-e szakirodalmi áttekintésben bemutatott szennyvíz hővisszanyerős megoldás alkalmazása?

-Hogyan építhető be több HMV előállító egység a rendszerekbe? Jelenlegi megoldás a HMV igényt bővített tárolókkal lefedi, azonban meg kell vizsgálni hogy tudunk-e a medence és jacuzzi rendszerekre rádolgozni, ezzel akár a jelenlegi gázkazánt teljesen kiváltani?

- Lehetséges-e a medencetér légtechnikai rendszerének optimalizálása?

A további vizsgálatok elvégzéséhez javaslom a rendszerenkénti villamos fogyasztásmérő és hőmennyiségmérők elhelyezését, mivel az ezek által szolgáltatott adatok alapján a megtérülési idők és az esetleges további beruházásokkal elérhető energiamegtakarítások pontosan számíthatók.

## 16. Summary

### **Examination of a gym HVAC system to optimize energy consumption**

**TAMÁS KOVÁCS**

Construction Engineering, MSc

Faculty of Mechanical Engineering

*Internal consultant:* Dr. Péter Hermanucz, associate professor, MATE

*External consultant:* Zsolt Csiszár, technical director, „KLIMA” Kft.

The aim of this thesis is to investigate the energy modernization possibilities of a gym in the centre of Budapest from the building services engineering point of view. In addition to reducing energy consumption, the operator of the facility has expressed a number of requirements for the system to be implemented. The main energy saving options that can be implemented considering the existing system of the facility will be listed in the literature review. The principle of operation and the main characteristics of these possible solutions are also presented.

In this thesis, the heating-cooling and ventilation system of the facility is redesigned drawing from a number of sources in the literature to select the correct design parameters. The sizing is followed by the design of the building services systems, a description of the operation of the proposed system, and finally an estimate of the energy consumption of the new system, so that the energy saved compared to the old system can be calculated.

After understanding the client's needs and usage patterns, a re-dimensioning of the heating/cooling and comfort ventilation system became necessary, as there are many discrepancies between the originally designed system and the current usage, and the existing system is oversized. Several short-term solutions and a long-term solution is proposed to meet all needs in the form of a three-pipe VRF system, for which I have estimated the expected energy savings. In order to explore further energy saving potential, I propose carrying out the following studies:

Following a comprehensive literature review, it is recommended to examine if implementing a waste water heat recovery solution is both feasible and economically justified.

To address the demand of the pool and jacuzzi systems, the integration of additional DHW generating units is recommended.

Finally, there is possible energy saving potential in optimizing the pool area ventilation system.

## NYILATKOZAT

Alulírott KOVÁCS TAMÁS, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, GÖDÖLLŐ Campus, létesítménymérnöki MSc szak levelező tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*

Kelt: 2023 év 04 hó 28 nap



Hallgató

## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Kovács Tamás (hallgató Neptun azonosítója: Z5UOLO) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfólió<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>\*3</sup>

Kelt: 2023. év 04. hónap 28. nap



Dr. Hermanucz Péter



## 17. Irodalomjegyzék

- 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet. (2023. április 15). az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.
- Ainsworth, B. (2021). 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.
- Alberta Carella, A. D. (2021). The heat pumps for better urban air quality. *Sustainable Cities and Society*.
- Anusha Ravichandran, N. D.-E. (2021). An assessment of the influence of local conditions on the economic and environmental sustainability of drain water heat recovery systems. *Journal of Cleaner Production* 279.
- ASHRAE. (dátum nélk.). Standards 62.1 & 62.2 . *The Standards for Ventilation and Indoor Air Quality*. ASHRAE.
- Atilla G. Deveciog̃lu, V. O. (2020). Energetic performance analysis of R466A as an alternative to R410A. *Engineering Science and Technology, an International Journal*.
- Bánhidi László, K. L. (2000). *Komfortelmélet*. Budapest: Műegyetemi kiadó.
- Blocken, B. (2021). Ventilation and air cleaning to limit aerosol particle concentrations in a gym during the COVID-19 pandemic. *Building and Environment*.
- Bo Rang Parka, E. J. (2018). Development of an energy cost prediction model for a VRF heating system. *Applied Thermal Engineering* 140, 476-486.
- Byeongmo Seoa, Y. B. (2020). Comparative analysis of cooling energy performance between water-cooled VRF and conventional AHU systems in a commercial building. *Applied Thermal Engineering*.
- Byungchae Min, S. J. (2019). Performance comparison between bypass cycle and injection cycle for sub-cooling methods in multi-split variable refrigerant flow (VRF) system in hot seasons. *International Journal of Refrigeration* 107, 202-213.
- C.A. Ramos, H. W. (2014). Exposure to indoor air pollutants during physical activity in fitness centers. *Building and Environment*, 349-360.

- CAREL. (2018.. május 17). *Microchiller 2 User Manual*. Forrás: [www.carel.com](http://www.carel.com):  
<https://www.carel.com/documents/10191/0/+030220416/1e00e83b-0f73-490b-8d81-0d63ce4e1567?version=1.1>
- Chongyun Huang, J. Q. (2021). On the gym air temperature supporting exercise and comfort. *Building and Environment*.
- Commission, European. (2015). *EU legislation to control F-gases (2015)*. Forrás: Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 Text with EEA relevance: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517&qid=1608306002561>
- Dongwei Zhang, C. F. (2023). Energy, environmental and economic assessment of wastewater heat recovery systems in hotel buildings. *Applied Thermal Engineering*.
- European Commission. (2022). *Proposition for F-gas regulation modification (2022)*. Forrás: Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0150>
- EUROSTAT. (2023). *Electricity prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. Forrás: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_PC\\_205/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_price.nrg\\_pc](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_205/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_price.nrg_pc)
- EUROSTAT. (2023). *Gas prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. Forrás: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_PC\\_203/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_price.nrg\\_pc](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_203/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_price.nrg_pc)
- G.M. Revel, M. A. (2014). Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities. *Measurement* 55, 382-393.
- Gabriel Naumann, E. S. (2022). Life Cycle Assessment of an Air-Source Heat Pump and a Condensing Has Boiler Uisng an Attributional and a Consequential Appriach. *Procedia CIRP* (old.: 351-356). 29th CIRP Life Cycle Engineering Conference: CIRP.

- Hanlong Wana, T. C. (2020). A review of recent advancements of variable refrigerant flow air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*.
- Hua Liu, Y. W. (2022). Investigation of VRF system cooling operation and performance in residential buildings based on large-scale dataset. *Journal of Building Engineering* 61.
- IEAA. (2023). *IEAA - KÍNA ENERGETIKAI STATISZTIKÁI*. Forrás: <https://www.iea.org/countries/china>
- IEAA. (2023). *IEAA- MAGYARORSZÁG ENERGETIKAI STATISZTIKÁI*. Forrás: <https://www.iea.org/countries/hungary>
- INTERNET. (2023). *A klíma fejlesztések legkifinomultabb vívmányai*. Forrás: COOL KLIMA: <https://www.coolklima.hu/cikk.php?id=4>
- INTERNET. (2023). *LAQ mennyezeti elszívó*. Forrás: Schako.com: <https://schako.com/hu/schako-products/laq-mennyezeti-elszivo/>
- INTERNET. (2023. április 15). *Mennyezeti örvény befúvó DQJ-Q-SR*. Forrás: Schako.com: <https://schako.com/hu/schako-products/mennyezeti-oerven-y-befuvo-dqj-q-sr/>
- István, T. (2008. szeptember 21). Épületgépészeti Műszaki Leírás: A Holmes Place Fitnesss Center megvalósulási tervéhez.
- Jiatong Jiang, B. H.-C. (2022). A review and perspective on industry high-temperature heat pumps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- M Jetté, K. S. (1993). Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity.
- Magyar Szabványügyi Testület. (1988). MSZ-04/140-87, Épületek és épülethatároló szerkezetek hotechnikai számításai. *FŰTÉSI HŐSZÜKSÉGLETSZÁMÍTÁS*.
- Magyar Szabványügyi Testület. (2016). MSZ EN 378-3. Refrigerating systems and heat pumps. Safety and environmental requirements Installation site and personal protection.
- Magyar Szabványügyi Testület. (2018). MSZ EN 378-2. *Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation*.

- Magyar Szabványügyi Testület. (2019). MSZ EN 14825. *Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance.*
- Magyar Szabványügyi Testület. (2021). MSZ EN 378-1. *Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria.*
- Magyar Szabványügyi Testület,. (2000). MSZ CR 1752: Zárt terek komfortkövetelményei - méretezési alapok.
- Matteo Dongellini, C. N. (2021). Influence of sizing strategy and control rules on the energy saving potential of heat pump hybrid systems in a residential building. *Energy Conversion and Management.*
- Mingyang Qian, D. Y. (2021). Operation and performance of VRF systems: Mining a large-scale dataset. *Energy & Buildings* 230.
- Mohammed Abujaba, b. A. (2022). Optimal insulation's thickness of pipes in Variable Refrigerant Flow (VRF) system—An-Najah Child Institute as a case study. *Energy Reports* 8 (old.: 321-330). Chafic-Touma Salamé, France: TMREES22, EURACA2022.
- Muriel Iten, S. L. (2016). A review on the air-PCM-TES application for free cooling and heating in the buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175-186.
- P Henderson, N. H. (2001). Drainwater heat recovery system-An energy conservation project. *Northern Ireland.*
- Roberto Stasi, F. R. (2022). The efficiency of hybrid ventilation on cooling energy savings in NZEBs. *Journal of Building Engineering.*
- Rongpeng Zhang, K. S. (2018). A novel Variable Refrigerant Flow (VRF) heat recovery system model: Development and Validation. *Energy & Buildings*, 399-412.
- Samsung. (2023.. április 15.). *ERV TECHNICAL DATA BOOK Ver 1.6.* Forrás: Samsung Partnerhub: <https://partnerhub.samsung.com/s/home>

- Tarek, D. M. (2023). *F-gáz tananyag: Mit értünk VRF/VRV rendszer alatt?* Forrás: NKVH: <https://nemzetiklimavedelmihatosag.kormany.hu/v2/tananyag/tankonyv/771-mit-ertunk-vrfvrv-rendszer-alatt>
- Yangbing K, Y. J. (2003). Modelling and experimental study on innovative passive cooling system -NVP system. *Energy Build* 35, 417-25.
- Yue Ming Li, J. Y. (2010). Energy simulation and analysis of the heat recovery variable refrigerant flow system in winter. *Energy and Buildings*.
- Zoltán, K. (2019.. november 26.). *Hőszivattyús fűtés*. Forrás: e-gépész.hu: <https://www.e-gepesz.hu/cikkek/17765-hoszivattyus-futes>
- Zoltán, V. (2023). *F-gáz tananyag: Hűtőközegek, olajok és közvetítőközegek ismertetése*.  
Forrás: NKVH:  
<https://nemzetiklimavedelmihatosag.kormany.hu/v2/tananyag/tankonyv/2-hutokozegek-olajok-es-kozvetitokozegek-ismertetese-szerk-vasaros-zoltan>

## **18. Mellékletek listája**

Az elkészült tervek külön mellékletként kerülnek feltöltésre, az alábbiak szerint:

- **GFH-01:** Földszint VRF hűtés-fűtés alaprajz
- **GFH-02:** Pinceszint VRF hűtés-fűtés alaprajz
- **GFH-03:** Garázs szint VRF hűtés-fűtés alaprajz
- **GFH-04:** VRF rendszer kapcsolási rajzok

## NYILATKOZAT

### a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: **Kovács Tamás**  
A Hallgató Neptun kódja: **Z5UOLO**  
A dolgozat címe: **Edzőterem épületgépészeti rendszereinek vizsgálata  
üzemeltetési és energetikai szempontból**  
A megjelenés éve: **2023**  
A konzulens tanszék neve: **Épületgépészeti és Energetikai Tanszék**

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

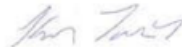
Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023. év május hó 03. nap



**Kovács Tamás**