

SZAKDOLGOZAT

Payer Tamás Miklós
Létesítményfenntartó szakmérnök

Gödöllő
2023

**MŰSZAKI INTÉZET LÉTESÍTMÉNYFENNTARTÓ SZAKIRÁNYÚ
TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK**

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Payer Tamás (LM15LY)

részére

A szakdolgozat címe:

Gyártócsarnok HVAC rendszerének korszerűsítése

Feladatkiírás:

Mérje fel a gyártócsarnok HVAC rendszerének állapotát. Adjon olyan fejlesztési javaslatokat, melyekkel csökkenthető az épület energiafogyasztása, üzembiztonsága javítható. A megvalósult fejlesztésekkel elért eredményt pedig prezentálja.

Közreműködő tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: Juhász Richárd, Üzemeltetési vezető, Knorr-Bremse VJRH Kft.

Belső konzulens: Dr. Szabó Márta egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2023. 05. 09.

Gödöllő, 2023. május 09.

Jóváhagvom

(tanszékvezető)

(szakfelelős)

Átvettem

(hallgató)

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

Gödöllő, 2023. május 09.

(külső konzulens)



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Létesítményfenntartó Szakmérnök Szakirány

Gyártócsarnok HVAC rendszerének korszerűsítése

Belső konzulens:	Dr. Szabó Márta Egyetemi docens
Külső konzulens:	Juhász Richárd Üzemeltetési vezető
Készítette:	Payer Tamás Miklós LM15LY levelező tagozat
Intézet/Tanszék:	Műszaki Intézet

Gödöllő
2023

NYILATKOZAT

Alulírott Payer Tamás Miklós, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Létesítményfenntartó szakmérnök 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 Szakdolgozatom 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 05. hó 09. nap



Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Szakdolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2023. év 05. hó 09. nap



Belső konzulens

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	6
1.1. Helyszín bemutatása.....	6
2. Alapfogalmak.....	8
2.1. Komfort az épületeken belül	8
2.2. HVAC rendszer	12
2.3. Hibrid VRF rendszerek	13
3. Kiindulási állapot és a projekt bemutatása.....	15
3.1. Kiindulási állapot	15
3.1.1. Légtechnikai rendszer.....	15
3.1.2. Hűtési és fűtési rendszer	17
3.1.3. Hőterhelés mérés	21
3.1.4. Kiindulási állapot összegzése	23
3.2. Projekt ismertetése	24
3.2.1. Projekt költségek	25
3.2.2. Projekt szervezet.....	26
3.2.3. Jogi háttér	27
4. Megvalósulási (korszerűsített) állapot	29
4.1. Légtechnikai fejlesztés	29
4.2. Hűtési és fűtési betáplálás fejlesztés	34
4.3. Kültéri split klíma egységek kihelyezése	37
4.4. Tetőfelület bevonatolás	37
5. Műszaki fejlesztések eredményei	41
5.1. Tetőszigetelés bevonatolásával elért eredmény	41
5.2. Befűjt hőmérséklet alakulása hűtési üzemben	43
5.3. Üzembiztosság javulás	44
5.4. Energiafelhasználásra gyakorolt hatás	45
5.5. Környezetre gyakorolt hatás.....	46
6. Összegzés.....	47
7. Irodalomjegyzék	48

1. Bevezetés

Szakdolgozatom témája egy 26.000 m² nagyságú budapesti üzemcsarnok HVAC rendszerét érintő műszaki problémák megoldása. A kiindulási állapotról felmérést készíték, részletezve a rendszer hibáit és a korszerűsítés okát. Javaslatokat teszek a problémás területek fejlesztésre és bemutatom ezek megvalósulását. Továbbá kitérek a korszerűsítési projekt költségvetésére és szervezetére. Végül szemléltetem a műszaki fejlesztések eredményeit számokban, ábrákon és képeken keresztül.

1.1. Helyszín bemutatása

Az üzemcsarnok tulajdonosa egy német multinacionális vállalat budapesti leányvállalata, mely vasúti fűkrendszerek gyártásával és szervizével foglalkozik. Az iparágban piacvezetőnek számító német konszern legnagyobb telephelye a magyarországi gyár így különösen nagy figyelmet fordítanak rá.

A létesítményben három típusú munkafolyamat zajlik, alkatrészek megmunkálása különböző forgácsolási nagy hőfejlesztő berendezésekkel, szerelősorokon való munkavégzés nagy humán erőforrás létszámmal, illetve a szintén sok emberi munkaerőt igénylő szerviz állomások. A telephely folyamatos bővülésnek van kitéve, mind gépek tekintetében, mind a foglalkoztatottak számában. Legtöbb területen viszont a gépészeti rendszerek nem tudták lekövetni ezt a folyamatos fejlődést.

A gyártócsarnok 2010-ben történt építéskor a legtöbb területen igencsak korszerű volt épületgépészeti szempontból. Azonban az idő előrehaladtával és a technológia fejlődésével több új típusú korszerűbb működést kínáló berendezés jelent meg a piacon.

Az amortizálódott géppark karbantartása komoly kihívást jelentett az üzemeltető csapatnak műszaki-, gazdasági- és környezetvédelmi szempontból is, mivel a berendezések relatív fiatal kora ellenére nagyon magas teljesítmény tartományban működtek napi 24 órában. Ugyanis a gyártás 3 műszakos munkarendben zajlik. Karbantartásuk is hosszú évekig sajnos hanyag, nem megfelelő módon történt. Ennek köszönhetően a gépek amortizációja az előzetes jóslatokhoz képest jóval nagyobb mértékű volt.

Az üzemcsarnok felelős vezetői alapos átgondolás és előzetes kalkuláció után előkészítették a döntést a konzern német vezetői számára, amely szerint a HVAC rendszer elavult, a berendezések leamortizálódtak, elérték a gazdaságosan üzemelés határát. A műszaki karbantartás és az üzemeltetési folyamatok nem hatékonyak és nem transzparenssek. A karbantartási költségek rendkívül magasak, az alkatrészek utánpótlása pedig már nem minden esetben megoldott. Az épületgépészeti rendszerek meghibásodása végetti termelés leállás pedig óriási bevétel kieséssel jár a vállalatnak.

A prezentált anyag pozitív elbírálásra került, így a leányvállalat megkapta a szükséges anyagi forrásokat a több mint 11 éve működő légkezelő rendszerek, kazánok, folyadékhűtők és a gépészeti főberendezések korszerűsítésére.

2. Alapfogalmak

2.1. Komfort az épületeken belül

Az épületekben az egyik legfontosabb szempont általában a benne tartózkodó emberek kényelmének biztosítása, mely magában foglalja a megfelelő hőmérsékletet, a megfelelő szellőzést és az optimális világítást.

Az emberek közérzetével zárt terekben a komfortelmélet foglalkozik.

A komfort megteremtése érdekében az elmúlt évtizedekben kifejlesztették az úgynevezett komfortelméletet. Ennek az a lényege, hogy az épületek tervezése és üzemeltetése során nemcsak azok fizikai jellemzőit kell figyelembe venni, hanem a használóinak a szükségleteit és az elvárásait is. Az elmélet célja az, hogy tervezők és üzemeltetők számára irányelveket nyújtson az épületek kényelmi szintjének optimalizálásához.

Zárt térben tartózkodó ember esetében alkalmaznak egy szubjektív definíciót, ez a komfortérzet. Befolyásoló tényezői:

- hőmérséklet;
- nedvesség;
- légmozgás;
- zaj;
- megvilágítás.

A létesítmények kialakítása és az épületgépészeti rendszerek tervezése során figyelembe kell venni a helyszínt, az elhelyezkedést, a funkciót és a használók elvárásait. Célszerű az épület különböző zónáit külön kezelni, hogy az egyes területek hőmérséklete és páratartalma megfelelő legyen az ott végzett tevékenységhez.

A kényelem javítása érdekében az épület belsejében elhelyezett bútorok, berendezések és felszerelések kényelmesek, ergonomikusak és praktikusak kell legyenek. A használók különböző korosztályainak igényeit is figyelembe kell venni és legtöbb esetben az épületnek meg kell felelnie az akadálymentesítési követelményeknek is.

Az épületek kényelmének optimalizálása nem csak az épület használói számára jelent előnyt, hanem hosszú távon az épület fenntarthatóságát is javítja. Az épületgépészeti rendszerek hatékonyabb működtetése és a használók elégedettsége csökkenti az energiafogyasztást és növeli az épület élettartamát.

Hőérzet:

Hőérzeti tényezőknek nevezzük azt a szubjektív érzetet, mely az emberben ébred és a hő környezetével kapcsolatos. Az érzés kialakulását döntően a következő hat paraméter befolyásolja:

- a levegő hőmérséklete, annak térbeli, időbeli eloszlása, változása,
- a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete,
- a levegő relatív nedvességtartalma, illetve a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása,
- a levegő sebessége,
- az emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályozása,
- a ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása.

A munkakörnyezet hőmérsékletére a szociális és családügyi, valamint az egészségügyi miniszter 3/2002-es, a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről szóló, együttes rendelete szabályozza. Például irodai környezetben: Szellemi munka esetén 21-24 °C közötti hőmérsékletet kell a munkáltatónak biztosítania. Ülő munka esetén a padlótól fél méter, álló munka esetén 1 méter magasságban lehet ennyi a hőmérséklet.

Levegőminőség:

Fontos szerepet játszik a komfort szempontjából. A használatban lévő szellőzői rendszernek megfelelően kell működnie, hogy biztosítsa az egészséges belső levegő minőségét. Az épületek szellőzését szabályozó rendszereknek lehetőséget kell biztosítaniuk a használóknak arra, hogy az egyes helyiségekben az igényeiknek megfelelően állítsák be a levegőáramlást és hőmérsékletet. A nem megfelelő szellőztetéssel és légkezeléssel jelentkező panaszok az alábbiak lehetnek (a teljesség igénye nélkül):

- huzatérzet;
- szárazságérzet;
- fáradtságérzet;
- fejfájás;
- légbefújás okozta zajhatás;
- reumatikus panaszok.

A nem megfelelő kezelt területeken akár penészesedés is előfordulhat, melynek belélegzése hosszútávon súlyos betegségekhez vezethet.

A zárt munkahelyek szellőztetésére is kitér a jogszabály. Leírtak alapján kell betartani a légsebességet és az óránkénti légcseres számot. A kellemetlen és egészségre káros légmozgás kialakulásának megelőzésének érdekében a légsebességet ülve végzett szellemi és könnyű fizikai munkánál: 0,1 m/s alatt kell tartani. Hasonló célra használt irodákban az ajánlott LW (óránkénti légcsereszám) 4 és 8 között van.

A szükséges térfogatáramot az alábbi képlettel számolhatjuk ki:

$$V = V_r * LW/h \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Ahol V_r a helyiség térfogata m^3 -ben az LW pedig az óránkénti légcsereszám.

Vizuális komfort:

Az épületek kialakítása során figyelembe kell venni a természetes fényforrásokat, az ablakok elhelyezkedését és méretét, valamint az épület belsejében elhelyezett világítási rendszert. Az épületek belső világításának megfelelő tervezése lehetővé teszi a használók számára, hogy a különböző tevékenységekhez megfelelő fényerősséget és fénytípust válasszanak. Szintén rendelet írja elő minden helyiség típushoz és munkavégzéshez használható fényerősség mértékét, illetve típusát Kelvin skálán. Ez az úgynevezett színhőmérséklet, mely a 1000 K melegfehértől az 10000 K hidegfehérig terjed. Egy középfehérenek nevezhető érték valahol 3500 K és 4900 K között mozog.

Akusztikai komfort:

A tartózkodási zóna komfortosságát nagy mértékben rontják a különböző hangok és zajok. Természetesen ez is szabályozva van területenként. A hatás a hangnyomásszinteket dB/A értékben szabályozza meg és irodai környezetben például 50 dB/A az előírt maximális érték. A hanghullámok eredetük szerint kétfélék lehetnek:

- Belső hangforrásokból származók: emberi beszéd, gépek hűtőventilátora, elektroakusztikai berendezés stb.
- Külső zajforrásból származók: Közlekedésből származó, vagy éppen a klímaberendezések kültéri egységeiből érkező hanghullámok stb. (Hanghullámok melyek az épület falszerkezetein keresztül, át érkeznek a belső térbe.) [1]

2.2. HVAC rendszer

A HVAC rendszer, vagyis a fűtés, szellőztetés és légkondicionálás egy olyan komplex rendszer, amelynek célja az épületben lévő levegő minőségének javítása, az optimális hőmérséklet és páratartalom fenntartása az energiaköltségek szinten tartása vagy csökkentése mellett. Az HVAC rendszer az épület belső környezetének alapvető elemét képezi, így elengedhetetlen a kényelem és a hatékonyság biztosításához.

A rendszer alapvetően két részből áll: fűtési és hűtési rendszerből, valamint a szellőztető rendszerből. A melegítési és hűtési rész feladata a belső hőmérséklet szabályozása, ezzel lehetővé téve az igényelt hőmérséklet fenntartását az épületben. A szellőztető rendszer feladata pedig a friss levegő bevezetése az épületbe és az elhasznált levegő eltávolítása a helyiségekből.

Elemei: a fűtőberendezések; hűtőberendezések; légkezelő berendezések és szellőztető rendszerek.

A fűtőberendezések általában gáztüzelésű kazánok, elektromos fűtőtestek vagy manapság hőszivattyúk is lehetnek. A hűtőberendezések légkondicionálók, folyadékhűtők vagy szintén hőszivattyús rendszerek lehetnek. A légkezelő berendezések a belső levegő minőségének javításáért felelősek, általában szűrők, hővisszanyerők, párásítók, ventilátorok formájában jelennek meg. A friss levegőt légszűrőn és anemosztátokon keresztül juttatják el a kívánt helyiségbe.

A HVAC rendszer tervezése és telepítése nagyon fontos a létesítmény hatékony és megbízható működése érdekében. Az épület típusa és mérete, valamint a használati körülmények figyelembevételével kell kiválasztani a megfelelő fűtő- és hűtőberendezéseket, légkezelő berendezéseket és szellőztető rendszereket. Az épület hőszigetelési tulajdonságai, az ablakok típusai szintén fontos szempontok lehetnek.

Telepítés során fontos figyelembe venni az épület szellőzési igényeit, az ott tartózkodók igényeit, valamint a helyiségekben művelt tevékenységek igényeit. Például, egy olyan épületben, amelyben több ember dolgozik, nagyobb szükség van a friss levegőre, mint egy olyan épületben, amelyben kevesebb ember tartózkodik. Az épület funkciójának és használati módjának figyelembevétele is fontos, mert egy kórházban vagy egy laboratóriumban például különleges szellőzési igények léphetnek fel, gyakran az ilyen területeken tisztatartókat kell létrehozniuk a tervezőknek.

A rendszer tervezése és telepítése összetett folyamat, számos szakember együttműködésére van szükség. Az épület tervezői, a gépészeti tervezők, az elektromos tervezők, az építészek és a kivitelezők mind részt vesznek a folyamatban. Az épület tervezésekor fontos a HVAC rendszer beépítése, mert az elhelyezése befolyásolhatja az épület alaprajzát és szerkezetét.

Tervezés során érdemes figyelembe venni az ökológiai lábnyomot és az épület fenntarthatóságát. Az energiahatékonyság és az újrahasznosítás fontos szempontok a tervezésekor. Egyszerű példa az energiatakarékos LED-izzók használata és a napenergia felhasználása, melyek lehetővé teszik az energiafogyasztás és az épület üzemeltetési költségeinek csökkentését. Az újrahasznosított anyagok használata is egy javasolt környezetbarát megoldás.

A folyamatos korszerűsítés és modernizálás szintén fontos a hatékony működés fenntartása érdekében. Az korosodó épületgépészeti rendszerek már kevésbé hatékonyak, így működésük jóval energiapazarlóbb az újabb típusokhoz mérten. Az korszerűbb technológiák használata jó eséllyel csökkenti az energiafelhasználást és a karbantartási költségeket.

Összességében az HVAC rendszer fontos szerepet játszik az épület energiahatékonyságában, a felhasználók kényelmében és egészségében, valamint az épület fenntarthatóságában. [2]

2.3. Hibrid VRF rendszerek

Sokan úgy gondolják, hogy a hagyományos klímaberendezések lehetnek a legjobb választás egy helyiség hűtéséhez vagy fűtéséhez. Azonban a technológia fejlődésével egyre több lehetőség áll rendelkezésünkre, hogy kényelmesebbé és hatékonyabbá tegyük otthonunk vagy irodánk hőmérsékletének szabályozását. Az egyik népszerű választás manapság a hibrid VRF (Variable Refrigerant Flow) légkondicionáló rendszer.

A VRF rendszerek az elmúlt években egyre inkább elterjedtek, mivel kiváló hatékonyságot és ezzel energiamegtakarítást nyújtanak. A hibrid VRF rendszerek különösen érdekesek, mert az előnyöket kombinálják a hagyományos VRF és a hőszivattyús rendszerekkel.

Két fő elemből áll:

- egy kültéri egységből, amelyben a hűtőközeg áramlik;
- belső egységekből, amelyek akár különböző lehetnek telepítve.

Az egységek közötti hőátadás általában rézcsövek és elektromos vezetékek segítségével történik.

A hibrid VRF rendszer egyik előnye, hogy két különböző hűtőközeg használatával működik. A rendszer nyáron hűtésre használja a hagyományos klímaberendezésekhez használt R410A (vagy R32) hűtőközeget. Télen azonban a rendszer a hőszivattyú rendszerhez hasonlóan működik, és a hűtőgáz helyett a környezetből nyert hőt használja fel. Ez a hibrid megoldás biztosítja, hogy az egész év során kényelmes hőmérsékletet biztosítsunk a helyiségben, miközben csökkentjük az energiafelhasználást.

A rendszer másik előnye, hogy lehetővé teszi a hőmérséklet és a légáramlás szabályozását minden helyiségben. Ez nagyon hasznos lehet olyan helyeken, ahol eltérő hőmérsékletre van szükség, például a nappaliban és a hálósobában vagy akár egy irodában és egy termelő helyiségben. A rendszernek köszönhetően pontosan beállíthatjuk a hőmérsékletet és a légáramlást minden helyiségben, valamint nem kell aggódnunk a túlzott energiafelhasználás miatt sem, mert a rendszer automatikusan szabályozza a hűtőközeg áramlását az energiafelhasználás minimalizálása érdekében.

További előnye a rugalmasság és az alkalmazkodóképesség. A rendszer nagyon jól alkalmazkodik az épületek igényeihez, könnyen bővíthető. Amennyiben új helyiségeket építünk vagy meglévő helyiségeket átalakítunk, bővítünk akkor egyszerűen hozzáadhatunk új belső és akár külső egységeket a rendszerhez, hogy az új igényekhez alkalmazkodjon. Ezzel a rugalmassággal és alkalmazkodóképességgel a hibrid VRF rendszer egy jó választás lehet sok esetben.

A hibrid rendszerhez hasonlóan a hagyományos VRF rendszerek is jó hatékonyságot és mérsékelt energiafelhasználást nyújtanak, de a hibrid rendszer még ezen is túl tudott tenni.

Összefoglalva, a hibrid VRF rendszer nagyon előnyös lehet olyan helyiségek vagy épületek számára, ahol fontos az energiamegtakarítás és a hőmérséklet pontos szabályozása. Az ilyen rendszerek lehetővé teszik a különböző helyiségek eltérő hőmérsékletének szabályozását, és lehetővé teszik a rugalmasságot és az alkalmazkodóképességet az épület igényeihez. Lehetőséget kínál arra, hogy egyetlen rendszerben egyesítsük a hagyományos klímaberendezések és a hőszivattyúk előnyeit, ami csökkenti az energiafelhasználást és az üzemeltetési költségeket. Amennyiben hatékony és rugalmas légkondicionáló rendszert szeretnénk, akkor mindenképpen érdemes megfontolni a hibrid VRF rendszert. [3]

3. Kiindulási állapot és a projekt bemutatása

Ebben a fejezetben bemutatom a gyártócsarnok HVAC rendszerének kiindulási állapotát. Kitérek a géppark állapotára, mely gépek vannak megfelelő állapotban, mely gépek és rendszerek kívánnak beavatkozást és korszerűsítést. Továbbá kitérek az üzemeltetési költségekre beleértve a tervezett karbantartási, eseti javítási munkákat és az energiadíjakat. Végezetül ismertetem a projekt részleteit és költségeit.

3.1. Kiindulási állapot

3.1.1. Légtechnikai rendszer

Az üzemi terület frisslevegőellátásáért a tetőre helyezett, fűtésért és hűtésért is felelős VTS márkájú légkezelő berendezések felelnek, melyek a 3.1. ábrán láthatók, részletes ismertetőjük pedig a 3.2. ábrán található.

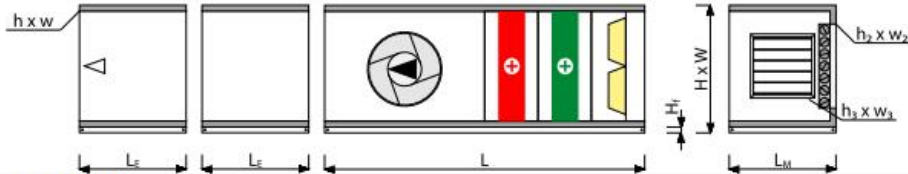
A berendezések egy befúvó és egy elszívó egységből állnak. A ventilátorok frekvenciaváltós kivitelűek. Az elszívott levegő hőjének visszanyerése közvetítőközege hővisszanyerővel történik. A légkezelő berendezések keverőelemet is tartalmaznak.

Összességében a légtechnikai berendezések kielégítő, koruknak megfelelő állapotban vannak, szakszerű javító és karbantartó munkákkal még kb. tíz évig működőképesek. Ezek alapján a légkezelő egységek nem kerültek korszerűsítésre.



3.1 ábra kiindulási állapot – VTS légkezelő egység [saját fotó]

: Gyártócsarnok
TÍPUS: Befűtés
KÉSZLET: VS-180-L-M/GH/EE
MÉRET: 180
BEFŰVÁS: 19550 m³/h
PANELVASTAGSÁG: 40 mm
KÜLSŐ NYOMÁSVESZTESÉG: 959 Pa
TÖMEG (+/- 10%): 1238 Kg
SFP: 0,62 kW/m³/s (EN 13779)
ENERGIATAKARÉKOSSÁGIE (2016)
OSZTÁLY:



Burkolat

Kézet nélküli 40mm vastag PUR szendvicspanel 'C' alakra formálva.
 Készülékház hőátadási tényezője $K = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (T2 - EN 1886-2007)
 Hőhid tényező $K_b = 0,69$ (TB2 - EN 1886-2007)
 Készülékház mechanikai szilárdsága $-2500 \text{ Pa} + 2500 \text{ Pa} < 2\text{mm}$ (D1 - EN 1886:2007)
 (MB): Casing tightness $(-400) \text{ Pa} - 0,05 \text{ l/sm}^2, (+700) \text{ Pa} - 0,13 \text{ l/sm}^2$
 (RU): Casing tightness $(-400) \text{ Pa} - 0,09 \text{ l/sm}^2 (+400) \text{ Pa} - 0,93 \text{ l/sm}^2$

Remarks

AZ OPCIONÁLIS TARTOZÉKOK AZ ALAPMODEL RÉSZÉT KÉPEZIK, A HOSSZMÉRET TARTOZÉKOK NÉLKÜL ÉRTENDŐ (ZSALU, FLEX. CSATL.)

(*) Nettó tömeg, mely tartalmazza az automatika rendszer kivételével minden opcionális tartozék tömegét is.

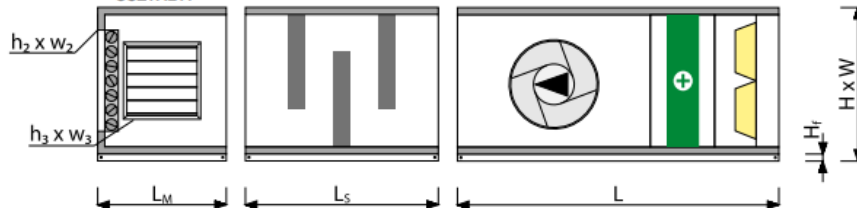
Winter outdoor reference temperature for Eurovent Energy Class calculation: $-15,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Méreték

Jelölés	W	H	Hf	L	LE	LM	Lt	h x w	h _{2n} x w _{2n}	h x w
Méret [mm] [mm]	2085	1357	80	2587	731	1097	5147	1137x1945	795x1520	913x740

A légkezelő alapteretének befoglaló méretei megtalálhatók a légkezelő gépkönyvében.

: Gyártócsarnok
TÍPUS: Elszívás
KÉSZLET: VS-180-L-G/SM
MÉRET: 180
ELSZÍVÁS: 20000 m³/h
PANELVASTAGSÁG: 40 mm
KÜLSŐ NYOMÁSVESZTESÉG: 250 Pa
TÖMEG (+/- 10%): 1108 Kg
SFP: 0,34 kW/m³/s (EN 13779)
ENERGIATAKARÉKOSSÁGIE (2016)
OSZTÁLY:



Burkolat

Kézet nélküli 40mm vastag PUR szendvicspanel 'C' alakra formálva.
 Készülékház hőátadási tényezője $K = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (T2 - EN 1886-2007)
 Hőhid tényező $K_b = 0,69$ (TB2 - EN 1886-2007)
 Készülékház mechanikai szilárdsága $-2500 \text{ Pa} + 2500 \text{ Pa} < 2\text{mm}$ (D1 - EN 1886:2007)
 (MB): Casing tightness $(-400) \text{ Pa} - 0,05 \text{ l/sm}^2, (+700) \text{ Pa} - 0,13 \text{ l/sm}^2$
 (RU): Casing tightness $(-400) \text{ Pa} - 0,09 \text{ l/sm}^2 (+400) \text{ Pa} - 0,93 \text{ l/sm}^2$

Remarks

AZ OPCIONÁLIS TARTOZÉKOK AZ ALAPMODEL RÉSZÉT KÉPEZIK, A HOSSZMÉRET TARTOZÉKOK NÉLKÜL ÉRTENDŐ (ZSALU, FLEX. CSATL.)

(*) Nettó tömeg, mely tartalmazza az automatika rendszer kivételével minden opcionális tartozék tömegét is.

Winter outdoor reference temperature for Eurovent Energy Class calculation: $-15,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Méreték

Jelölés	W	H	Hf	L	LM	LS	Lt	h x w	h _{2n} x w _{2n}
Méret [mm] [mm]	2085	1357	80	2221	1097	1097	4415	1137x1945	795x1520

A légkezelő alapteretének befoglaló méretei megtalálhatók a légkezelő gépkönyvében.

3.2 ábra VTS légkezelő egység metszeti rajz és adattábla [4]

Tapasztalt probléma:

Kevés, túl magasan elhelyezett Schako Ideál-Komfort típusú befűvő anemosztát így a beáramló szűrt, hűtött frisslevegőt nem tudja a rendszer kellőképpen eloszlatni, ezért a hőtermelő gépek mellett rendszeres a panasz magas hőmérsékletre nyári időszakban. Télen a gépek magas hőfejlődése következtében nincs hasonló probléma.

Fejlesztési javaslatok:

- Meglévő anemosztátok cseréje és légcsatorna rendszer átalakítása "zsákos" légbefűvők alkalmazásával, valamint befűvők magasságának csökkentése, így közelebb hozva a hőtermelő gépekhez és gépkezelő fizikai munkaerőhöz;
- zajhatást csökkenteni lehet akusztikus szakértő által méretezett hangcsillapítók beépítésével.

3.1.2. Hűtési és fűtési rendszer

Az üzemi terület hűtéséért, fűtéséért és frisslevegőellátásáért az imént említett tetőre elhelyezett légkezelő berendezések felelnek.

A légkezelő berendezések a fűtési energiáját a légkezelőkbe épített Blowtherm földgáztüzelésű blokkégők biztosították a 3.3. ábrán olvasható fűtési teljesítménnyel. Kiszerelt állapotban a 3.6. ábrán látható.

A hűtési energiáját a központi hűtőtelep biztosította, mely egy ~1120 kW és egy ~1320 kW hűtési teljesítményre képes Trane márkájú folyadék-hűtőből és a hozzá tartozó szerelvényekből, tartályokból állt. A berendezések a csarnok melletti udvaron voltak elhelyezve ez látható a 3.5. ábrán.

1db	BLOWTHERM IH/AR 200 hőcserélő (légkezelőhöz) Q = 211 kW Égő: BLOWTHERM GVAL 20M CE TL Gázfogyasztás: min/max 11,6 / 23,2 Nm ³ /h
11db	BLOWTHERM IH/AR 250 hőcserélő (légkezelőhöz) Q = 265 kW Égő: BLOWTHERM GVAL 30M CE TL Gázfogyasztás: min/max 15,26 / 30 Nm ³ /h (x11db)

3.3. ábra Blowtherm gázégők adatlapja [5]

SI Units

Table G-7 - General Data RTAC 230-400 Standard

Size		230	240	250	275	300	350	375	400
Cooling capacity (5) (6)	kW	769.7	857.9	850.9	947.2	1077.3	1191.6	1322.4	1451.4
Power input (7)	kW	263	293.6	293.4	330.5	370.2	418.9	458.8	498.4
Energy Efficiency Ratio (5) (6) (as Eurovent)	kW/kW	2.93	2.92	2.9	2.87	2.91	2.85	2.88	2.91
ESEER (as Eurovent)	kW/kW	3.94	4.17	3.82	3.86	3.94	4.10	4.14	4.18
IPLV (According to ARI conditions 44°F leaving water temperature, 95°F entering air temperature)	kW/kW	4.31	4.35	4.05	4.05	3.97	4.47	4.50	4.54
Compressor									
Quantity		3	3	3	3	3	4	4	4
Nominal Size (1)	tons	60-60/100	70-70/100	70-70/100	85-85/100	100-100/100	85-85/85-85	100-100/85-85	100-100/100-100
Evaporator									
Evaporator Model		EH270	EH270	EH250	EH270	EH301	EH340	EH370	EH401
Water Storage	l	223	223	198	223	239	264	280	294
Minimum Flow	l/s	20	20	17	20	22	22	24	26
Maximum Flow	l/s	71	71	60	71	77	80	87	92
Number of water passes		2	2	2	2	2	2	2	2
Condenser									
Quantity of Coils		2/2	2/2	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
Coil Length	mm	6401/6401	6401/6401	3962/2743	4572/2743	5486/2743	4572/4572	5486/4572	5486/5486
Coil Height	mm	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067
Fin series	fins/ft	192	180	192	192	192	192	192	192
Number of Rows		3	4	3	3	3	3	3	3
Condenser Fans									
Quantity (1)		7/7	7/7	8/6	10/6	12/6	10/10	12/10	12/12
Diameter	mm	762	762	762	762	762	762	762	762
Total Air Flow	m ³ /s	60.09	58.27	61.21	68.7	77.29	85.88	94.47	103.06
Nominal RPM		915	915	915	915	915	915	915	915
Tip Speed	m/s	36.48	36.48	36.48	36.48	36.48	36.48	36.48	36.49
Motor kW	kW	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
Minimum Starting/Operating Ambient (2)									
Standard Unit	°C	0	0	0	0	0	0	0	0
Low-Ambient Unit	°C	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
General Unit									
Refrigerant		HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a
Number of Independent Refrigerant Circuits		2	2	2	2	2	2	2	2
% Minimum Load (3)		13	13	13	13	13	10	10	10
Operating Weight (4)	kg	8040	8040	7892	8664	9375	10684	11330	11929
Shipping Weight (4)	kg	7660	7660	7694	8441	9136	10420	11050	11635

3.4. ábra Trane folyadékhűtők adatlapja [6]



3.5. Trane folyadékhűtők [saját fotó]



3.6. készrealt Blowtherm blokkégő [7]

Tapasztalt probléma:

A csarnokban termelés során keletkező hő miatt a téli időszak egy részében hűtési igény lépett fel. Ezt a légkezelők szabad hűtéssel biztosították. Ekkor a befűjt levegőt 14°C-ig fűtötték. A 14°C korlátozás kis fűtőteljesítmény igények estén, szabályozási lengést, és így hibát okozott. A fűtés nem kazánnal, hanem direkt gázégőkkel volt megoldva, ami finomhangolást nem bírt. Ennek következtében nagyon magas volt az égők leállási és újraindítási száma, mely jelenség a berendezések élettartalmát nagyban csökkentette és az eseti hibák számát is radikálisan növelte. Szintén probléma, hogy a csarnok építésekor is kifutó modellnek számító blokkégőkhöz rendkívül nehéz volt alkatrészeket találni így egy javítási folyamat a kelleténél jóval hosszabb ideig tartott, valamint hozzáértő szakemberből is hiány van már a piacon. Ezt a kvázi monopol helyzetet kihasználva sokszor az indokoltnál nagyobb árat fizettünk a javításokért.

A termelési terület bővítését (gépszám és hőleadás növekedés) az épületgépészeti rendszer nem követte le. Ennek következtében a rendszer nyári időszakban a csarnok teljes lehűtésére (tartani a jogszabályban foglalt maximum hőmérsékletet a dolgozók számára) nem volt képes. Folyadékhűtők maximális teljesítményen üzemeltek a melegebb napokon, ami a berendezések élettartalmát nagyban csökkentette és az eseti hibák számát is radikálisan növelte. Felmerült az a probléma is, hogy meghibásodás esetén (gépleállás) a teljes csarnok hűtés nélkül maradt, hiszen az összes légkezelő egység egy helyről kapta a hűtési betáplálást. Ez legrosszabb esetben termelés leállással járt, melynek óriási anyagi következményei voltak a vállalat számára.

Több mono vagy multi split klíma kültéri egysége csarnokon belül volt található. Ezek a berendezések az emeleten lévő irodater hűtését látták el, azonban hőleadásuk a csarnokon belül történt.

Tetőablakok nem voltak hővédelemmel ellátva, illetve a nagy méretű tetőfelület sem volt ellátva hővédelemmel.

Melegebb nyári éjszakákon a hangszigetelés (zajvédő fal) nélküli folyadékhűtő berendezések olyan zajosan működtek, hogy a környékbeli lakótelepekről érkezett lakossági feljelentés a vállalat ellen, miszerint a hatóság által megengedett dB értéket átlépi a zajhatás az éjjeli órákban. A bírságok kiszabását elkerülvén azonnali beavatkozásra volt szükség.

Fejlesztési javaslatok:

- Egy nagy hűtőközpont helyett úgynevezett sziget megoldással minden légkezelőblokknak külön biztosítani a hűtés ellátását, így megelőzve a leállás okozta termelés kiesést hiszen a csarnokban lévő hat darab légkezelő külön szigetként működik függetlenül egymástól. Egy blokk meghibásodása esetén a többi öt egység is képes legyen tartani a csarnoki hőmérsékletet a jogszabályban előírtaknak megfelelően,
- csarnoki tetőablakok hővédő fóliával való ellátása,
- gázégős fűtési hőcserélő kiváltása hőszivattyús megoldásra (javasolt összevonni a hűtéssel),
- gyártás bővülést figyelembe véve új hőterhelés számítás,
- beltéren található klíma egységek csarnokon kívülre való helyezése;
- tetőfelület bevonatolása arra alkalmas hővedelemmel.

3.1.3. Hőterhelés mérés

Az alábbi 3.7. ábrán látható mérés Winwatt programmal készült és a csarnok hőterhelését ábrázolja a fejlesztési projektek előtt. Betápláltam az épület szerkezeti adatait és a belső világítás adatait. A mérés azonban nem tartalmazza a csarnokban lévő hőtermelő berendezéseket. Ezt az adatot a vállalat gépi karbantartással foglalkozó TMK csapata készítette és dolgozatomban nem érek ki a számítás pontos menetére. A mérvadó a nyári időszak volt, hiszen ekkor fordultak elő a csarnok túlmelegedésének problémái és az ezzel járó termelés leállás.

	Külső maximum hőterhelés világítással	Belső maximum hőterhelés	Hűtési kapacitás
	1046 kW	1870 kW	2436 kW
Összesen:	2916 kW		
Hűtési hiány:	480 kW		

3.1. táblázat hűtési hiány megállapítása [saját táblázat]

A 3.1. táblázatban összegeztem a csarnok hőterheléseit párosítva a hűtési kapacitással. Ezek alapján világosan látszik, hogy a megnövekedett termelői gépparkot az épületgépészeti rendszer nem tudta lekövetni, így egy komoly mértékű hűtési hiány lépett fel, melyet a nyári melegebb napokon a rendszer már nem képes kezelni. A kapott alapján az épületgépész tervező szakemberek újra tudták kalkulálni a szükséges teljesítményeket és megtervezni az új rendszert.

CSARNOK

Alapterület: 25920.0 m²
Térfogat: 233280.0 m³
Szerkezet tömege: 10953355 kg

Mértékadó hőmérséklet télen: 20.0 °C
Korrekciós tényező: 1.00
Filtrációs mód: Légcsereszám alapján
Légcsereszám: 0.00 1/h

Mértékadó hőmérséklet nyáron: 26.0 °C

Épület neve: CSARNOK
Belmagasság: 9.0 m

Hőtároló tömeg: 12778560 kg

Külső hőmérséklet: -15.0 °C
Transzmissziós veszteség: 465924 W
Belépő levegő hőmérséklete: -15.0 °C
Filtrációs hőveszteség: 0 W
Hőveszteség összesen: 465924 W

Hőterhelés maximum 14 órákor: 1045720 W

Határoló szerkezetek:

Szerkezet	db	x	y	A	-A	U*	Q _t	Q _{ny}	t _{et}
megnevezés	-	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[W/m ² K]	[W]	[W]	[°C]
TETŐ	1	180	143	25740	1674,3	0,2,3248E2,3622E005	-15		
FAL	1	143	9	1287	-	0,421	18964	3426	-15
FAL	1	180	9	1620	-	0,421	23871	7187	-15
FAL	1	180	9	1620	-	0,421	23871	4722	-15
PADLÓ	1	503	-	25920	-	-	20246	-3471	-15
FELÜLVILÁGÍTÓ	6	2	2,5	30	-	2,5	2625	12571	-15
FELÜLVILÁGÍTÓ	5	35,7	2,5	446,25	-	2,5	391,8699E005	-15	
FELÜLVILÁGÍTÓ	2	31,6	2,5	158	-	2,5	13825	66205	-15
FELÜLVILÁGÍTÓ	10	41,6	2,5	1040	-	2,5	914,3578E005	-15	

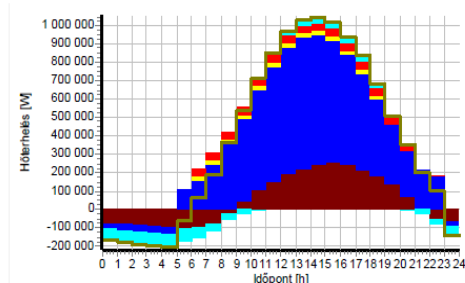
Emberi hőleadás	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
200 fő ülő foglalkozás							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						

Világítás hőleadása	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
45000 W szabadon függesztett							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

Filtráció	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Légcsereszám alapján 0,1*V*(tkülső-th)*C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Anyagmozgásból származó	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0*0*(0-0)*3,6																								

Egyéb hőterhelés	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						



Határoló szerkezetek	248084 W
Üvegezett felületek	701546 W
Emberi hőleadás	23200 W
Világítás hőleadása	42750 W
Filtráció	30140 W
Anyagmozgásból származó	0 W
Egyéb hőterhelés	0 W

3.7. ábra hőterhelés mérés [8]

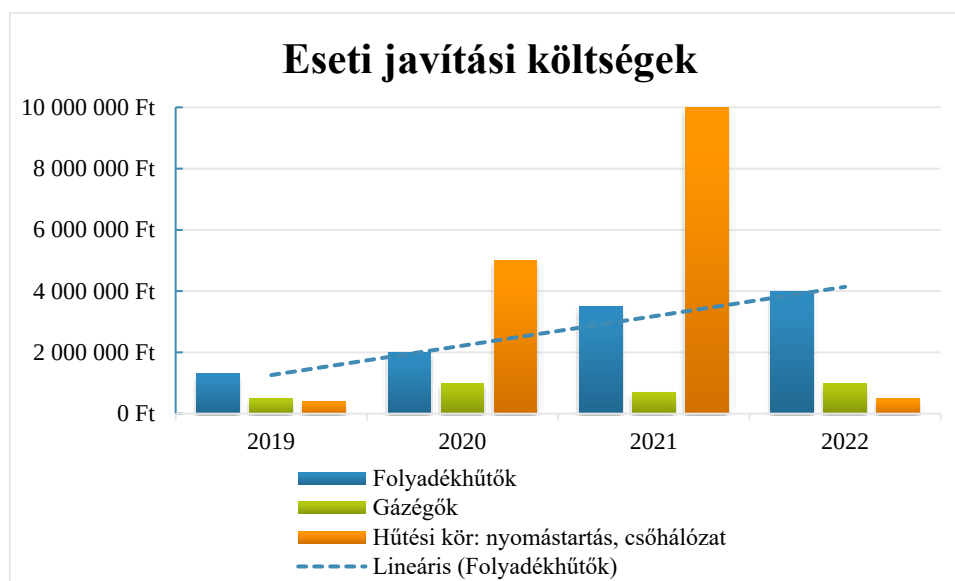
3.1.4. Kiindulási állapot összegzése

Adott egy közel 26.000 négyzetméteres gyártócsarnok, melynek a frisslevegő ellátását 12 db a csarnok tetején elhelyezett VTS gyártmányú légkezelő berendezés látta el. A hűtési betáplálásért 2 db a csarnok melletti udvar részen elhelyezett Trane típusú folyadékhűtő felelt. A fűtési betáplálásért minden légkezelőhöz külön gáz tüzelésű blokkégő tartozott. A 3.2. táblázatban ismertetem az akkori egy egységre jutó hűtési és fűtési átlagteljesítményeket.

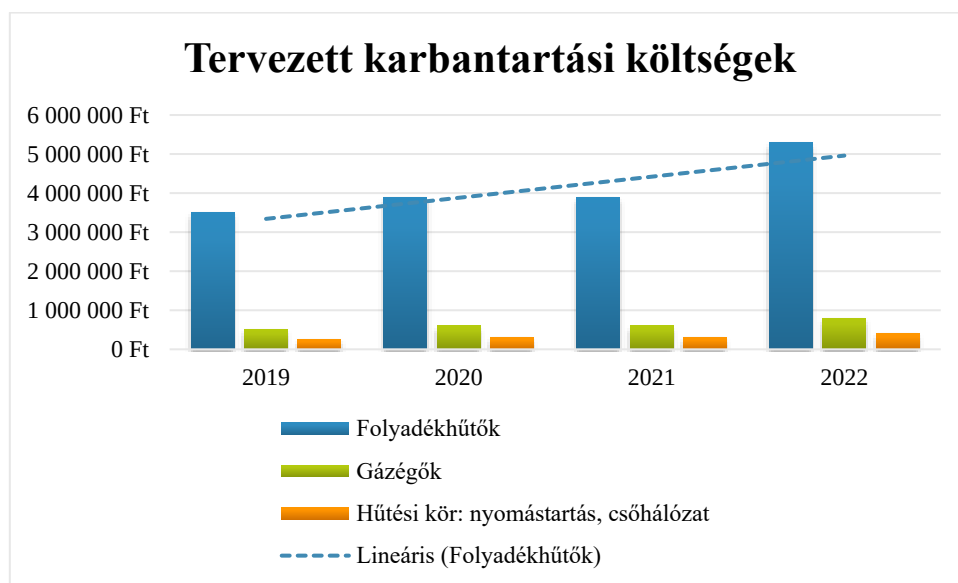
	Fűtési teljesítmény (kW)	Hűtési teljesítmény (kW)
1/12 AHU	265 vagy 211	203

3.2. táblázat teljesítmények légkezelőnként [saját táblázat]

A 3.7. számú ábrán láthatók a rendszer eseti meghibásodásainak költségei. Jól látható módon évről évre növekszik különösen a kék színnel jelölt folyadékhűtők költségei, melyhez trendvonalat is igazítottam. A kiugró 2021-es költség egy hűtőköri szivárgás végett keletkezett, mely során az igen nagy méretű rendszerből közel 10 m³ mennyiségű hűtőfolyadék propilén glikol (36%) és víz (64%) keveréke szivárgott el. A költségek az utántöltés anyag és munkadíját tartalmazza, illetve a meghibásodott nyomástartó AquaControl rendszer javítását. Ez a példa is jól mutatja, hogy milyen veszélyei vannak egy ekkora hűtési rendszernek.



3.7. ábra eseti javítási költségek [saját ábra]



3.8. ábra tervezett karbantartási költségek [saját ábra]

3.2. Projekt ismertetése

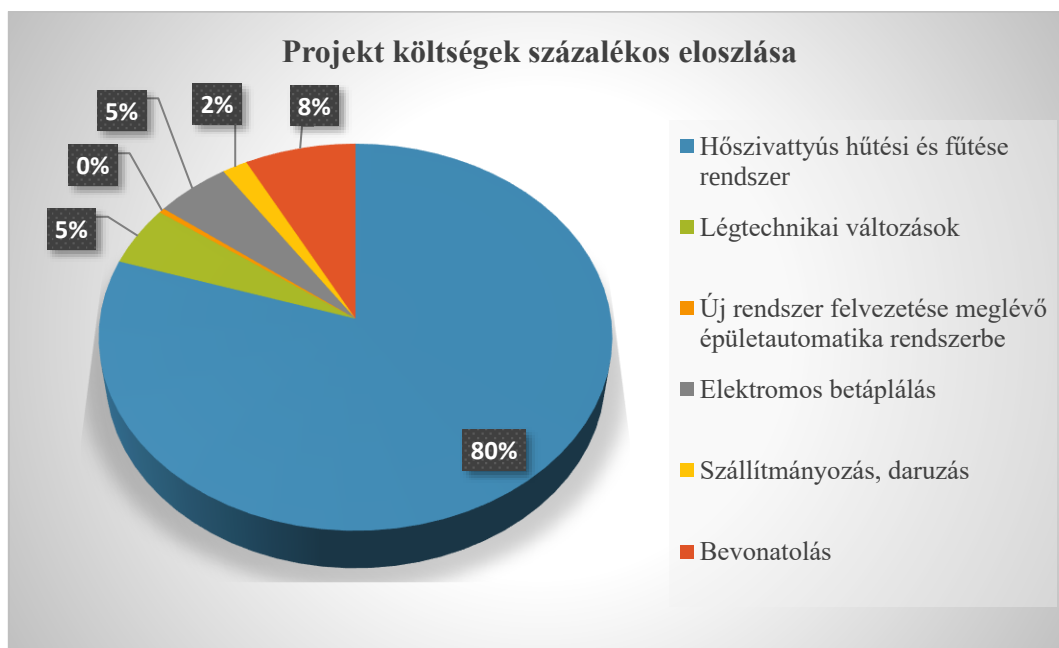
Az iménti fejezetben ismertetett szempontokat mérlegelve a vállalat ezen területeiért felelős vezetői a rendszer korszerűsítése mellett döntöttek és felszabadították a kellő anyagi forrásokat a beruházásra. Ezen fejezetben a projekt részleteivel fogok foglalkozni. Bemutatom a költségek alakulását és a projekt szereplőit és végül kitérek a hatályos és betartandó rendszerekre és szabványokra.

3.2.1. Projekt költségek

Beszerzési és üzemeltetési csapat közösen elkészítette a pályázatkírást, melyre a pályázó kivitelező cégek ajánlatot tudtak adni a vállalat részére. A beszerzési irányelvek szerint ekkora összegnél minimum három különböző cégtől szükséges ajánlatot kérni azonos műszaki tartalomra. Az elbírálás során figyelembe véve műszaki és pénzügyi szempontokat megszületett a döntés melyik kivitelezőre esik a választás. A végleges költségek a 3.3. táblázatban és 3.9. ábrán láthatók területenkénti bontásban.

Projekt költségei	
Megnevezés	Költség (nettó)
Hőszivattyús hűtési és fűtése rendszer	328 476 900 Ft
Légtechnikai változások	20 572 312 Ft
Új rendszer felvezetése meglévő épületautomatika rendszerbe	1 699 620 Ft
Elektromos betáplálás	21 287 204 Ft
Szállítmányozás, daruzás	7 199 500 Ft
Bevonatolás	31 544 827 Ft
Összesen:	410 780 363 Ft

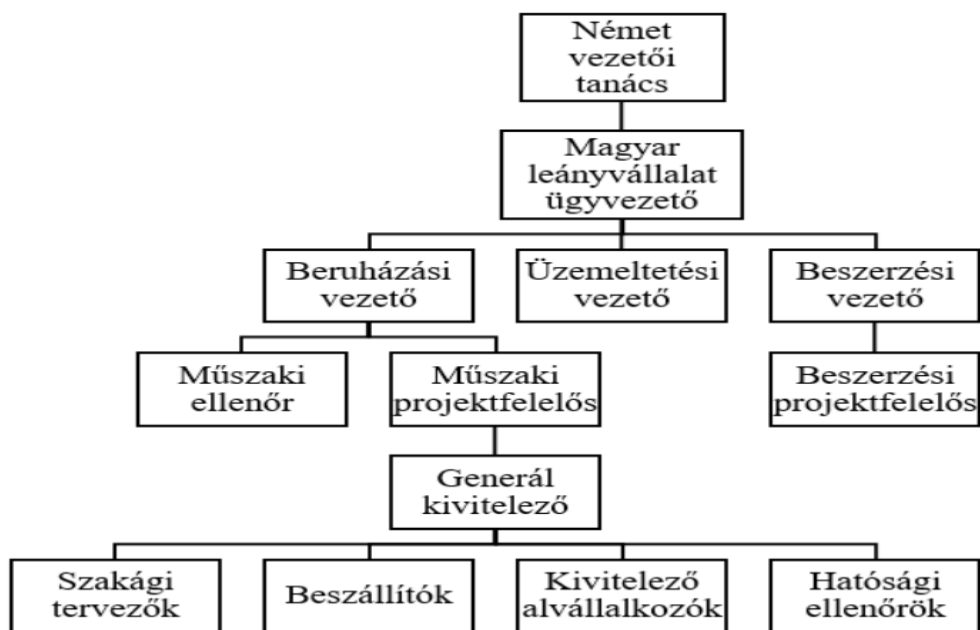
3.3. táblázat projekt költségei [saját táblázat]



3.9. ábra projekt költségei százalékos eloszlásban [saját ábra]

3.2.2. Projekt szervezet

Egy multinacionális vállalati szervezetben hasonló kaliberű projektek és beruházások levezénylése sok szereplő bevonásával jár. A 3.10. hierarchikus ábrán összeszedtem a művelet résztvevőit. A vezetői réteg a döntésben és az anyagi források felszabadításában játszott szerepet, a mérnöki réteg a döntés előkészítésben és a projekt menedzselésében az alvállalkozói réteg pedig a konkrét megvalósításban.



3.10. ábra fejlesztési projekt szervezete [saját ábra]

3.2.3. Jogi háttér

Egy ekkora méretű beruházásnál nem lehet elmenni szó nélkül a jogi háttér ismerete mellett. Számos rendeletnek és szabványnak kell megfelelni a munkálatok alatt és az átadott rendszernek egyaránt. A következő fejezet pontjaiban összeszedtem a tárgyi projektre vonatkozó rendeleteket és szabványokat.

Rendeletek:

- 4/1984. (I. 23.) EüM rendelet - a zaj- és rezgéskeltő határértékekről;
- 1993. évi XCIII törvény - a munkavédelemről;
- 1995. évi LIII törvény - a környezet védelmének általános szabályairól;
- 1996. évi XXXI. törvény - a tűz elleni védekezésről;
- 1997. évi LXXVIII törvény - az épített környezet alakításáról és védelméről;
- 1999. évi LXXVI törvény - a szerzői jogról (2008. évi CXII törvény által módosítva);
- 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet - a levegő védelmének egyes szabályairól;
- 4/2002. (II. 20.) SzCsM-EüM együttes rendelet - az építési munkahelyeken és az építési folyamatok során megvalósítandó minimális munkavédelmi követelményekről;
- 8/2002. (III. 22.) KöM-EüM együttes rendelet - a zaj- és rezgésterhelés határértékeiről;
- 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet - a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól;
- 266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet - Szakmagyakorlás az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről;
- 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet - az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól;
- 25/2000. (IX. 30.) EüM rendelet - Munkahelyi szennyező anyagok;
- 3/2002. (II. 8.) SzCsM-EüM együttes rendelet - Munkahelyi környezet, munkavédelem;
- 7/2006. (V. 25.) TNM rendelet - Energetikai követelmények;

- 290/2007. (X. 31.) Korm. rendelet - az építőipari kivitelezési tevékenységről, az építési naplóról és a kivitelezési dokumentáció tartalmáról;
- 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet - a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról;
- 55/2014. (XII. 5.) BM rendelet - az Országos Tűzvédelmi Szabályzat kiadásáról;
- 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet - az építőipari kivitelezési tevékenységről;
- 93/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet - az építésügyi hatósági eljárásokról és az építésügyi hatósági ellenőrzésről. [9]

Szabványok:

- MSZ-04-804/1-1989 - Épületgépészeti csővezetékek;
- MSZ EN 10220:2003 - Varrat nélküli és hegesztett acélcsövek. Méretek és tömegek;
- MSZ-04-803-10:1990 - Építő- és szerelőipari épületszerkezetek. Épületgépészeti hőszigetelések;
- MSZ 261 - Csőtartó szerkezetek;
- MSZ EN 10027-1 - Acélcsövek méretei és jelölései;
- MSZ EN 13384-1,2, MSZ EN 12391-1 - Kémény
- MSZ 04/142/1-3-83 – Melegvízfűtés;
- MSZ (MI) 04/135/1-3, DIN 1946-6 – Szellőzés;
- MSZ 18150/1-2, 181151/1-2 sz. - Zaj elleni védelem;
- Területileg illetékes gázszolgáltató technológiai előírásai – Gázellátás;
- 813, 814/2013 EU direktíva - Hőtermelők, Erp direktívái;
- 1253/2014 EU direktíva - Légkezelők, Erp direktívái. [10]

4. Megvalósulási (korszerűsített) állapot

4.1. Légtechnikai fejlesztés

A légtechnikai rendszereknél a befűvő légcsatorna hálózat átalakításra került, a meglévő anemosztátokat elbontásra kerültek, melyek helyére új textil légcsatornák kerültek elhelyezésre. A következő fejezet célja a megvalósult légtechnikai rendszerek bemutatása és a valós légszállításának meghatározása.

Az üzemcsarnokban vizsgált textil légcsatornával rendelkező befűvő légtechnikai rendszerek számítás alapján kevesebb befűjt levegőt szállítanak a tervezettnél. Ebből adódóan a légtechnikai rendszerek által bevitt hűtési teljesítmény is arányosan kevesebb, mint a tervezett érték. A légtechnikai rendszerek valós légszállítását méréssel ellenőrizni kell. Az eredmények birtokában lehet a további szükséges beavatkozásokra és azok mértékére javaslatot tenni.

Rendelkezésemre álló tervek szerint a területre dolgozó légkezelő berendezések és tervezett légmennyiségek az alábbiak:

Csarnok Keleti oldal (6db légkezelő):

- 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 jelű légkezelő: $V = 20.000 \text{ m}^3/\text{h}$; $dP_{\text{stat}} = 500 \text{ Pa}$

Csarnok Nyugati oldal (6db légkezelő):

- 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 jelű légkezelő: $V = 26.000 \text{ m}^3/\text{h}$; $dP_{\text{stat}} = 500 \text{ Pa}$

Méretezési hőmérsékletek az alábbiak:

- Külső levegő nyár: $T_k = 35 \text{ C}^\circ$; 40%
- Befűjt levegő nyár: $T_{be} = 19 \text{ C}^\circ$; 83%
- Belső légállapot nyár: $T_b = 26 \text{ C}^\circ$; 60%

Légbevezetés:

A kezelt levegő légcsatornával szerelve a tetőáttörésen keresztül jut el a csarnokba, ahol a légtechnikai csővezetékek elágazásai után kapcsolódik a Prihoda típusú textil légcsatorna rendszer. A légmennyiségek szabályozására az elágazások után zsalus szabályzó szerkezetek kerültek beépítésre. A hűtési és fűtési üzem átváltása a textil légcsatorna elé beépített, a rendszerrel szállított motoros légterelő elemmel történik. Ezzel biztosítható, hogy a légcsatornában lévő membrán az üzemállapottól függően a légcsatorna alsó vagy felső részébe vezesse a levegőt.

A textil légcsatornák kör alakúak. A textil légcsatornában lévő lyukak átmérője szerint 8mm.

A beépített textil légcsatornák paraméterei:

- textil légcsatorna átmérő 630/450mm, 30 m hossz, tervezett légszállítás: 7.400 m³/h;
- textil légcsatorna átmérő 540mm, 20 m hossz, tervezett légszállítás: 6.000 m³/h;
- textil légcsatorna átmérő 450mm, 10 m hossz, tervezett légszállítás: 4.000 m³/h.



4.1. ábra újonnan kiépített textil légcsatorna ág [saját fotó]

Számítás alapján megállapítható, hogy a rendszerek légszállítása nem éri el a tervezett légmennyiséget.

A rendelkezésemre bocsátott műszaki adatok szerint a textil légcsatorna áteresztő képessége 120Pa nyomáson 55m³/h/m²

Textil légcsatorna a következő tulajdonságokkal:

Szövet PMS - 100 % poliészter, Végtelen szál (többszálas),
Súly 200 g/m², Vastagság 0,30 mm,

Áteresztőképesség 55 m³/h/m² 120 Pa nyomáson,

Szilárdság (vetemedés/vetülék) 2100/1100 N

(EN ISO 13934-1: 1999), Tűzállóság - B-s1, d0 az EN 13501-1+A1:2010 szerint, Hőállóság -60°C

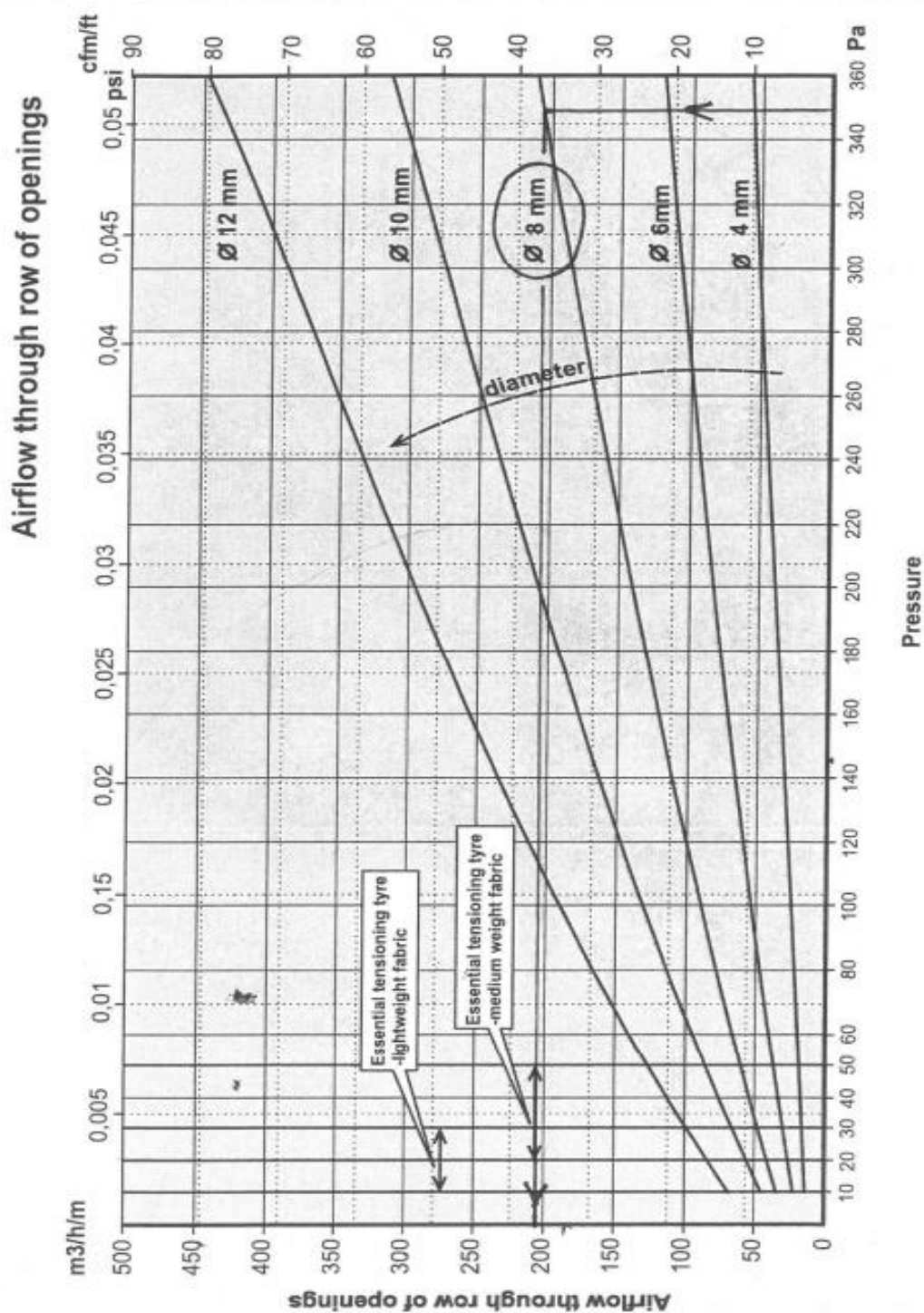
és +110°C között, Zsugorodás mosáskor

(vetemedés/vetülék) 0,5/0,5 % max. 40°C az EN ISO

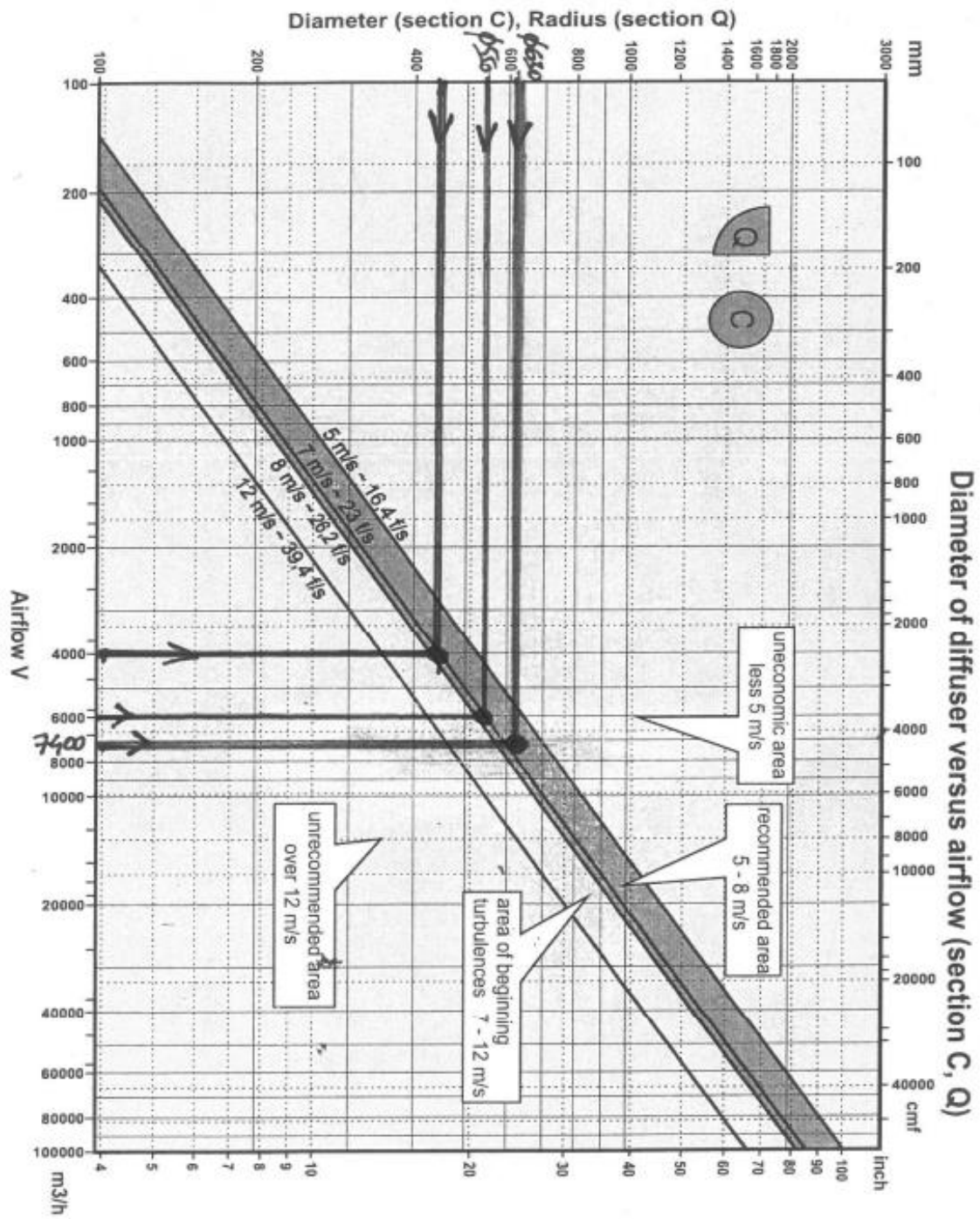
4.2. ábra textil légcsatorna adatlap [11]

Ezek alapján a légtechnikai rendszerek számított légszállítása még kedvezőtlenebb:

- Csarnok keleti oldal (6db légkezelő),
 - o textil légcsatorna átmérő 630/450 mm,
 - o hossz: 30 m
 - o tervezett légszállítás: 7400 m³/h
 - o Felület: 59 m²
 - o áteresztő képesség: $59 \cdot 55 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 = 3266 \text{ m}^3/\text{h}$
- Csarnok nyugati oldal (6db légkezelő),
 - o textil légcsatorna átmérő 550 mm,
 - o hossz: 20 m
 - o tervezett légszállítás: 6000 m³/h
 - o Felület: 35 m²
 - o áteresztő képesség: $35 \cdot 55 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 = 1901 \text{ m}^3/\text{h}$
- Csarnok nyugati oldal (6db légkezelő),
 - o textil légcsatorna átmérő 450 mm,
 - o hossz: 10 m
 - o tervezett légszállítás: 4000 m³/h
 - o Felület: 14 m²
 - o áteresztő képesség: $14 \cdot 55 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 = 778 \text{ m}^3/\text{h}$ [12]



4.3. ábra Befűjt légmennyiség a nyomás függvényében [13]



4.4. ábra Az optimális légmennyiség és csőátmérő kapcsolata. [14]

4.2. Hűtési és fűtési betáplálás fejlesztés

A korábban elbontásra került folyadékhűtő és blokkégő berendezések kiváltására légkezelőnként négy darab egyenként 65 kW hűtési és 69,5 kW fűtési teljesítményre képes modulárisan telepített Samsung típusú hibrid VRF kültéri egység került. Az így kapott megnövekedett teljesítményeket a 4.1. táblázatban foglaltam össze. Ha összeadjuk az így kapott hűtési teljesítményt akkor 3120 kW-ot kapunk, tehát megállapítható, hogy a korábban a 3.1. táblázatban jelzett hűtési teljesítmény hiányt sikerült eltüntetni és egy biztonsági tartalékot létrehozni a csarnok további bővülésére felkészülve.

	Fűtési teljesítmény (kW)	Hűtési teljesítmény (kW)
1/12 AHU	278	260

4.1. táblázat megvalósult állapot teljesítményei légkezelőnként [saját táblázat]

Így a 12 darab VTS légkezelő berendezés 12 különálló úgynevezett sziget rendszerben, egymástól függetlenül képes működni és ellátni a csarnokot hideg és meleg levegővel. Ezzel a módszerrel szinte a nullaig lehet csökkenteni a gépészeti rendszerek meghibásodása miatt bekövetkező termelés leállást, mivel egy sziget rendszerű berendezések meghibásodása esetén a légkezelő lekapcsolásra kerül (ezzel elkerülve a beáramló nem kívánt kezeletlen levegőt) és a többi rendszer zavartalanul működik ezzel biztosítva a jogszabályban foglalt munkakörülményeket az ott dolgozó embereknek, illetve a technológia igényeit is kiszolgálva (megmunkálógépek hőtermelésének kompenzálása).

A 4 db hibrid VRF berendezés lehetőség szerint rotálva működik. Ilyenkor a rendszer kinevez magának egy irányító gépet, mely a hűtés és fűtés igénynek megfelelően működteti a többi. Ezzel a módszerrel elérhető, hogy a gépek üzemideje megegyezzen, így a várható élettartalmuk is azonos lesz. Természetesen nagy teljesítmény igény esetén a 4 gép együttesen dolgozik, hogy teljesíteni tudja a beállított 7°C hűtési előremenő víz hőmérsékletet, télen pedig az 45°C körüli értéket. A 4.5. ábrán a kiépített új rendszer látható.



4.5. ábra korszerűsítés utáni légkezelő egység hőszivattyúkkal szerelve [saját fotó]

A rendszerhez új tágulási tartály, puffertartály, csővezetékek és szerelvények kerültek beszerelésre. A korábbi szivattyúk és csőhálózat bontásra került. Az újonnan kiépített csővezetékek és szerelvények polimer szigetelést és bádoggal bevonatot kaptak a veszteségek és az időtartósság végett.

A VTS légkezelő hűtési hőcserélője nem került cserére. A fűtési hőcserélőként működő kazántest bontásra került. A továbbiakban egy hőcserélővel működik a berendezés, hiszen egy rendszerről kapja a hűtési és fűtési betáplálást is.

A kondenzvíz kezelés is megoldásra került. Gépek alatti tálcában való összegyűjtés után gravitációs módon flexibilis csővezetéken keresztül a tetőösszefolyókhoz kerültek elvezetésre.

A rendszer 35 % etilén glikol (inhibitor anyaggal) és 65% víz arányában lett feltöltve ezzel elérve körülbelül -25 °C fagyáspontot.

4.3. Kültéri split klíma egységek kihelyezése

A telepítéskor hanyag, költségkímélő módon beltéren elhelyezett kültéri klíma egységek a tetőn kerültek kihelyezésre a csarnokból. A mono split és multi split berendezések kondenzátor részeinél hő fejlődik hűtési üzemben, ezért nyáron a hűtött csarnokot fűtöttük velük, ami így nem gazdaságos működést eredményezett.

Néhány kisebb teljesítményű gép sajnos nem bírta el a megnövelt nyomvonalat, ezért ezek a berendezések cserére kerültek. Ezek alatt jellemzően a ~3,6kW hűtési teljesítménnyel rendelkező gépeket értem, melyeket ~5,5 kW hűtési teljesítményre cseréltük biztosítva ezzel a kellő teljesítményt a megnövekedett nyomvonal ellenére.

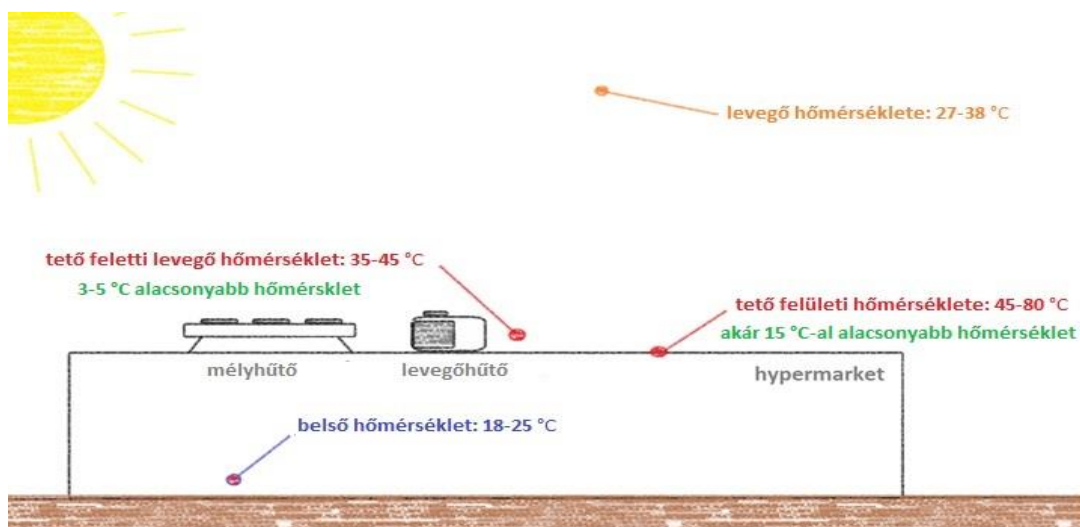
A kondenzvíz elvezetés a Samsung Chillerekhez hasonló módon lett megoldva. Tálcára csatlakoztatott flexibilis csővezetéken keresztül eljuttatva a tetőösszefolyóig.

4.4. Tetőfelület bevonatolás

A napsugárzás okozta magas hő miatt az épület belsejét hűteni szükséges. A hűtési rendszerek az alábbiaktól függenek:

- Mennyi hő jut be az épületbe (szigeteléstől függ)
- A kültéri hűtő egységek környezeti hőmérséklete (kondenzációs egységek)

A 4.7. ábrán látható egy rajz a tetőn fellépő hőmérsékletekről. Pirossal feltüntetve a bevonatolás nélküli hőmérséklet sávokat zölddel pedig a festés után várható hőmérséklet csökkenésének értékét.

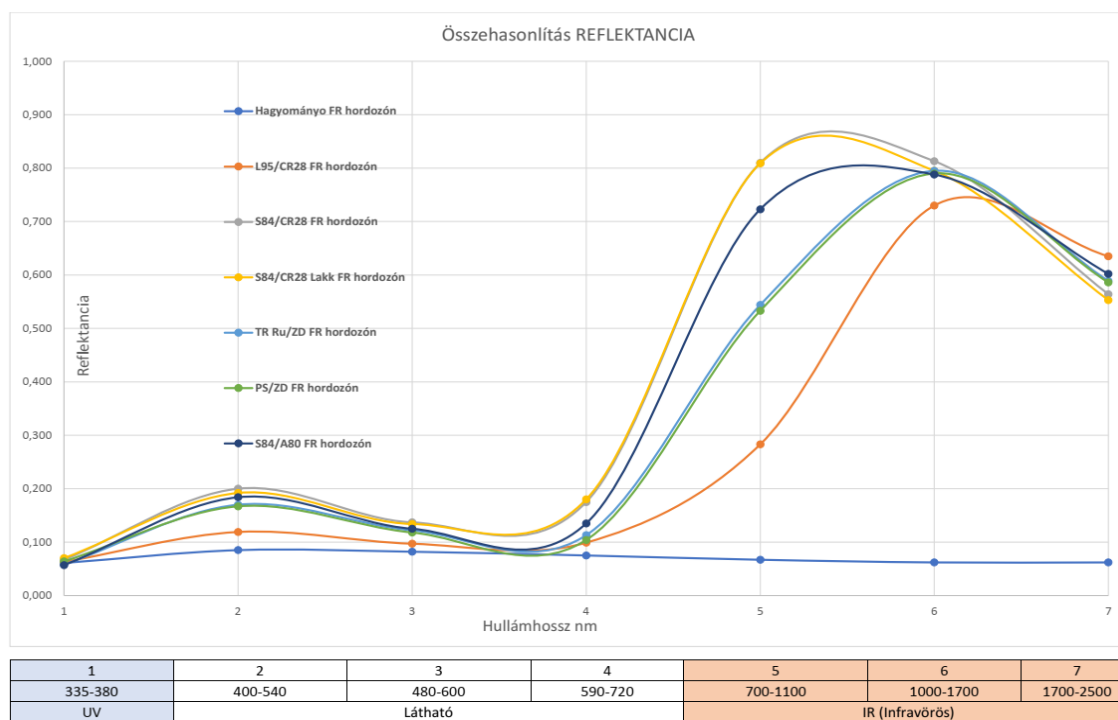


4.7. ábra csarnoki hőterhelés példa [16]

Korunk kihívásai és a bevonatolás kapcsolata:

- Klíma változás: Az UV sugárzás erősödésével jár, roncsolja a festékipari kötőanyagokat. Felmelegedés növeli a kötőanyagok hődegradációját és a hűtésre fordított energiát, ami öngerjesztő folyamatként növeli a széndioxid és más üvegházhatású gázok kibocsátását. Reflexiós bevonatok. A probléma fontosságát növeli az energia ára folyamatos növekedése.
- Kórokozók: Baktériumok, vírusok támadása, Covid-19, madárinfluenza, rezisztens baktériumok. Antibakteriális festék bevonatok
- Különlegesen tartós bevonat rendszerek alkalmazása a környezet szennyezés mérséklése céljából.

RAL 7016 típusú infravörös reflexiós bevonat vizsgálata:



4.8. ábra reflexiós bevonat tulajdonságok [17]

Bevonat ismertetése:

A RAL 7016 típusú infravörös reflexiós bevonat:

- energiát takarít meg a hűtő és mélyhűtő berendezések számára;
- megnöveli az adott készülék élettartamát, pénzt takarít meg a kevesebb szerviz miatt;
- biztosítja a stabilabb hűtési teljesítményt;
- védi a felületet a víz, a hó, és az UV sugárzás ellen;
- tömíti a mikro repedéseket, újra vízzárová teszi a tetőt;
- megszünteti a felület UV védelmi szükségességét;
- kényelmesebb tetőn tartozkodás a karbantartók/technikusok részére
- öntisztuló felület, nem szükséges a tetőt mosni, takarítani;
- nem változtatja meg a tető tűzvédelmi besorolását.

A gyártó cég egy kutatási és fejlesztési pályázat keretén belül azt a cél tűzte ki, hogy a meglévő bevonat rendszereit oly módon pigmentálja, hogy azok az IR tartományban a lehető legtöbb napsugárzást verjék vissza. Az ilyen bevonatok sokkal kevésbé melegszenek, ugyanakkor alkalmazásukkal kidolgozható bármilyen szín a látható tartományban. A feladat kettős a bevonatrendszernek biztosítani kell tartós korrózió védelmet és IR tartományban vissza kell vernie a lehető legtöbb energiát (nem melegedhet).

Az épületek belső hőmérséklete a külső szigetelés és a hőmérséklet különbség (ΔT) szorzata adja, a tárgyi projekt a ΔT csökkentésével foglalkozik.

A különleges fehér mikroszemcséknek köszönhetően hatásosan tükrözi vissza a nap sugarait. Akár 10-15°C-al csökkentheti a tető hőmérsékletét (alacsonyabb hőhatás). Közvetlenül a tető felett lévő levegő hőmérsékletét pedig 3-5°C-al csökkentheti, így alacsonyabb hűtési energia fogyasztást eredményezve. A bevonatnak köszönhetően csökkenni fog a hűtő egységek meghibásodási száma, mivel alacsonyabb működési tartományon fog üzemelni. A hűtőközeg veszteséget is csökkenti, ezáltal alacsonyabb a várható CO² kibocsátás. Nem utolsó sorban pedig védi a felületet az UV és hőszugárzástól, mely hosszabb tető élettartamot eredményez.

Felhasználási területei:

Az ipari festések mellett, híd bevonatrendszerek, nehézkorróziós bevonatrendszereknél is használatos anyag. Továbbá ikonikus műemléképületek felújításában, műszaki és esztétikai problémák megoldásában is segítséget tud nyújtani.

Emellett gyakran használják modern épületek kivitelezésekor is.

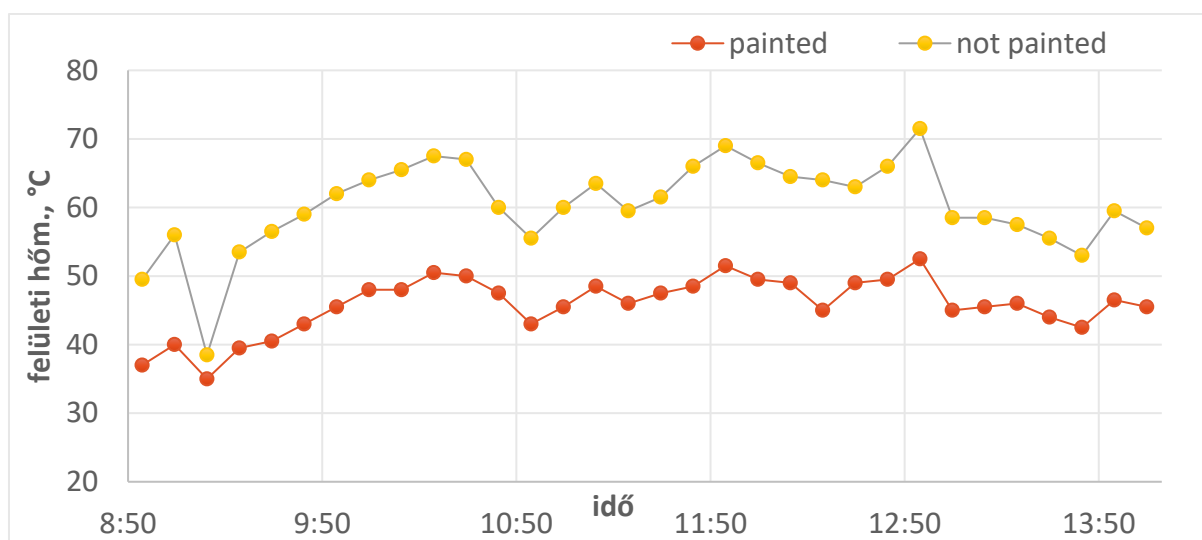
Az alábbi tetőanyagokra alkalmas a kezelés:

- PVC, műanyag, gumi;
- fém felületek;
- kerámia, beton. [18]

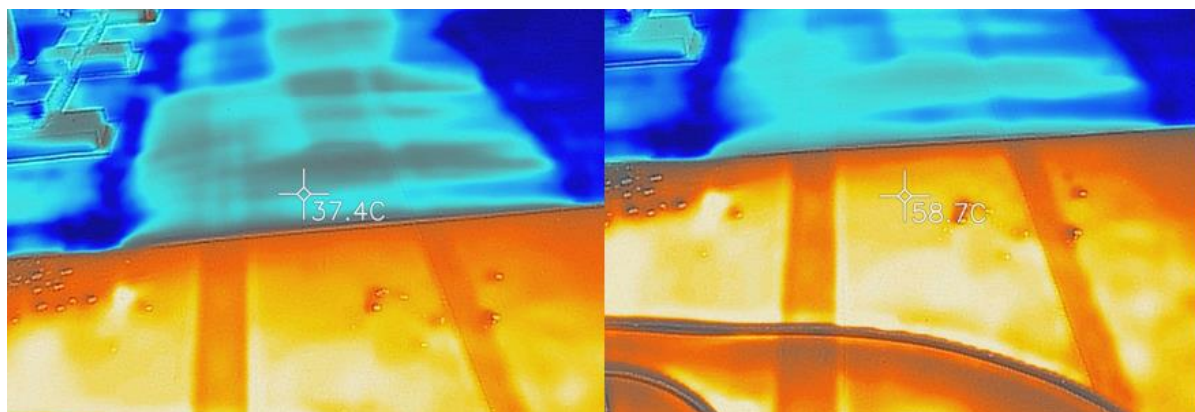
5. Műszaki fejlesztések eredményei

5.1. Tetőszigetelés bevonatolásával elért eredmény

A legfontosabb paraméter a felületi hőmérséklet valós körülmények közötti mérése. A gyártócsarnok tetején található PVC szigetelésből mintát vettünk, a felét lefestettük, a másik felét nem kezeltük semmivel. A hőmérsékletet a szigetelés alatt lévő érzékelőkkel mértük a közvetlen napsugárzás hatásának kizárása miatt. Az eredmény, ahogyan az alábbi 5.1. grafikonon is látszik, stabilan 12-17 °C-al alacsonyabb a védőbevonattal kezelt felület, mint a nem kezelt felület. Az 5.2. ábrán pedig hőkamerás felvétellel szemléltetem a festett és nem festett terület közötti különbségeket.



5.1. ábra bevonatolt felülettel elért eredmény táblázatban [19]



5.2. ábra bevonatolt felülettel elért eredmény hőkamerán [20]

Alacsonyabb tető hőmérséklettel elért hatások:

- 1°C-al alacsonyabb levegő hőmérsékletnél = kb. 2-3% energiamegtakarítás a hűtő kompresszorok optimálisabb működése miatt;
- például 3°C-al alacsonyabb levegőhőmérséklet már jelentős, 6-9% energiamegtakarítást is jelenthet;
- az alacsonyabb hűtési kompressziós működés miatt a hűtőberendezések várható élettartama megnőtt;
- csökkentett hűtőberendezés meghibásodások száma, kevesebb szerviz beavatkozás szükséges;
- csökkentett hűtőközeg veszteség kockázatát, ezáltal óvva a környezetet;
- csökkentett CO₂ kibocsátást. [21]

5.2. Befűjt hőmérséklet alakulása hűtési üzemben

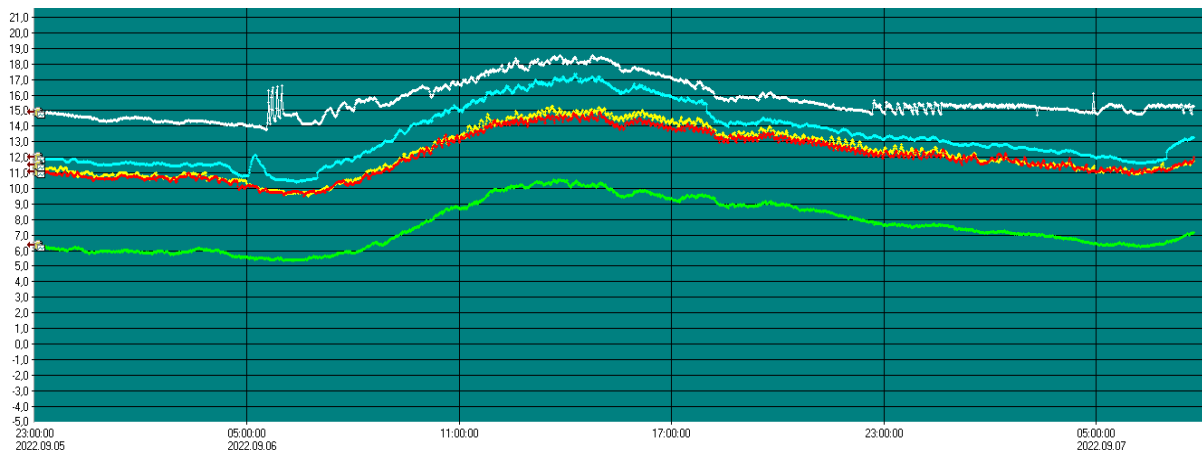
Az 5.3. ábrán látható trendet az épületfelügyeleti rendszerbe integrált légcsatornáknban elhelyezett hőmérsékletszenzorok segítségével rögzítettük.

Mérési időszak körülményei: Napos időjárás, maximális hőmérséklet a tetőn $\sim 35^{\circ}\text{C}$.

Magyarázat az 5.3. ábrához:

- Sárga és piros: AHU új VRF hűtéssel, 100% ventilátor teljesítményen;
- zöld: AHU új VRF hűtéssel 50% ventilátor teljesítményen;
- kék: AHU új VRF hűtéssel, csarnok nagy hőfejlődéssel terhelt részén;
- fehér: AHU régi Trane folyadékhűtős hűtési betáplálással, 100% ventilátor teljesítményen.

Grafikonon látható az eredmény, miszerint egy meleg kora őszi napon az új rendszerrel átlagban $\sim 4^{\circ}\text{C}$ -al csökkenteni tudtuk a légcsatorna befűvő ágán lévő levegő hőmérsékletét azonos körülmények között, ezáltal fokozva a csarnok hűtését és csökkentve a belső hőmérsékletét.



5.3. ábra légcsatornában lévő hőmérséklet mérések [22]

5.3. Üzembiztosság javulás

A vállalat egyik fő célja a korszerűsítési projekttel az üzembiztonság növelése volt. A korábban már ismertettek alapján számtalan példa volt rá, hogy gépészeti rendszer meghibásodása negatívan érintette az üzemben zajló termelést, ami súlyos pénzügyi károkat okozott.

Az úgynevezett szigetrendszerek kialakításával és a rendszeren lévő 4 db chiller moduláris kapcsolásának köszönhetően szinte elképzelhetetlen a 12 db légkezelő egység egyszeri hűtés vagy fűtés leállása. A hibrid VRF gépek meghibásodása esetén a hibás gép rendszerből kizárható, így a többi 3 gép tudja folytatni a hőcserélő kiszolgálását, amíg a problémás gép javítása zajlik.

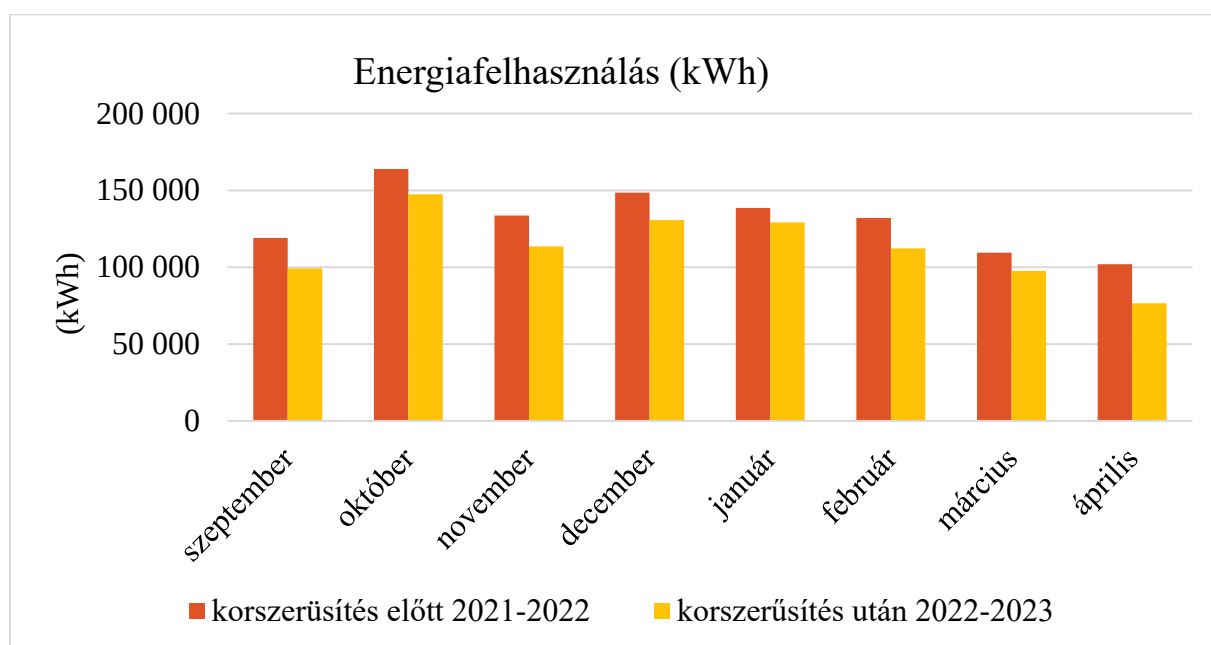
Mióta az új rendszer telepítésre és beüzemelésre került a csarnokban nem történt olyan műszaki probléma, mely gyártás leállással járt volna. Ez a projekttel elért egyik legfontosabb eredmény.

5.4. Energiafelhasználásra gyakorolt hatás

Az üzemcsarnok épületgépészeti rendszereinek energiahasználatát almérők segítségével tudjuk monitorozni. Az 5.4. ábrán látható fogyasztási adatokat is ezek segítségével tudtuk kinyerni.

A 2021-es és 2022 év eleji adatokat a folyadékhűtőknél, légkezelő rendszereknél és a blokkégőknél elhelyezett mérők szolgáltatták. A fejlesztés után a folyadékhűtőknél és blokkégőknél lévő mérőpont megszüntetésre került. A hibrid VRF rendszereknél pedig beépítésre került egy új mérési pont, amely a 2022 végi és a 2023-as adatokat szolgáltatta.

Jól látható a fejlesztéssel elért energiafelhasználás csökkenés azonos időszakokat figyelembe véve.



5.4. ábra üzemcsarnok energiafelhasználása [saját ábra]

5.5. Környezetre gyakorolt hatás

Az üzemcsarnok környezetre gyakorolt hatását pozitív irányba mozdítani legfőképpen a CO₂ kibocsátás csökkentésével tudjuk. Ezt a csökkenést a hatékonyság és a hatásfok növelésével, illetve az ennek köszönhető energiafelhasználás csökkenéssel érhetjük el.

Időszak:	2021. 09. – 2022. 04.	2022.09. – 2023.04.
Energiafelhasználás:	1.047.247 kWh	906.565 kWh
Megtakarított energia:	~140.681 kWh	

5.5. táblázat megtakarított energia [saját táblázat]

2013-as adatok szerint 1 kWh elektromos áram termeléséhez 0,35 kg szén-dioxid kibocsátás párosul. A károsanyag emisszió természetesen nem az üzemcsarnoknál keletkezik, hanem azon a helyen, ahol ezt az áramot megtermeljük. A felhasználóhoz történő szállítás következtében veszteségek lépnek fel, melyek a fogyasztott energiára vetítve megközelítik a 14 %-ot. Eszerint 1 kWh felhasznált villamosenergiához körülbelül 1,14 kWh energiát kell "előállítani".

Ezek alapján kiszámolható, hogy a fejlesztésnek köszönhetően közel 60.000 kilogrammal csökkent a CO₂ kibocsátás az előzően mért időszakhoz képest:

$$140.681 \text{ kWh} * 1,14 = \sim 160.376 \text{ kWh}$$

$$160.376 * 0,35 \text{ kg} = \sim 56.132 \text{ kg}$$

Ha azt vesszük alapul, hogy egy darab 50 év körüli, kifejlett, kb. 100 m³ lombtérfogató fa 1 év alatt 68,62 kg CO₂-ot tud megkötni, akkor szintén egy számítással meghatározhatjuk, hogy az 56.132 kilogrammos javulással több, mint 800 db az előbb leírt paraméterekkel rendelkező fa éves munkáját takarítottuk meg. [23]

6. Összegzés

Dolgozatomban egy közel 26.000 m² alapterületű gyártócsarnok HVAC rendszerét vizsgáltam meg részletesen, főként gépészeti szempontból.

Kezdetben ismertettem az olvasóval a munkám fontosabb alapfogalmait: a komfortelmélet jelentését, a HVAC rendszer jelentését és hibrid VRF rendszerek jellemzőit. Feltártam a kiindulási helyzet hiányosságait és hibáit, ismertettem az amortizált gépparkot és javaslatokat adtam a korszerűsítésre területenként részletezve. Kitértem a projekt szervezésére és pénzügyi oldalára, valamint a fejlesztésekkel kapcsolatos elvárásokra.

Munkám egyik fontos részeként, műszakilag felmértem a megvalósult, korszerű rendszert. Bemutattam a fejlesztés utáni állapotokat a légtechnikai hálózaton, részletezve az átalakított textil légcsatornás kialakítást és annak előnyeit. A hibrid VRF készülékeknek megrajoltam a kapcsolási rajzát, szemléltetve ezzel, hogy mily módon kapcsolódnak az adott légkezelő egységhez. Kitértem a csarnok belső területein nem kívánatos hő termelő split klímák kihelyezésére kültérre, végül részletesen bemutattam a tető felületén felhasznált speciális bevonat jellemzőit és lényegét.

A műszaki fejlesztésekkel elért eredményeket különböző típusú mérések után összegyűjtöttem és érthető vizuális módon prezentáltam. Ilyen eredmény például a befűjt hőmérséklet tartós csökkentése a nyári időszakban, ezzel biztosítva a jogszabálynak és az emberi szervezetnek megfelelő hőmérsékletet. Szintén komoly eredmény tetőfelületen lévő hőmérséklet csökkenése, mely kedvezően hat az épület hőterhelésére az így keletkezett kevesebb hűtési igénnyel pedig energiát tudunk megtakarítani. Mérési adatokból az is látható, hogy az új korszerű rendszer energiafelhasználása csekélyebb a korábbihoz képest, ezzel pénzbeli megtakarításokat okozva a vállalatnak és kevesebb CO₂ kibocsátást a környezetünknek.

Az eredmények bemutatása során figyelembe vettem energiafelhasználási, pénzügyi és környezetvédelmi szempontokat. Számbeli adatok ismertetésére diagrammokat és táblázatokat készítettem. A fejlesztések előtt és után vizsgált időszakok közötti energiamegtakarítást párosítottam a károsanyag kibocsátással, így konkrét adatot kaptam milyen mértékben javult az üzemcsarnok környezetre gyakorolt hatása.

7. Irodalomjegyzék

[1] Magyar Épületgépészeti Szövetség

<https://www.megksz.hu/epuletgepeszet/komfortelmelet/>

[2] EPA – United States Environmental Protection Agency

<https://www.epa.gov/iaq-schools/heating-ventilation-and-air-conditioning-systems-part-indoor-air-quality-design-tools>

[3] Samsung Business

<https://www.samsung.com/hu/business/climate/hvm/>

[4] VTS Group légkezelő adatlap

<https://vtsgroup.com/hu/letoltes?sub=44>

[5] Blowtherm GVAL gázégő

Készülékhez tartozó nyomtatott kézikönyv

[6] Trane folyadékhűtő adatlap

https://www.hosbv.com/data/specifications/7276_7276%20-%20Trane%20RTAC%20200.pdf

[7] Intergavel Kft.

<https://intergavel.com/hu/tetelek/gazego/8-50002>

[8] WinWatt hőterhelés kalkulációs program

<http://bausoft.hu/ww32ver.htm>

[9] Jogiportál – Rendelet és jogszabály kereső

<http://jogiportal.hu/>

[10] Magyar Szabványügyi Testület – Szabványkereső

<https://prod.mszt.hu/hu-hu/>

[11] Prihoda Légtechnika

<https://www.prihoda.com/hu/legcsatornak/>

[12] "KLIMA" Kft.

Adatszolgáltatás

[13] Prihoda Légtechnika

<https://www.prihoda.com/hu/legcsatornak/>

[14] Prihoda Légtechnika

<https://www.prihoda.com/hu/legcsatornak/>

[15] Level Építőipari Fővállalkozó Mérnök Iroda Kft.

Lencsés János terveit felhasználva.

[16] Egrokor Zrt. Nano Surface Team

<http://nanosurface.eu/>

[17] Egrokor Zrt. Nano Surface Team

<http://nanosurface.eu/>

[18] Egrokor Zrt. Nano Surface Team

<http://nanosurface.eu/>

[19] Egrokor Zrt. Nano SurfaceTeam

Mérési adatok

[20] Egrokor Zrt. Nano Surface Team

Mérési adatok

[21] Egrokor Zrt. Nano Surface Team

Adatszolgáltatás

[22] ELSZÖV-Automatika Kft.

Siemens Desigo épületfelügyeleti rendszer mérései

[23] Fenntartható Megoldások Egyesülete – Karbon lábnyom

http://www.kislabnyom.hu/letolt/kepzesi_anyagok/06_karbon%20labnyom.pdf