

SZAKDOLGOZAT

Ignác Gergely

2025

MŰSZAKI INTÉZET
MEZŐGAZDASÁGI ÉS ÉLELMISZERIPARI GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Termeléstechológia és műszaki szolgáltató specializáció

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Ignác Gergely (JALIMJ)

részére

A szakdolgozat címe:

Vadhűtőkamra energetikai mérése

Feladatkiírás:

Vizsgálja meg a saját tulajdonban lévő 15 m³ kamratérfogatú vadhús hűtőkamra megfelelőségét. Különböző beállítások alkalmazásával mérések alapján határozza meg az optimális üzemeltetési állapotot. A mért eredmények alapján definiálja a hűtőkamra hűtési karakterisztikáját. Határozza meg a hűtőkamra használatának körülményeit. Elemezze a kapott eredményeket. Fogalmazzon meg fejlesztési javaslatokat.

Közreműködő tanszék: Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

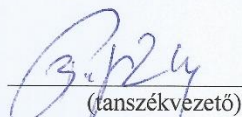
Külső konzulens:


Belső konzulens: Dr. Korzenszky Péter Emőd habilitált egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

A dolgozat beadási határideje: 2025. év november 07. nap

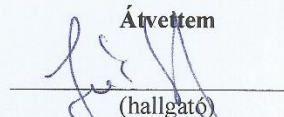
Kelt: Gyöngyös, 2025. év október 29. nap

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

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

(külső konzulens)



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Gödöllői Campus
Műszaki Intézet
Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépészmérnök
Alapképzési szak

VADHŰTŐKAMRA ENERGETIKAI MÉRÉSE

Belső konzulens: Dr. Korzenszky Péter Emőd habilitált egyetemi docens
Belső konzulens intézete: Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék
Készítette: Ignác Gergely (JALIMJ)

Gödöllő
2025

Tartalomjegyzék

Bevezetés és célkitűzések	2
1. Szakirodalmi áttekintés.....	4
1.1. Hűtőberendezések történeti áttekintése.....	4
1.1.1. Hűtés gép nélkül.....	4
1.1.2. Az első hűtőgépek	6
1.2. Élelmiszerbiztonság a hűtéstechnikában.....	7
1.2.1. Hűtéstechnikai előírások	7
1.2.2. A szállítási lánc vadhűtő esetén.....	8
1.3. Hűtőenergetika.....	9
1.3.1. A hűtés, mint termodinamikai folyamat.....	9
1.3.2. A kompresszoros hűtőkörfolyamatok	11
1.3.3. A fajlagos hűtőteljesítmény növelése.....	15
1.3.4. COP érték meghatározása	16
1.3.5. Hőátadás és szállított hő.....	17
1.3.6. Időállandó számítása	17
1.4. Hűtési módok.....	18
1.4.1. Etil-éter hűtő.....	18
1.4.2. Abszorpciós hűtő.....	19
1.4.3. Adiabaticus hűtő	20
1.4.4. Termoelektromos hűtő	20
1.4.5. Kompresszoros hűtő.....	21
2. Alkalmazott módszerek	23
2.1. A mérőeszközök ismertetése.....	23
2.2. A vadhűtőkamra ismertetése	25
2.3. A mérések menete.....	27
3. Eredmények és értékelésük	29
3.1. Nappali mérések hűtő indításkor (NI).....	29
3.2. Nappali mérések hűtő üzemeléséskor (NÜ)	34
3.3. Esti mérések hűtő indításkor (EI).....	37
4. Következtetések és javaslatok	40
5. Összefoglalás.....	42
Irodalomjegyzék.....	44
Ábrajegyzék.....	46
Táblázatjegyzék.....	47
Nyilatkozatok	48

Bevezetés és célkitűzések

Szakedolgozatom készítése során egy, különböző gyártók, ipari és lakossági felhasználású részegységeiből épült kompresszoros hűtőkört vizsgáltam energetikai, üzemeltetési és megfelelőségi szempontokból.

Vizsgálatokkal, mérésekkel szeretném bizonyítani a saját tulajdonban lévő hűtőkamra alkalmasságát az ipari felhasználású hűtőkamrákkal szemben támasztott elvárások szerint.

A kutatás keretén belül megvizsgálom az adott részegységek jellemzőit, elvi működésüket önállóan, így könnyebben összehasonlítható lehet egy eredeti rendszer és a saját, melybe különböző gyártók részelemei kerültek. A mérések során energetikai jellemzőket mérek, a rendszerben és környezetében egyaránt, ügyelve a csúcsidőszakokra, amikor a hűtő megfelelő működése fontos. A mérések kiértékelése során a legfontosabb szempont, hogy a rendszer a vele szemben támasztott elvárások szerint ellássa feladatát a lehető legkevesebb energiavesztéssel.

Különleges a kompresszoros hűtőrendszerben, hogy egy ipari elpárologtató és egy lakossági kondenzátor, kompresszor összeépítésével jött létre, ezáltal a gyártók által garantált hűtési jellemzők, függvények is eltérhetnek a gyakorlatban. A hűtőkamra saját tulajdonban van, eddig tapasztalat alapján lett vizsgálva. Fontos megjegyezni, hogy az empirikus tapasztalatok és vizsgálatok erősen indokolják a hűtőkamra konkrét mérését.

Szakedolgozatom során elsősorban a hűtőkamra megfelelőségének meghatározása a célom, emellett érintőlegesen kitérek üzemeltetési kérdésekre is, időszakos ellenőrzésekre, melyek fenntartják a hűtőkör várható élettartamát, a felhasználó által végezhető ellenőrzések és a használat során segítséget nyújtó „tippek” hasznosak lehetnek bármilyen hűtőkamrával foglalkozónak. Ugyanakkor összefoglaló az olyan egyéneknek, akik a vadászati hűtéstechnikában, a vadhűtés módszertanában kevésbé jártasok.

Választásom több okból esett az adott hűtő rendszerre. A rendszer megfelelőségi vizsgálata, ahogy azt említettem feljebb, indokolt volt, mivel pontos gyártói működési jellemzők és specifikációk az elpárologtató-kondenzátor együttesnél nem álltak rendelkezésre. Ugyanakkor a hűtő teljes mértékben saját felhasználású, főként vadászati, de sertés feldolgozás, hentesáru előállítás céljából is használatra kerül. Saját felhasználás révén könnyen, megfelelő időben és időtartamban voltak elvégezhetőek a mérések. Végül, de nem utolsósorban a mérési modell valódi hússal való ellenőrzése is gördülékenyebb lehet.

Bízom benne, hogy dolgozatom által átfogóbb képet kaphatnak a vadászati felhasználású hűtőkamrák működéséről, követelményeiről. A lehető legtöbb tényezőt figyelembe véve, de a teljesség igénye nélkül tárgyalom és végzem a hűtőkamra-vizsgálatot. A mérésorozat segítséget adhat a különböző gyártók elemeiből hűtőkört építőknek is.

1. Szakirodalmi áttekintés

1.1. Hűtőberendezések történeti áttekintése

1.1.1. Hűtés gép nélkül

Az emberiség történelme során mindig hangsúlyos szerepe volt az étel megfelelő tárolásának. A romlott hús kiváló táptalaja az emberre veszélyes kórokozónak, de a vadon élő ősember számára már egy kisebb gyomorrontás is végzetes lehetett. A nem megfelelően tárolt, nem megfelelően elrejtett hús pedig vonzotta a dögevő és ragadozó állatokat, melyek potenciális veszélyforrást jelentettek.

Adott zsákmány elejtésénél nem mindig használták fel az egész vadat, azt tárolni, megőrizni volt szükséges. Az állatokban fellelhető értékes tápanyagokat a lehető legjobban kihasználták, leleményesen tárolták. Például egy izraeli ősbárlang kutatása során szarvas lábszárcsontokat találtak, melyek vizsgálata alkalmával mély vágásokat és a csontvelő feltörésére utaló jeleket találtak. A kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy valószínűleg a hűvös barlangban a csontok néhány napig tartó tárolása történhetett. (Blasco, et al., 2019)

Ha megvizsgáljuk a modernkori törzsi rendszerben élő civilizációkat, az étel későbbi fogyasztásra való tárolás gyakori. Az északi népek a környezeti adottságokat használva fagyasztva tárolják az élelmiszereket. Emellett a füstölés, sózás, szárítás, mint élelmiszer-tartósítási eljárás is egészen az őskorba vissza.

Az idő előrehaladtával egyre kifinomultabb technikák terjedtek el, megjelent a hidegen tárolás is. Már az ókori Rómában alkalmaztak hűtési eljárásokat, pincékben tároltak élelmiszereket. A pincében csak a föld hűvössége tartotta fent a hőmérsékletet. Emellett sózás és pácolás technikáját csiszolták, a tartósított étel már hetekig is elállt. A római korban a tartósítást legtöbbször az étel levegőtől való elzárásával kezdték. Gipsszel vagy agyaggal zárták edényekbe az élelmiszereket, de ez nem mindig volt elég. A Mediterrán térségben az étel tengeri levegőn szárítása volt a legegyszerűbb megoldás. Emellett konzerválási technikákat is alkalmaztak ecettel, mézzel. (Hoffmann, 2011)

A középkorban az írásos emlékek is megkönnyítik, azt, hogy pontos képet kapjunk a tartósításról és élelmiszerek tárolásáról, természetesen jelen maradtak az ókori eljárások, emellett a felsőbb réteg váraiban, kastélyaiban már alkalmazták a jégvermeket. A jégverem tulajdonképpen egy pince, melybe télen a befagyott tavak jégvértéből begyűjtötték a jeget, jól

szigetelő anyaggal, például szalmával beborították és elásták a jégdarabokat. A jég helyett tárolhattak havat is. Megfelelő tárolás esetén a jég a nyári hónapokra is felhasználható minőségben maradt meg és hűtötte a hűtést igénylő árukat. Az 1. ábrán láthatunk egy felújított jégvermet. (Buxbaum, 2008)

1. ábra - Helyreállított jégverem az oxfordshire-i Grey's Court-ban. (Forrás: [http1](#))



A kora újkorban folytatódott a vermes hűtés. John Frampton kereskedő 1580-ban említi a „hó házak” használatát Magyarországon, Flandriában és a cseh tartományokban. A jégvermek már nem csak pincékben működtek, hanem jól szigetelt, vastag falú épületekben is. Erre kitűnő példa a Penrhyn kastély a walesi Bangorban. A kastély 23 méter magas „jégtornyában” tárolták a közeli elárasztott rétekről a jeget. A kastély egészen a huszadik századig használatban maradt. A jégtornyot a 2. ábrán láthatjuk. (Buxbaum, 2008)

2. ábra - A Penrhyn kastély bejárata és a "jégtorony". (Forrás: [http2](#))



1.1.2. Az első hűtőgépek

Miközben az 1700-as évektől a jegesemberek járták az utcákat, a jégvágás gyakorlata általánossá vált a téli hónapok idején. A jég előállítása kompresszoros körfolyamat segítségével, tehát a jéggyártás, először az amerikai W.C. Bradley Co. cég nevéhez fűződik. Így már nem volt szükség télen jeget vágni, sikeresen integrálták az új felfedezéseket a régi gyakorlatba. Ezáltal a háztartásokban és az árusoknál jégűtéses jég szekrényeket alkalmaztak melyben a jeget 1-3 naponta cserélni kellett. Ez bár nem tekinthető gépnek, de egészen az 1970-es évekig használatban voltak a hűtőgépek lakossági elterjedéséig. A jég szekrény egy jól szigetelt szekrény, mely kettő tárolórészből állt. Felül egy jégtárolóból, alul egy élelmiszer tároló egységből állt. Fontos a jeget a hűtendő áru felé helyezni, mivel a hőcirkuláció értelmében a meleg levegő felfelé száll. A jég szekrényen található volt egy leeresztő csap is, mellyel a jégből olvadó vizet eresztették le. (3. ábra) (Freidberg, 2010)

3. ábra - A jég szekrény. (Forrás: <http3>)



Az első működő kompresszoros hűtőgép 1835-ben készült a gőzgépek feltalálásában is résztvevő Jacob Perkins által. A működéséről bővebben olvashatunk a 3.3.5-ös Kompresszoros hűtőgép c. fejezetben. Érdemes megjegyezni, hogy a gép elsősorban jég előállítására szolgált.

1859-ben a francia Ferdinand Carré megalkotta az abszorpciós hűtőgépet, melyben vízben oldott ammónia volt a hűtőközeg.

Az első lakossági felhasználású hűtőgépek a jég szekrények és a jegesemberek korának végét jelentették. 1930-ban a Frigidaire cég megalkotta a halogénezett szénhidrogénes (CFC) hűtőgépeket. Az olcsó hűtőközeg nagyban elősegítette a gépek terjedését a piacon. A CFC mellett szól, hogy az éterhez és ammóniához képest az egészségre kevésbé ártalmas hűtőközeg. (Freidberg, 2010)

1.2. Élelmiszerbiztonság a hűtéstechnikában

1.2.1. Hűtéstechnikai előírások

Az előírások megismerése előtt tisztázzuk, hogy miért szükséges hűtenünk az élelmiszereket, mi a hűtés, mint élelmiszeripari eljárás célja. A hűtés célja az élelmiszer fizikai tartósítása. A hűtés hőmérsékletét 0°C és 12°C között definiáljuk élelmiszeripari szempontból. A hűtés és fagyasztás során az élelmiszerben lévő mikrobák nem pusztulnak el, az csak hőmérséklet emeléssel lehetséges, hanem csupán a szaporodásuk és életfunkcióik lassulnak le. A tárolás időtartama függ a terméktől és a körülményektől. (Szarka, Molnár, 2019)

A Nébih megkülönböztet gyors romlásra hajlamos élelmiszereket, melyeket a -1 és +3°C-os hőmérsékleten tárolhatók. Fontos megjegyezni, hogy ezek az élelmiszerek még át fognak esni egy hőkezelési eljárásán. A másik csoport a romlásra hajlamos, hűtést igénylő élelmiszerek. Ezeket az élelmiszereket 0 és 5°C között tárolhatjuk. Ilyenek például a főtt húskészítmények, tejkészítmények, sütemények. A romlásra kevésbé hajlamos élelmiszerek csoportja zöldségekből és zsiradékokból áll, melyek csekély víztartalmuk vagy alacsony pH értékük révén nehezebben romlanak. Ezeket az élelmiszereket 1 és 12°C-os hőmérsékleten tárolhatjuk. (Szarka, Molnár, 2019)

Egyéb tárolási kritériumok közé tartoznak a hűtőkamrák higiénias követelményei. Megfelelő szellőzés, fénytől védés biztosítása fontos szempont. Amennyiben szükséges, az elpárologtató rendszeres ellenőrzése, szükség esetén tisztítása kulcsfontosságú. A hűvös környezet kedvezhet a penészgombáknak. Fontos, hogy a hűtőkamra könnyen tisztítható legyen, kerülni kell a szennyeződésre hajlamos zugokat a kialakítás során. (Szarka, Molnár, 2019)

A hűtés során fontos a megfelelőség ellenőrzése. Hűtött áruk esetén a maghőmérséklet mérése a leghatékonyabb és legkézenfekvőbb módszer. A mérést az áru legbelsőbb, a környezettől legtávolabb levő pontján érdemes ellenőrizni. A maghőmérséklet-mérés roncslással jár, mivel a szondát bele kell szúrunk az áruba. Roncsolásmentes hőmérséklet mérés lehet a felületi hőmérséklet mérés, bár ebből nehezebben következtethetünk a hűtés megfelelőségére. Ugyanakkor fontos a hűtőkamra belső hőmérsékletének mérése is, ezt folyamatosan regisztrálni kell, mivel kulcsfontosságú az élelmiszer adott hőmérséklettartományon tartása. Fontos a hűtési láncban az áru hőmérsékletének nyomon követése is. Ezt a vadhűtő vonatkozásában a következő fejezetben fogjuk tárgyalni. (Szarka, Molnár, 2019)

1.2.2. A szállítási lánc vadhűtő esetén

Először is tekintsük át a vadászat során alkalmazott szállítási láncot. Ez a folyamat, mely a vad birtokba vételétől a feldolgozás megkezdéséig tart.

4. ábra - Nagyvad krotália (saját forrás)



A sikeres elejtést követően a vadat birtokba vesszük, Achilles-ín és a lábszárcsont közé befűzzük a nagyvad azonosítására szolgáló krotáliát, melyet a 4. ábra szemléltet.

Természetesen az elejtést követően hűlni kezd a test a környezeti hőmérsékleten. Vaddisznó esetében a normál testhőmérséklet a házisertéshez hasonlóan 39-40°C között mozog. A test hűlni fog egészen addig, míg el nem éri a környezet hőmérsékletét. Ezt nem szabad megvárunk, mivel az elejtés után a zsigerekkel teli vad hamar romlásnak indulhat még hűvösebb hőmérsékleten is. A befülledés jelensége fennáll, amikor a vadban melegpontok lesznek jelen. A szőr, zsír, hús szigeteli az állatot, így a testüregben és a lapockák mögött megromolhat a hús. Ennek megakadályozására szolgáló jó gyakorlat a megfelelő időben történő zsigereles és a lapockák és a bordakosár közötti mély bevágás után lapockák kifordítása.

5. ábra – Megfelelően beakasztott vaddisznó (saját forrás)



A zsigereles és a lapockák kifordítása által a környezeti levegőnek még jobban kitesszük a testet, így hamarabb hűl. Az 5. ábra ezt hivatott demonstrálni. A beakasztást rendszerint a hátsó lábszár és a lábfej találkozásánál található Achilles-ín melletti bevágásnál oldjuk meg, de a képen a lapockák szétnyitása miatt a mellső lábánál akasztottuk. Tehát a kizsigereles, lapockák kifordítását amilyen gyorsan csak lehet, el kell végezni, hogy egyenletesebben hűlhessen a test. Kivételes esetek során, pl. sebzett vad után-keresésénél (amikor a vadat ért lövés nem roncsolja annyira a vitális szerveket, hogy tűzben rogyjon vagy a rálövés helyéhez közel essen és meg

kell keressük a vadat), áll fenn az, hogy a már elpusztult vad akár órákig is zsigerekkel álljon a környezeti hőmérsékleten.

Ekkor megkezdhetjük a szállítást, de nem biztos, hogy közvetlenül a hűtőbe fogjuk szállítani, ugyanis megvan az esélye, hogy be kell mutatnunk a vadásztársaság valamely képviselőjének az elejtett vadat. A szállítás során nem tudunk hűtést alkalmazni, ezért a hűtés nélküli szállítás idejét minimalizálni kell.

A szállítás után a hűtőkamrába helyezzük a testet függesztve. Fontos megjegyezni, hogy a hűtőkamrát csak a vad behelyezésekor kapcsoljuk be. A mérések során is ezt tekintjük rendeltetésszerű használatnak, így elkerülve a hűtő üres járatását. Ilyenkor kritikus az, hogy a test hőmérséklete minél gyorsabban lecsökkenjen az elvárt értékre. A feldolgozás rendszerint az ezt követő napon történik.

A vadhűtőkamra jelen esetben, mivel nem vadásztársaság tulajdonában levő hűtőkamráról beszélünk, csak a vadász által kompetenciába vett vad tárolására szolgál és rövid ideig tart, 1-2 napig maximum.

A kritikus pontok az elejtés és a hűtőkamrába kerülés között az elejtett vad zsigerekkel együtt, bontás nélkül eltelt ideje, és a szállítás ideje.

1.3. Hűtőenergetika

1.3.1. A hűtés, mint termodinamikai folyamat

A hűtés hőközlési folyamat, ahol a hő alacsonyabb hőfokszintű térből magasabb hőfokszintű térbe áramlik, természetesen munka (energia) befektetésével. A hűtés célja a hűtendő tér hőmérsékletének hőelvonással való csökkentése és nem utolsósorban annak közel állandó értéken tartása. Fontos megemlíteni, hogy a termodinamikai alaptörvények miatt mindig a hő áramlik és a hő áramlásához a körfolyamat egyik oldalán mindig energiát kell befektetni. (Beke, 2000)

A hűtés történhet közvetlen és közvetett módon. A közvetlen módszer lényege az, hogy a hűtőközeg a hűtendő közegtől vonja el a hőt. Erre jó példák a jégszekrények, ahol a jég az olvadásához szükséges hőt a hűtőtérből vonja el. A végbemenő folyamat a hő természetes áramlásának felel meg. Ez egy természetes folyamat, ehhez nem szükséges gépi munkát és energiát befektetnünk, mivel a szükséges energia a hűtött jégben van jelen. A közvetett módszer során a hő természetes áramlásával ellentétes folyamatot valósítunk meg, szigorúan

energiabefektetés mellett. A hő természetes áramlása során a magasabb hőmérsékletű közegből az alacsonyabb hőmérsékletű közegbe áramlik a hő, egészen addig, míg a két közegben a hőmérséklet ki nem egyenlítődik. Ezzel ellentétes hőáram csak munkavégzéssel lehetséges. Az ilyen, külső energiáfordítás árán hűtést megvalósító rendszereket hűtőberendezéseknek nevezzük. A berendezésekben hűtőközeg a hőt szállító munkaközeg, mely váltakozó halmazállapotban van jelen a gépben, a hűtőközeg alacsony hőmérsékleten párologó anyag. A hűtőközeg a hűtendő közeg hőmérsékleténél alacsonyabb, hogy el tudja vonni a hőt a hűtendő közegtől. A hűtőközeg a folyamat során a környezeti levegőnél melegebb lesz, így leadja a hőt a környezeti levegőnek. (Beke, 2000)

A hűtőközegeket osztályozhatjuk a befektetett energia jellege és a hűtőközeg fajtái szerint. A hűtéshez befektetendő energia származhat mechanikai munkából, hőenergiából vagy villamos energiából. Hűtőközeg szerint lehetnek gáznemű és gőznemű gépek. A gáznemű hűtőközeg esetén a hűtőközeg halmazállapota nem változik a körfolyamat során. A gőznemű közegnél a halmazállapot a körfolyamat viszonyaitól függően változó. (gáz-folyadék) Hőfelvétel során a közeg elpárolog, a hőfelvétel során pedig lecsapódik, a körfolyamat fő alkatrészei, a kondenzátor és az elpárologtató, a bennük lejátszódó folyamatok kapcsán kapták elnevezéseiket. (Beke, 2000)

A mechanikai munkát igénylő hűtőkörfolyamatot kompresszoros hűtéssel valósíthatjuk meg, a nyomáskülönbségek hőmérsékletfüggése alapján, a kompresszoros hűtés lehet egy-, két- vagy többfokozatú, expanzióhengeres és fojtószelepes. Emellett a kompresszoros hűtőberendezések lehetnek nedves, száraz, erős gőztúlhevítéses, befecskendezéses, utóhűtéses rendszerűek.

A hőenergiát használó berendezések a szorpciós hűtőberendezések. Az ilyen hűtőberendezések gőznemű hűtőközeget használnak. A hűtőkörben a hűtőközeg két komponensű, a komponensek aránya a folyamatban változó. (Beke, 2009)

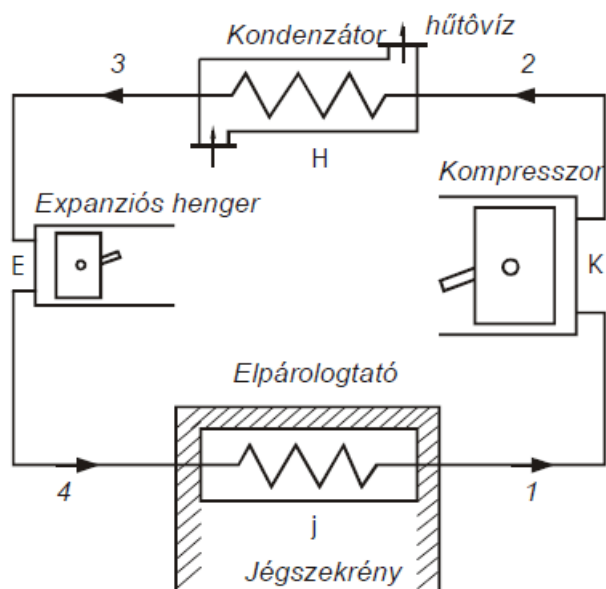
Villamosenergiát használó berendezéseknél fontos megemlíteni, hogy a közvetlen használatra utalunk és nem tévesztendő össze a villamos energiát közvetlenül használó villanykompresszoros hűtőkkel, melyek közvetlenül mechanikai energiát használnak. A közvetlen villamosenergiát felhasználó hűtőberendezéseket termoelektromos hűtőknek nevezzük.

A hűtésnek számos módja lehet, mi most a jelen rendszerünkben is fellelhető kompresszoros hűtőkörfolyamatokat fogjuk hosszabban tárgyalni. (Beke, 2009)

1.3.2. A kompresszoros hűtőkörfolyamatok

A hűtőkörfolyamatok ismertetése a teljesség igénye nélkül történt, a különböző kompresszoros hűtési módszerek ismertetésre kerülnek, mivel így az elméleti körfolyamatokat ismerve a következő fejezetekben könnyebben megérthetjük a gépek működését. A kompresszoros folyamatok alkotóelemei szerint sokfélék lehetnek, de a kondenzátor, elpárolgató, kompresszor a korábban tárgyalt közvetett hűtési folyamat miatt mindig szükséges a rendszerbe. A legegyszerűbben a kompresszoros hűtőkörfolyamatot egy expanziós hengerrel képzelhetünk el. Az expanzióhengeres hűtőkörfolyamatot a 6. ábra szemlélteti. Fontos megjegyezni, hogy a körfolyamat zárt rendszerben működik és energiaigényes, ahogy az előző fejezetekben tárgyaltuk. A folyamat az elpárolgatótól indul, ahol a folyadék halmazállapotú hűtőközeg felveszi a hűtendő közeg hőjét, ezáltal gőz halmazállapotú lesz, párolog. Ezután a kompresszorba kerül, ahol a még mindig gőz halmazállapotú közeget besűrítjük, megtörténik a kompresszió folyamata, a közeg nyomása megnő. Majd a lecsapatóba (kondenzátor) kerül, ahol a gőz lecsapódik nagy nyomáson, közben a hőjét a környezetnek leadja. A kondenzáció során folyadék halmazállapotba kerül a hűtőközeg. Az expanziós hengert a kompresszor ellentétékeként is felfoghatjuk, mivel a közeg nyomását csökkenti, a közeg forráspontja és fizikai jellemzői miatt alkalmas a hő újbóli felvételére. Megtörténik a hőáram a hűtőkamrából a környezeti levegőbe. (Beke, 2000)

5. ábra - Az expanzióhengeres hűtési körfolyamat (Forrás: Szabó, Péter Szabó, 2001)



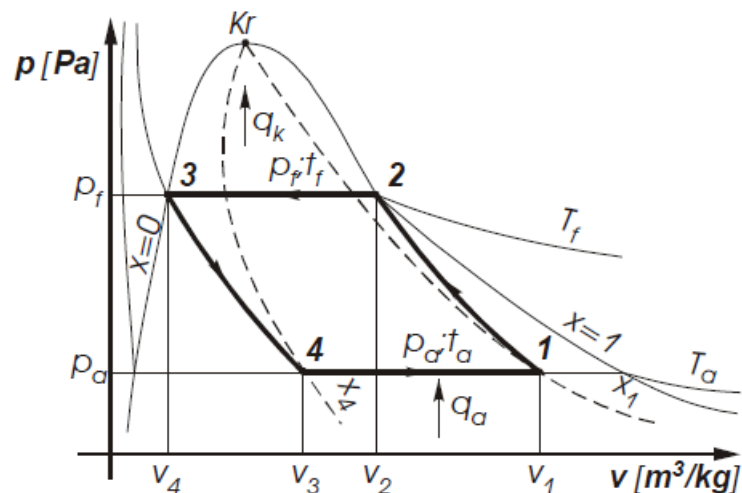
A folyamatot termodinamikai jellemzőkkel a következőképp írhatjuk le: az elpárolgatótól indulva izoterm hőfelvétel történik. Az alacsony nyomású és hőmérsékletű hűtőközeg folyadék halmazállapotból nedves gőz halmazállapotba kerül, párolog. A párolgáshoz szükséges hőt a

hűtőkamrából veszi fel. Emiatt a hőmérséklete nem változik. Ez az izoterm hőfelvétel. Majd a kompresszorban adiabatikus kompresszió történik, nyomásnövekedéssel jár, a közeg hőmérséklete növekszik, hogy le tudjon csapódni ismét állandó hőmérsékleten, izoterm módon a kondenzátorban. A kondenzáció által hőleadás történik a környezeti levegőnek. Az expanziós hengerben adiabatikus vagy izoentalpikus expanzió történik, melynek hatására a nyomás és a hőmérséklet csökken, a szükséges alacsony hőfokszintre kerül. (Beke, 2000)

A következőkben a hűtőközeg állapotváltozásait p-V és T-s diagrammokkal szemléltetjük, a körfolyamat bizonyos állomásain a hűtőközeg fizikai jellemzőit is megismerjük.

A hűtőközeg állapotváltozásait először a 6. ábra p-V diagramja, a 7. ábra szerint vizsgáljuk, az 1-es ponttól, a kompresszortól. Fontos megemlíteni, hogy a körfolyamatban az alsó és felső nyomás és hőmérsékletszintek megegyeznek a körfolyamat bizonyos pontjaiban, ahogy a diagramban szerepel. A kompresszor gőz halmazállapotú közeget szív be, majd azt adiabatikus állapotváltozás kíséretében komprimálja. A gőz állapotjellemzői: nyomása és hőmérséklete a korábban tárgyalt „magasabb” szintre kerül. A fajlagos térfogat csökken. A közeg a kondenzátorba kerül tovább. A kondenzátorba száraz telített gőz lép be ($x_2=1$) és teljes mértékben lecsapódik, tehát az x_3 értékére, 0-ra csökken. Telített folyadék képződik a száraz telített gőzből. A közeg Q_k hőt ad le a környezeti levegőnek. Majd a telített folyadék az expanziós hengerbe kerül, ahol adiabatikus expanzió kíséretében megnő a fajlagos térfogat, a

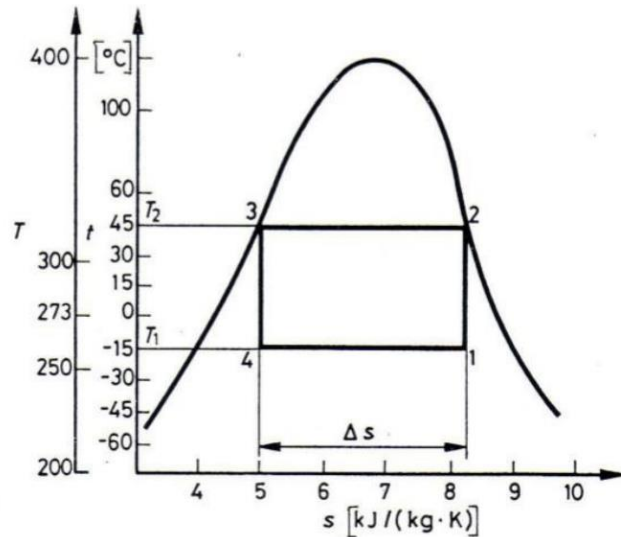
6. ábra - Az expanziós hűtőkörfolyamat p-V diagramja (Forrás: Beke,



nyomás és a hőmérséklet az alacsonyabb értékekre kerülnek. Itt a hűtőközeg már nedves gőz állapotú, ez kerül az elpárolgatóba, ahol száraz telített gőzzé párolog. A hűtőkamrából Q_0 hőt vesz fel. A folyamat megismételhetőségét a kompresszorban realizálódó befektetett mechanikai munka adja. (Beke, 2000)

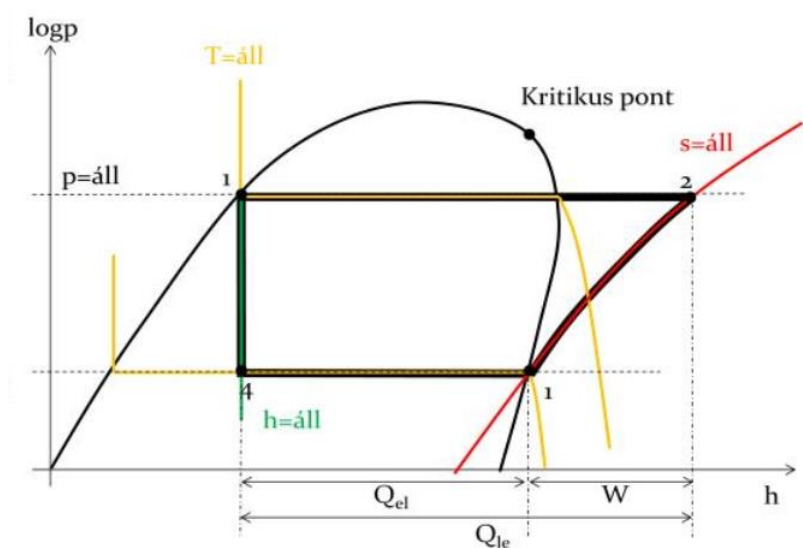
A T-s diagramban az 1-es és 2-es és a 3-as és 4-es entrópiapárok megegyeznek, a kompresszió és expanzió bekövetkezésekor az adiabatikus állapotváltozás miatt az entrópiák állandóak maradnak. (8. ábra) A hőfelvétel és leadás az állandó hőmérséklet vonalakon történik, ezek az elpárologtatóban és a kondenzátorban lejátszódó izotermikus folyamatok. A hőmennyiségek különbsége adja a folyamat fenntartásához szükséges munka hőegyenértékét.

8. ábra - Az expanzióhengeres hűtőkörfolyamat T-s diagramja (Forrás: http4)



Vizsgáljuk meg a nyomáslogaritmus entalpia diagramját is az expanzióhengeres (elemi) hűtés vonatkozásában. Az 1-es és 2-es pontot összekötő állandó entrópia vonalon az adiabatikus kompressziót jellemzi. (9. ábra) A logaritmikus nyomás- entalpia diagram alkalmas az entalpia függvény sarokpontjai entalpiájának meghatározásához.

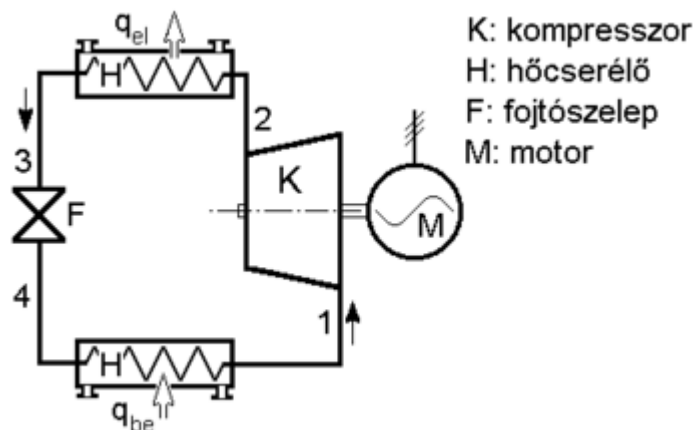
9. ábra - Az expanzióhengeres hűtőkörfolyamat log p-h diagramja (Forrás: http5)



Ez a mechanikai munkát igénylő hűtés legegyszerűbb példája. A folyamat pusztán elméleti, a gyakorlatban ilyen változatban nem használjuk. Az expanzióhengeres hűtőkörfolyamat megegyezik az ellentétes irányú Carnot körfolyamattal.

A gyakorlatban inkább az expanzióhenger helyett fojtószelepet használnak, mely a gőz hőmérsékletét és nyomását ugyanúgy lecsökkenti, ám nem eredményez munkát. (10. ábra) A fojtószelepen áthaladva a nedves gőz hőmérséklete és nyomása lecsökken az alacsonyabb hőfok szintjére.

10. ábra - A fojtószelepes hűtőkörfolyamat sémája (Forrás: [http6](http://6))



Ha megvizsgáljuk a folyamat T-s és log p-h diagramjait, láthatjuk, hogy az expanzióhengeres folyamathoz képest a munka megnő, ($\epsilon_{\text{exp.}} > \epsilon_{\text{fojt.}}$) a Q_0 pedig kisebb, tehát veszteséges a folyamat. Az entalpiakülönbségekből adódó számítás mutatja a fojtás okozta veszteséget az 1-es egyenlet szerint.

$$Q_{0\text{fojt.}} = h_1 - h_{4\text{fojt.}} < Q_{0\text{exp.}} = h_1 - h_{4\text{exp.}} \quad (1)$$

ahol:	$Q_{0\text{fojt.}}$: fojtásos hűtőteljesítmény	[J]
	h_1 : belépő entalpia az elpárologtatóba	[J]
	$h_{4\text{fojt.}}$: fojtásos kilépő entalpia	[J]
	$Q_{0\text{exp.}}$: expanzióhengeres hűtőteljesítmény	[J]
	$h_{4\text{exp.}}$: expanzióhengeres kilépő entalpia	[J]

Az entalpiacsökkenés a log p-h diagramon is látható. A fojtószelep alkalmazásával a fajlagos elvihető hűtőteljesítmény kisebb lesz, a befektetendő munka pedig nő. (Beke, 2009)

Ennek ellenére a legáltalánosabb hűtési körfolyamat a fojtószelepes kompressziós hűtőkörfolyamat. A szerkezet olcsóbb, egyszerűbb, mint társai. A következő fejezetben megvizsgáljuk, hogy miként javíthatjuk a szerkezet teljesítményét.

1.3.3. A fajlagos hűtőtéljesítmény növelése

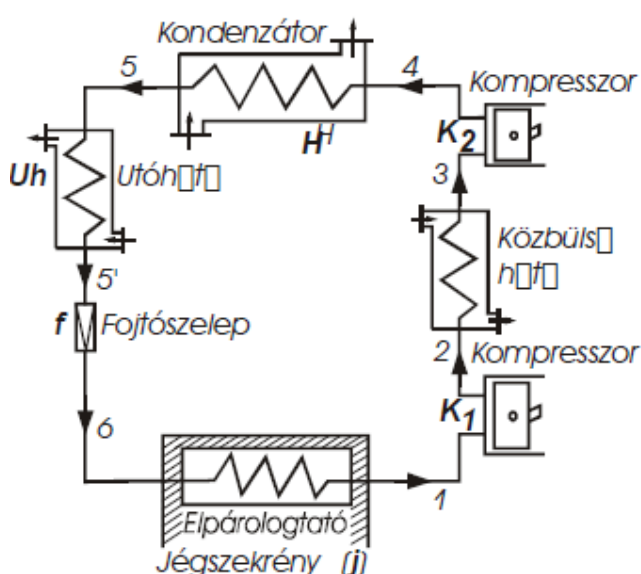
A kompresszoros hűtőberendezések lehetnek nedves, száraz, erős gőztúlhevítéses, befecskendezéses, utóhűtéses rendszerűek. Ezek mind a hűtőtéljesítmény növelésére szolgálnak, mivel az expanzióhengeres hűtés ideális folyamat, így attól való eltérésünket szeretnénk mérsékelni. Fontos megemlíteni, hogy a hűtőtéljesítmény növelésére hivatott berendezések, alkatrészek jelen estében mindig az alapul vett fojtószelepes kompressziós hűtőkörbe fognak beépülni.

Fontos meghatározandó mennyiségek az elpárolgási és a lecsapódási hőmérsékletek. Ezeket a hűtőközeg és a hűtendő közeg szerint választjuk.

A hűtőkörben a kondenzációs hőmérsékletet a környezeti levegő hőmérséklete fölé szükséges emelnünk, hogy a kondenzáció során történő hőleadás természetes módon a megfelelő teljesítménnyel történjen meg. Miután a közeg leadta a szükséges hőmennyiséget, lehetőségünk van ún. utóhűtéssel hűteni elméletileg állandó nyomáson. Az utóhűtés azért hasznos, mivel az elpárologtatóba való belépéskor a hűtőközeg alacsonyabb hőmérsékletű lesz, ezáltal növekszik a hűtési teljesítmény. (11. ábra)

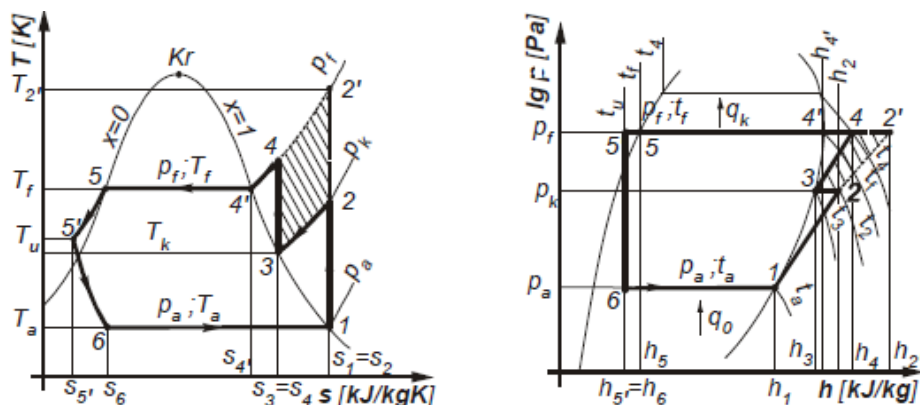
A túlhevítés folyamatában két kompresszort alkalmazunk a kettő között egy kondenzátorral. A kondenzátor miatt magasabb nyomásra vagyunk képesek komprimálni a levegőt. Ezt nevezzük többfokozatú kompresszióval.

11. ábra – A fojtószelepes hűtőkörfolyamat túlhevítéssel, utóhűtéssel és többfokozatú kompresszióval (Forrás: <http7>)



A többfokozatú kompresszió alkalmazása nagy nyomásviszonynál a kompressziómunka csökkentése érdekében történik. A következő T-s és log p-h diagramokon láthatjuk a termodinamikai jellemzők viszonyait. (12. ábra) A sraffozott terület a többfokozatú kompresszió által megspórolt munkát jelzi. (Beke, 2009)

12. ábra – A fojtószelepes hűtőkörfolyamat túlhevítéssel, utóhűtéssel, többfokozatú kompresszióval T-s és log p-h diagramja (Forrás: Beke, 2009)



1.3.4. COP érték meghatározása

Fontos kitérni a hűtőgépek hatásfokának mérésére, mérőszámaira is. A COP (Coefficient of performance) érték, más néven hatékonysági fok a hőszivattyúknál, klímáknál elterjedt viszonyszám, mely az eszköz hatékonyságát hivatott megmutatni. Fűtésnél a COP számítása a következőképp zajlik: a hőszivattyú által termelt, tehát szállított hőmennyiséget el kell osztani a felvett villamos teljesítménnyel. Hűtésnél a szállított hőt ($Q_{szállított}$), jelen esetben a rendszerből a környezet felé szállított hőmennyiséget kell elosztani a fogyasztott energiával ($P_{felvett}$), ahogy ezt a 2-es egyenlet is szemlélteti. (Borgnakke, Sonntag, 2013)

$$COP = \frac{Q_{szállított}}{P_{felvett}} \quad (2)$$

ahol: COP: hűtő hatékonysági fok [-]
 $Q_{szállított}$: a hűtő által másodpercenként elszállított hő [J/s]; [W]
 $P_{felvett}$: a hűtő által felvett villamos teljesítmény [W]

1.3.5. Hőátadás és szállított hő

Ahogy azt az előző bekezdésben tárgyaltuk, a COP érték kiszámításához meg kell határoznunk a szállított hő mennyiségét, ehhez az alábbi összefüggést fogjuk használni. Fontos kitérni arra, hogy a mérések és az értékelés során a hűtőtér hűlésére vonatkoztatva kell vizsgálnunk a COP értékeket. Ez jellemzi legjobban a hűtőt. A hűtőtér és a víz/vad közötti hőátadásra külön számítás során nem tértem ki. A hűtő jellemzéséhez elég a levegő hűtését vizsgálni. A hűtőkör által szállított hő számítását a 3-as egyenlet mutatja. (Baranyi, 1992)

$$Q_{\text{szállított (levegő)}} = c_{\text{levegő}} \cdot m_{\text{levegő}} \cdot \Delta T_{\text{levegő}} \quad (3)$$

ahol:	$Q_{\text{szállított (levegő)}}$:	hűtő által szállított hő a hűtőtér levegőjére vonatkoztatva	[J]
	$c_{\text{levegő}}$:	levegő fajhője	$\left[\frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$
	$m_{\text{levegő}}$:	levegő tömege	[kg]
	$\Delta T_{\text{levegő}}$:	hőmérséklet különbség	[J]

1.3.6. Időállandó számítása

A görbék összegzésénél szükségünk lesz időállandót is számítani a hűlési idő és a hűtő hűtési teljesítményének pontosabb leírásához. Ehhez a következő összefüggéseket használtam:

Newton-féle hőleadási törvényt a 4-es egyenlet mutatja. (Mihejev, 1990)

$$T(t) - T_k = (T(0) - T_k) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

ahol:	$T(t)$:	hőmérséklet az idő függvényében	[°C]
	$T(0)$:	a kezdeti hőmérséklet	[°C]
	T_k :	a közeg hőmérséklete	[°C]
	τ :	az időállandó	[s]

Az időállandót pedig az 5-ös egyenlet szerint számítjuk. (Mihejev, 1990)

$$\tau = \frac{c \cdot m}{\alpha \cdot A} \quad (5)$$

ahol:	τ :	az időállandó	[s]
	α :	hőátadási tényező	$\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$
	A:	a test felülete	[°C]
	c:	a közeg fajhője	$\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$
	m:	a közeg tömege	[kg]

A hűlési görbe matematikailag a 6-os egyenlet szerint alakul. (Mihejev, 1990)

$$T(t) = T_k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

ahol:	T(t):	hőmérséklet az idő függvényében	[°C]
	T _k :	a közeg hőmérséklete	[°C]
	τ :	az időállandó	[s]

1.4. Hűtési módok

1.4.1. Etil-éter hűtő

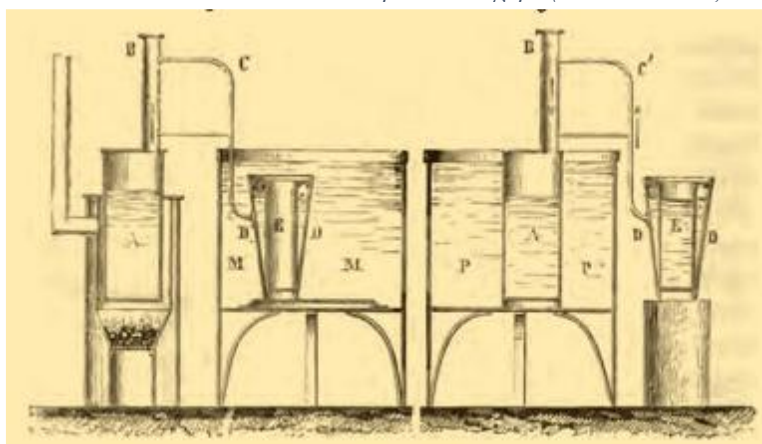
A 16. századig természetes jeget használtak hűtőközegnek. Az első mesterséges hűtési módot William Cullen skót professzor találta föl 1755-ben. A módszer elég egyszerű volt. Egy pumpával parciális vákuumot hozott létre egy dietil-éterrel töltött edényben. A nyomás csökkenésével az alacsony forráspontú folyadék forni kezdett, így hőt vont el környezetétől, ezáltal hűtve azt. Cullen kísérletének alapja a forráspont nyomásfüggése, melyet egy egyszerű kísérlettel mi is megtapasztalhatunk. Egy fecskendőbe engedjük 40°C körüli melegvizet, majd csökkentjük a nyomást a fecskendő végének befogásával és a dugattyú kihúzásával. A víz forni fog és hőt elvonni a környezetéből. A kompressziós hűtés csírájának ez a kísérlet tekinthető. (Arora, 2012)

1.4.2. Abszorpciós hűtő

Az abszorpciós hűtőberendezés is hőszivattyúval működik. A hűtőközeget mechanikai, villamos vagy hőenergia bevitelével szállítja magasabb energiaszintről alacsonyabb energiaszintre. Hatásfoka a kompresszoros hűtőgépnél lényegesen rosszabb, előnye, hogy a működése szerint nem támaszkodik teljes mértékben a mechanikai vagy villamos energiára, üzemeltethető csak hőenergiáról is. (Beke, 2000)

Ferdinand Carré abszorpciós hűtőgépét 1856-ban építette meg dietil-éter hűtőközeggel. A gépet számos kritika érte, mivel a hűtőközeggént alkalmazott anyag tűzveszélyes volt. A hűtőgépet a 13. ábra szemlélteti. 1859-ben megépítette az első ammónia-víz hűtőközeggént alkalmazó abszorpciós hűtőgépét. A Carré abszorpciós körfolyamatot kihasználó hűtő nagy fejlesztést jelentett a dietil-éteres társához képest. Az ammónia hűtőközeggént stabilabb, ám a dietil-éter 34°C-ához képes magasabb forráspontú. (44°C) A vízdoldhatósága sem volt utolsó szempont.

13. ábra – Ferdinand Carré abszorpciós hűtőgépe (Forrás: Jamin, 1848)



Carré gépét a 13. ábra szemlélteti. A gép két hermetikusan zárt edényből állt, melyek csövekkel voltak összekötve a képen. Az „A”-val jelzett hengerben vízben oldott ammóniagáz volt, melyet melegítettek. A kisebbik henger, melyet „E”-vel jelöltek vízzel volt körülveve. Melegítés hatására az ammónia kioldódott a vízből, az összekötő csövön keresztül a kis hengerbe jutott, ahol az alacsonyabb hőmérséklet hatására lecsapódott. Ezután a nagy hengert vízbe mártották, (13. ábra jobb oldala) mely hatására a kis hengerben levő folyékony ammónia párologni kezdett, hőabszorpció történt, a maradék víz megfagyott és az „A” hengernek megfelelő jégtömböt kaptunk. (Jamin, 1878)

A gépnek számos előnye volt. Jeget tudtak gyártani kevés szén égetésével (az „A” tartály alatti kazánban égették a szenet)

Az elv valódi haszna 1922-ben, tömeggyártása 1926-ban kezdődött Svédországban. A módszer előnyei a mozgó alkatrészek hiánya és az alacsonyabb árak képviselte.

1.4.3. Adiabtikus hűtő

A dolgozat elején a hűtéstörténet fejezetben az élelmiszerek tartósítása céljából történő hűtést taglaltam, az adiabtikus hűtés ám az építészetben sokkalta gyakrabban előfordul. Számos épületben használták ki a termodinamikát.

Az adiabtikus hűtési eljárás már az ókorban megjelent. Bár ekkor empirikus módon használták és az elvet részletesen nem ismerték. Vízrel töltött agyagedényekkel hűtötték a lakóépületeket.

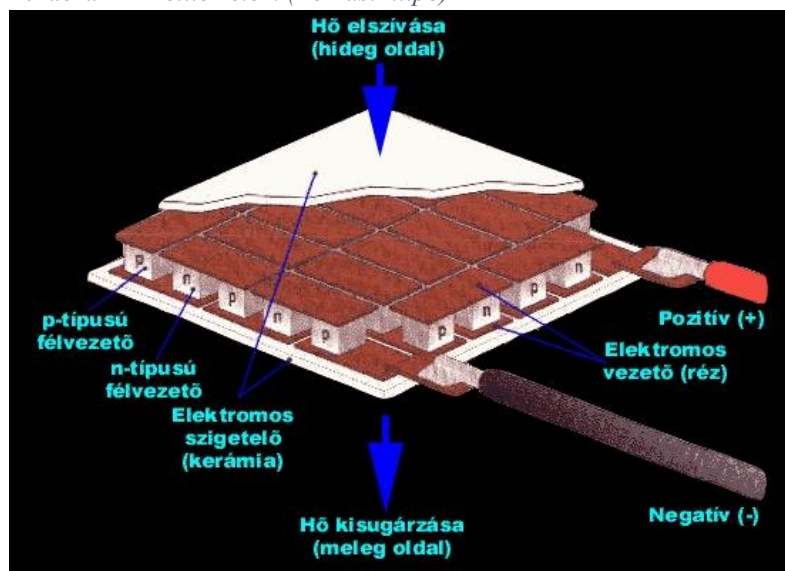
A hűtési eljárás lényege a víz fázisváltásához történő hőáramlás a környezettől. A víz párolgása során hőt von el a környezettől, ezáltal a levegő hőmérséklete csökken. A folyamat adiabtikus, mivel a rendszerben nincs hőcsere a külső környezettel, pusztán a rendszer hőeloszlása fog változni. Ez egy rendkívül egyszerű és elérhető módszer, ugyanakkor energiatakarékos is, azonban hatékonysága függ a rendszer páratartalmától, mivel a levegő hamar telítődik a vízzel és nem képes annyi vizet felvenni. Ámbár száraz levegőnél kiválóan működik, mivel a levegő sok vizet képes felvenni, mielőtt telítődne. A gyakorlatban általában kombinálják más hűtési módokkal. Sokszor előhűtésnek használják. (Beke, 2000)

1.4.4. Termoelektromos hűtő

A termoelektromos hűtés, mint ahogy a neve is mutatja az elektromosságot kihasználva idéz elő hőelvonást. A központi egysége a Peltier-elem. (14. ábra)

A Peltier-hatást 1834-ben figyelte meg Jean Peltier francia fizikus, aki kétféle vezetőből (p és n típusú) álló hőelektromos elembe áramot vezetett, a folyamat során az áramiránynak megfelelően az érintkezési helyek felmelegsznek vagy lehűlnek.

14. ábra – A Peltier-elem (Forrás: http8)



A hőelemnek ezáltal lesz egy hideg és egy meleg oldala. A hideg oldalt a rendszerbe tesszük, a meleg oldalt a környezet felé. A módszer előnye ismételten az egyszerűsége, hátránya az, hogy sok áramot igényel és ezáltal nagy méretben nem gazdaságos.

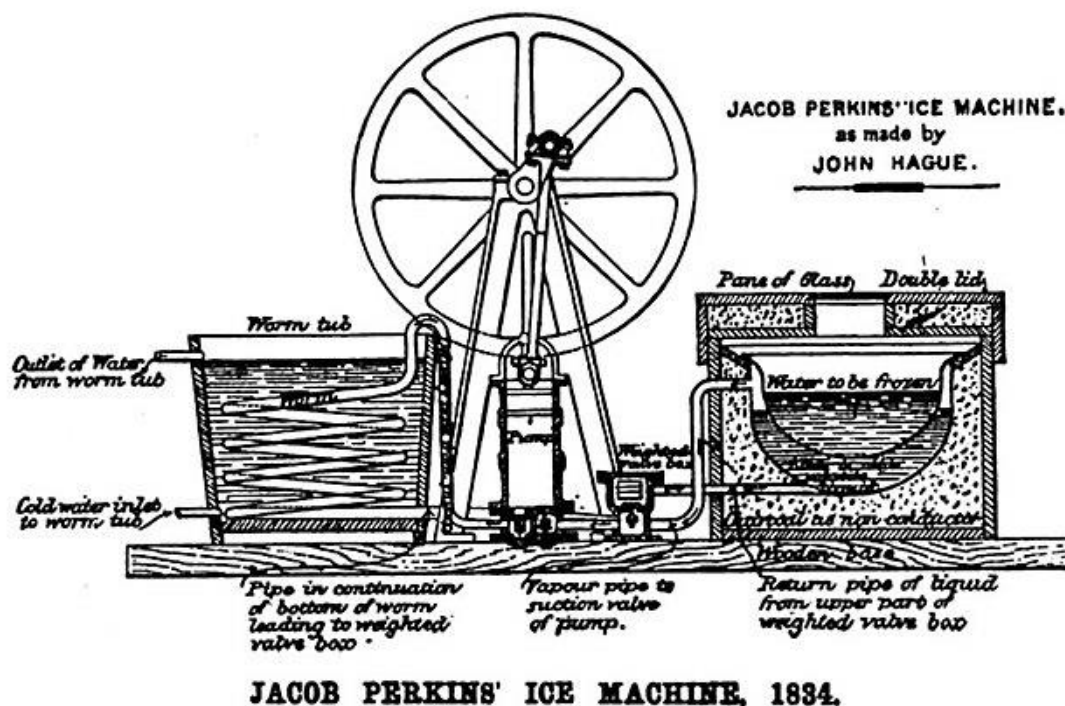
Leggyakrabban számítógépiparban pl. CPU hűtésére, vagy hordozható hűtőtáskákban használják. (Zátonyi, 2022)

1.4.5. Kompresszoros hűtő

A legelterjedtebb hűtési mód a kompresszoros hűtés. Számos helyen találkozhatunk vele, kezdve az épületgépésztől az élelmiszeriparon át számos iparában ezt a hűtési módszert használják hatékonysága miatt.

1835-ben Jacob Perkins megépítette az első működő kompresszoros hűtőgépet GB 6662/1835 szabadalomszám alatt. A gép kompresszora kézi vagy gőz üzemű volt, a gépet főként jég előállítására használták. A 15. ábrán egy gőzüzemű jéggyártó gépet láthatunk. A hűtőközeg éterhez hasonló termodinamikai jellemzőkkel bíró közeg volt. (ASME, 2020)

15. ábra - Perkins hűtőgépe John Hague kivitelezésében (Frederick Bramwel rajza) (Forrás: [http9](http://9))



A működési elve és az alap alkatrészek teljesen megegyeznek a mai kompresszoros hűtőkkel, csak a hűtőközeg és az elemek felépítése változott. Az elméleti hűtőkörfolyamat szerinti 4 alapelem: a kompresszor, kondenzátor, fojtóelem, elpárolgató elengedhetetlen elemei a hűtésnek. Perkins gépe dugattyús kompresszorral működött, melyet gőzgép működtetett. A

kompresszor növelte az éter közeg nyomását, a kompresszor után a kondenzátorba került, mely egy kádban lévő csőkígyó volt, a hőcsere megtörtént, a hűtőközeg átadta hőjét a hűtőfolyadéknak, mely víz volt. A csőben az éter lecsapódott, tehát kondenzálódott, majd a fojtóelembe került, ahol a nyomása lecsökkent, utána az elpárologtató térbe került, melyben párolgás során hőt vont el a környezetétől, mely víz volt. Ahogyan említettem, a gép csak jég előállítására szolgált. (ASME, 2020)

1876-ban Carl von Linde német gépészmérnök, a gáztechnika nagy úttörője kifejlesztette az ammónia hűtőközeges hűtőgépét, melyet széles körben alkalmaztak ipari környezetben, eleinte főként a söriparban. Ez tekinthető a kompresszoros hűtés kezdetének, itt már nem csak jéggépekről beszélünk, a hűtést ipari környezetben is széles körben használták.

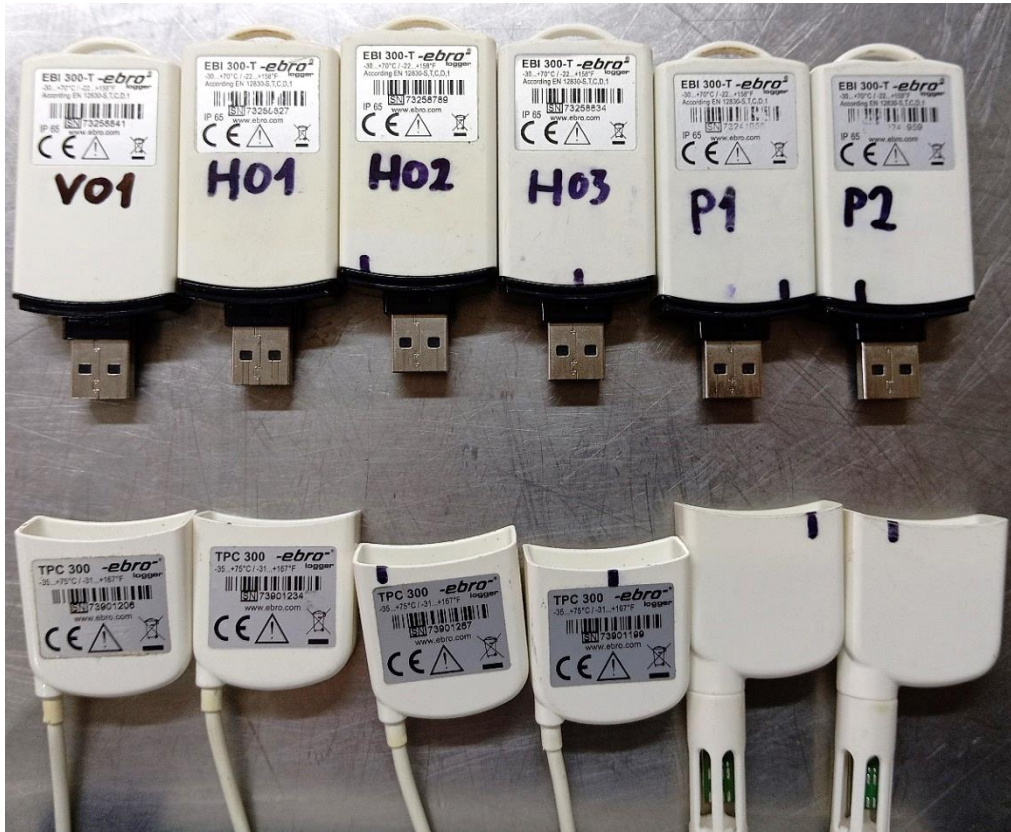
A háztartási hűtőgépek 1913-ban kezdtek elterjedni, 1928 szintén fontos dátum a freonok feltalálásával, mely a mérgező ammónia hűtőközeget váltotta, később, a nyolcvanas években a freonokat betiltották ózombontó hatásuk miatt. Ipari környezetben bizonyos esetekben a mai napig használnak ammónia hűtőközeget jó hatásfoka és kalorimetriai jellemzői miatt. Jelenleg hűtőközégként a HFC-t, HFO-t, CO₂-t és szénhidrogéneket használnak. (Nemzeti Klímavédelmi hatóság, 2020)

2. Alkalmazott módszerek

2.1. A mérőeszközök ismertetése

A mérés során 6db Ebro EBI 300-as adatgyűjtőt használtam a hőmérséklet és a páratartalom mérésére, melyeket egyedi nevekkkel láttam el.

16. ábra - A mérőeszközök (Saját forrás)



A V01-es szonda az ellenőrzésre szánt vadtest hőmérsékletének mérésére szolgált (T_{vad}), a H01-es a mérések során az 1 liter víz maghőmérsékletének mérésére volt hivatott ($T_{víz}$). A H01-es adatgyűjtőt egy 5 literes befőttesüvegben helyeztem el, melybe minden mérés előtt meleg vizet töltöttem. A H02-es a hűtőkamra belső hőmérsékletét mérte ($T_{belső}$), a H03-as a külsőt ($T_{külső}$).

17. ábra - A Voltcraft SEM500-as fogyasztásmérő (Saját forrás)



A P1-es a belső páratartalom ($\phi_{\text{belső}}$) és hőmérséklet mérésére szolgált, a P2-es jelzésű a külső páratartalmat ($\phi_{\text{belső}}$) és hőmérsékletet mérte. A P1-es és P2-es páratartalom szondával ellátott eszköz volt, a többi maghőmérővel. Emellett egy Voltcraft SEM5000-es dugaljba dugható villamos fogyasztásmérő mérte a hűtőrendszer által felvett teljesítményt. Az eszközök szériaszámait a lejjebb található 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat - A mérőeszközök és a mért mennyiségek táblázatba foglalva (Forrás: [http10](http://10))

Műszer jele	Mért mennyiség jele és mértékegysége	Műszer megnevezése	Műszer típusa	Műszer sorozatszama	Műszert gyártó cég
V01	$T_{\text{vad}} [^{\circ}\text{C}]$	Adatgyűjtő logger	EBI 300-T	73258841	Ebro
H01	$T_{\text{víz}} [^{\circ}\text{C}]$	Adatgyűjtő logger	EBI 300-T	73258827	Ebro
H02	$T_{\text{belső}} [^{\circ}\text{C}]$	Adatgyűjtő logger	EBI 300-T	73258789	Ebro
H03	$T_{\text{külső}} [^{\circ}\text{C}]$	Adatgyűjtő logger	EBI 300-T	73258834	Ebro
P1	$\phi_{\text{belső}} [\text{RH}\%]$	Adatgyűjtő logger	EBI 300-T	73241958	Ebro
P2	$\phi_{\text{külső}} [\text{RH}\%]$	Adatgyűjtő logger	EBI 300-T	73241959	Ebro
V01-TE	$T_{\text{vad}} [^{\circ}\text{C}]$	Maghőmérő szonda	TPC 300	73901206	Ebro
H01-TE	$T_{\text{víz}} [^{\circ}\text{C}]$	Maghőmérő szonda	TPC 300	73901234	Ebro
H02-TE	$T_{\text{belső}} [^{\circ}\text{C}]$	Maghőmérő szonda	TPC 300	73901267	Ebro
H03-TE	$T_{\text{külső}} [^{\circ}\text{C}]$	Maghőmérő szonda	TPC 300	73901199	Ebro
P1-TH	$\phi_{\text{belső}} [\text{RH}\%]$	Páratartalom/hőmérő szonda	EBI 300 TH	-	Ebro
P2-TH	$\phi_{\text{külső}} [\text{RH}\%]$	Páratartalom/hőmérő szonda	EBI 300 TH	-	Ebro
P_v	$P_{\text{villamos}} [\text{W}]$	Villamos fogyasztásmérő	SEM5000	0822	Voltcraft

2.2. A vadhűtőkamra ismertetése

Ahogy arra a bevezetésben is kitértem, egy épített rendszerről van szó, ahol egy ipari elpárologtató és egy lakossági LG kondenzátor, kompresszor szolgáltatja a hőcserét. A kondenzátor adatai: normális teljesítmény: 840 W, névleges hűtési teljesítmény: 9911 kJ/h, hűtőközeg: R410A. A kültéri egységet a kondenzátorral a 18. ábrán láthatjuk.

18. ábra - A hűtőkamra kültéri egysége (Saját forrás)



Maga a kamra egy Videoton gyártmányú örkonténer, mely kőzetgyapot szigetelésű szendvicspanelből készült. Méretei 280x220x250 cm, térfogata 15,4 m³. A kamra és a kültéri egység adatait a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat - A hűtőrendszer adatai (Forrás: a berendezések adattáblája)

Megnevezés	Gyártó	Típus	Gyári szám
Kondenzátor	LG Group	AS-CO96QLA0	301KA0184
Kamra	Videoton	WH-10-99	OV-763400

A konténerbe egy 50 milliméter átmérőjű korrózióálló acél cső került beépítésre az elpárolgató elé, akasztó gyanánt. Továbbá egy kis teljesítményű csörlő is bekerül a több, mint száz kilós vadtestek egyszerűbb beakasztása végett.

19. ábra - A hűtőkamra (Saját forrás)



Az ipari elpárolgatót (20. ábra) kettő kis teljesítményű ventilátorral látták el. A hűtőkör többi része egy lakossági LG klíma alkatrészeiből áll. Bekerült egy vezérlőpanel és egy hőmérséklet szonda, melynek helyzete az elpárolgató mögött van a hűtő felső részében. A hűtő hiszterézise 0 és 5°C közötti, 0°C érzékelt hőmérsékletnél kapcsol ki, 5°C elérésénél kapcsol be. A hőmérséklet szonda elhelyezésével lehet változtatni minimálisan a hűtő teljesítményén. Egy LCD kijelző mutatja a főkapcsolónál a szondán mért hőmérsékletet tizedes pontossággal.

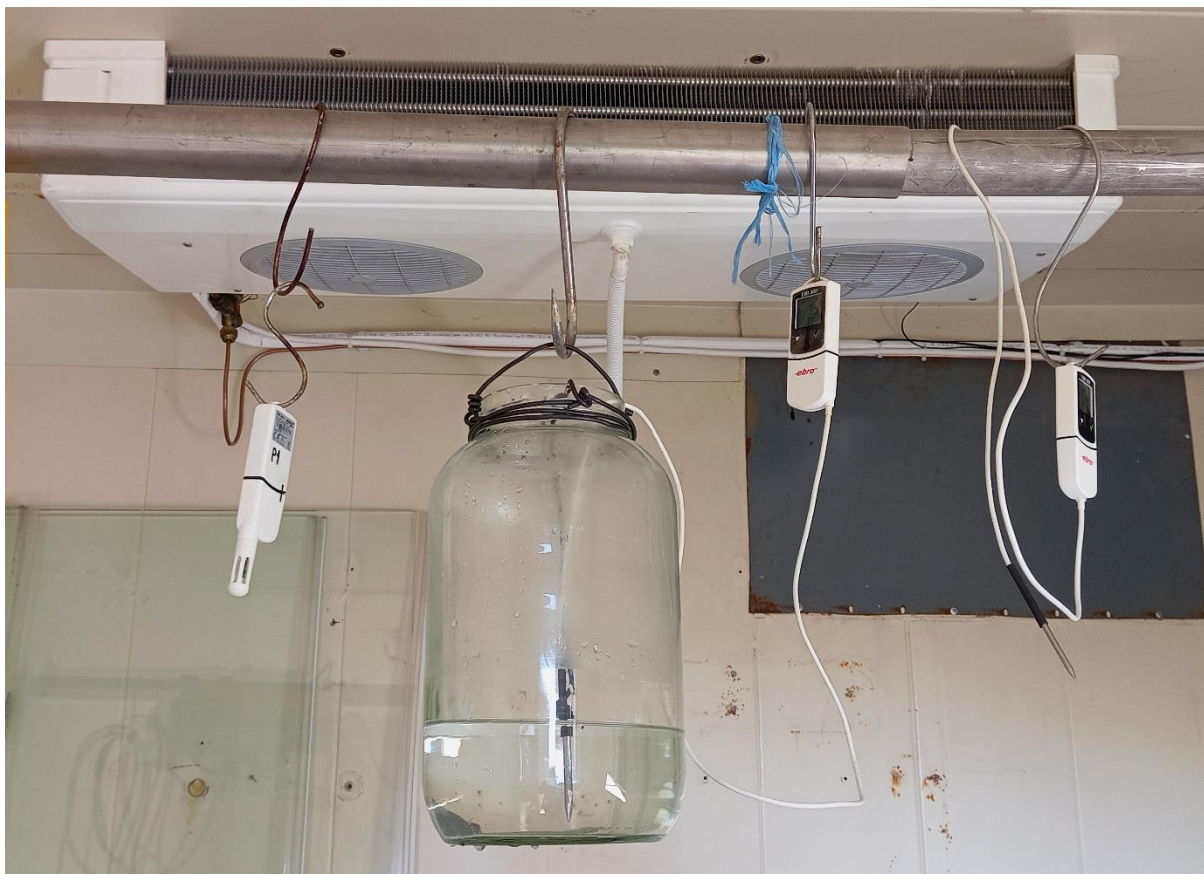
20. ábra – A hűtőtérben található elpárolgató (Saját forrás)



2.3. A mérések menete

A rendszert 3-féle mérési módban vizsgáltam: napközben, amikor a hűtő bekapcsolása az áru beakasztásával azonos időben történt (N.I., tehát Nappali Indításos mérések), este, amikor a hűtő bekapcsolása szintén az áru beakasztásával azonos időben történt (E.I., tehát Esti Indításos mérések) és napközben, már járó hűtőnél történtek a mérések (N.Ü., tehát Nappali Üzem közbeni mérések).

21. ábra - A mérőeszközök a hűtőtérben (Saját forrás)



Az első beállításban a hűtőt akkor kapcsoltam, amikor kezdtem a mérést a mérések kezdete általában délelőttre esett, erre figyeltem is, hogy nagyjából azonos időben kezdődjenek. A nagy nyári melegekben több időt kellett a mérésekre szánni, akár egy napot is, mivel a nagy meleg miatt nehezebben hűtött a rendszer. Ebben a beállításban 9 mérést végeztem.

Az esti mérések nagyjából késő délután indultak és másnap reggelig tartottak. Ez szám szerint 5 mérés volt.

A bekapcsolt hűtős mérések száma 3 mérés volt, később kifejtem az okát.

A mérések során egy 5 literes befőttesüvegbe 1 liter testmeleg, 35 - 40°C-os vizet engedtem. A hőmérséklet szondákból egy volt a vízben, egy a kamrában, egy páratartalom mérő a kamrában, egy kint, egy hőmérséklet mérő kint, ezzel párhuzamosan mértem a rendszer felvett villamos teljesítményét.

A mérések elnevezése a mérés módjából (NI, NÜ, EI) és a mérés közbeni külső átlaghőmérsékletből tevődik össze.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Nappali mérések hűtő indításkor (NI)

Az első mérésorozat nappal történt, tulajdonképpen ezen mérések voltak hivatottak meghatározni a hűtő hűtési teljesítményét a szélsőséges esetben. Ezen méréseknél számítottam a legrosszabb eredményekre, mivel a déli órákban a meleg és a hűtőre sütő napfény jelentősen rontotta a hűtést. Ezekkel mérések nem a hűtő üzemszerű hűtését szeretném modellezni, inkább a „legszűkebb keresztmetszet” meghatározása és a hűtő gyengepontjainak meghatározása volt a cél.

Tizenkettő nappali mérést végeztem, ebből kilencet válogattam ki, ahol azonosak voltak a kiindulási paraméterek. A mért eredményekből kettőt ábrázoltam a diagramban, az 1 liter víz hőmérsékletváltozását ($T_{\text{víz}}$) és a hűtőtér hőmérsékletváltozását ($T_{\text{belső}}$). A hűtőtér hőmérsékletváltozásából hőmérséklet különbségeket ($\Delta T_{\text{belső}}$) számoltam. (7-es egyenlet) A COP értékét a befektetett villamos teljesítmény (P_{vill}) és a szállított hő ($Q_{\text{száll}}$) hányadosa adta. (9-es egyenlet) Az ehhez használt képletek a következők:

A hőmérséklet különbségek számításának módszerét a 7-es egyenlet szerint számítottam.

$$\Delta T_{\text{belső}}(n) = T_n - T_{n+1} \quad (7)$$

ahol: $\Delta T_{\text{belső}}$: a hűtőtér hőmérséklet különbsége [°C]
T: a hűtőtér hőmérséklete adott időpillanatokban [°C]

A hűtőtérből elszállított hőt a 8-as egyenlet alapján számítottam.

$$Q_{\text{szállított (levegő)}} [\text{J}] = c_{\text{levegő}} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \cdot V_{\text{kamra}} [\text{m}^3] \cdot \rho_{\text{levegő}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot \Delta T_{\text{belső}} [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

ahol:	$Q_{\text{szállított (levegő)}}$:	hűtő által szállított hő a hűtőtér levegőjére vonatkoztatva	[J]
	$c_{\text{levegő}}$:	levegő fajhője (1000)	$\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$
	V_{kamra} :	a hűtőkamra térfogata	$[\text{m}^3]$
	$\rho_{\text{levegő}}$:	a levegő sűrűsége (1,2928)	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
	$\Delta T_{\text{belső}}$:	a hűtőtér hőmérséklet különbsége	$[\text{C}]$

A COP levegőre vonatkoztatva a 9-es egyenlet szerint alakul.

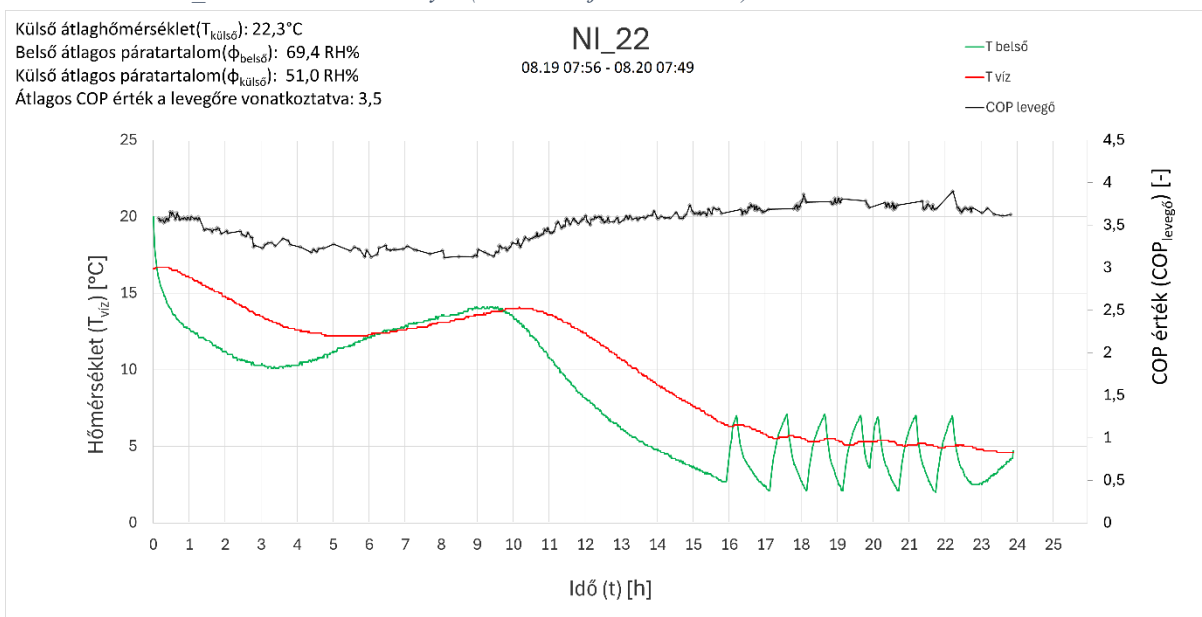
$$\text{COP}_{\text{levegőre vonatkoztatva}} [-] = \frac{Q_{\text{szállított (levegő)}}}{P_{\text{villamos}}} \quad (9)$$

ahol:	$\text{COP}_{\text{l.v.}}$:	hűtő hatékonysági fok a levegőre vonatkoztatva	[-]
	$Q_{\text{szállított}}$:	a hűtő által másodpercenként elszállított hő	[J/s]; [W]
	P_{villamos} :	a hűtő által felvett villamos teljesítmény	[W]

A COP értéket a víz és levegőhőmérséklettel együtt ábrázoltam. Emellett a mérés alatti külső hőmérséklet átlagát, átlagos páratartalmakat és COP átlagokat számszerűen jelenítettem meg. A COP érték során a negatív értékeket nem vettem figyelembe (mikor a levegő melegszik, nem hűl, $\Delta T_{\text{belső}}$ értéke negatív).

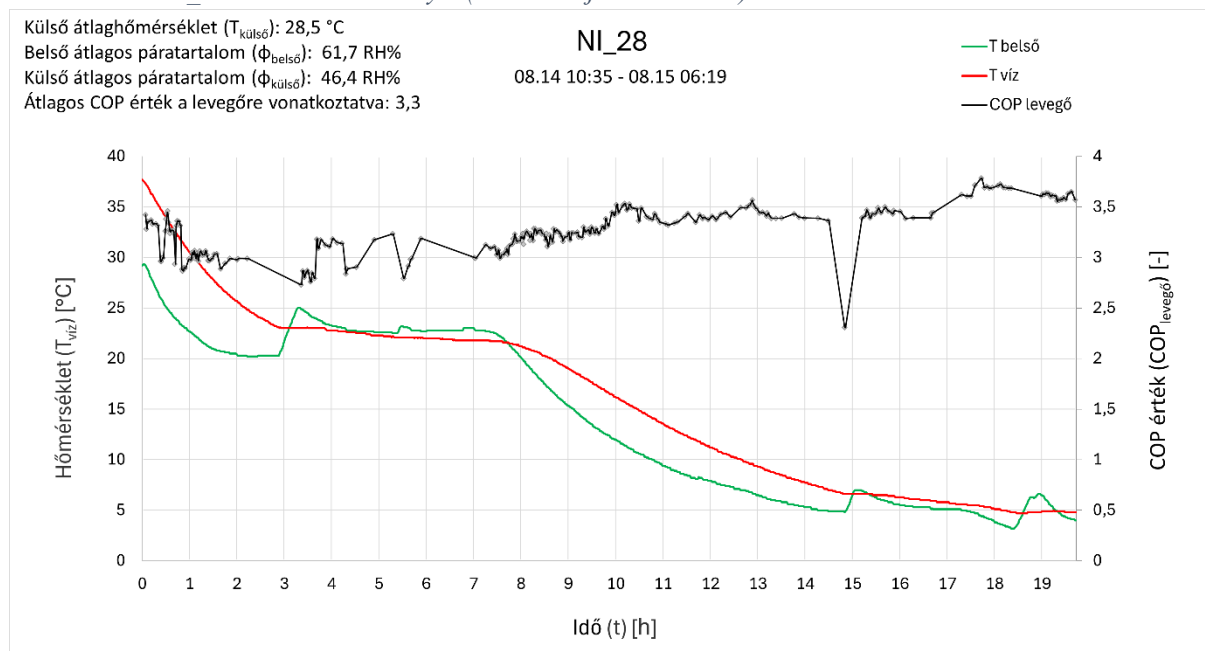
A COP átlag értéke 3,3-3,6 között mozgott, szoros összefüggésben a külső átlaghőmérséklettel, mely jelentheti a kamra nem megfelelő szigetelését is. A következő 22. ábra az NI_22-es mérés eredményeit mutatja.

22. ábra – Az NI_22-es mérés eredményei (Forrás: saját szerkesztés)



Az NI_22-es mérés eredményei közt jól láthatjuk a déli órákban történő melegedést abból, hogy a víz hőmérséklet és a külső hőmérséklet görbe nem szigorúan monoton csökkenő a hűlési szakaszban. A levegő görbe második fele jól mutatja a hűtőkompresszor BE/KI kapcsolását. A hűtő hiszterézise 0-5°C közötti, a valóságban a levegő hőmérséklete 5°C körülire áll be, kb. 2,5-7,5°C közötti a mozgás. Ez önmagában megfelelő, de ha szeretnénk közelíteni a 0-5°C tartományba, akkor a hűtő hőmérséklet szondájának áthelyezésében kell gondolkodni. A COP érték időben változása kezdetben alacsonyabb értékeket mutatott, a hűtés teljesítménye a déli

23. ábra – Az NI_28-as mérés eredményei (Forrás: saját szerkesztés)



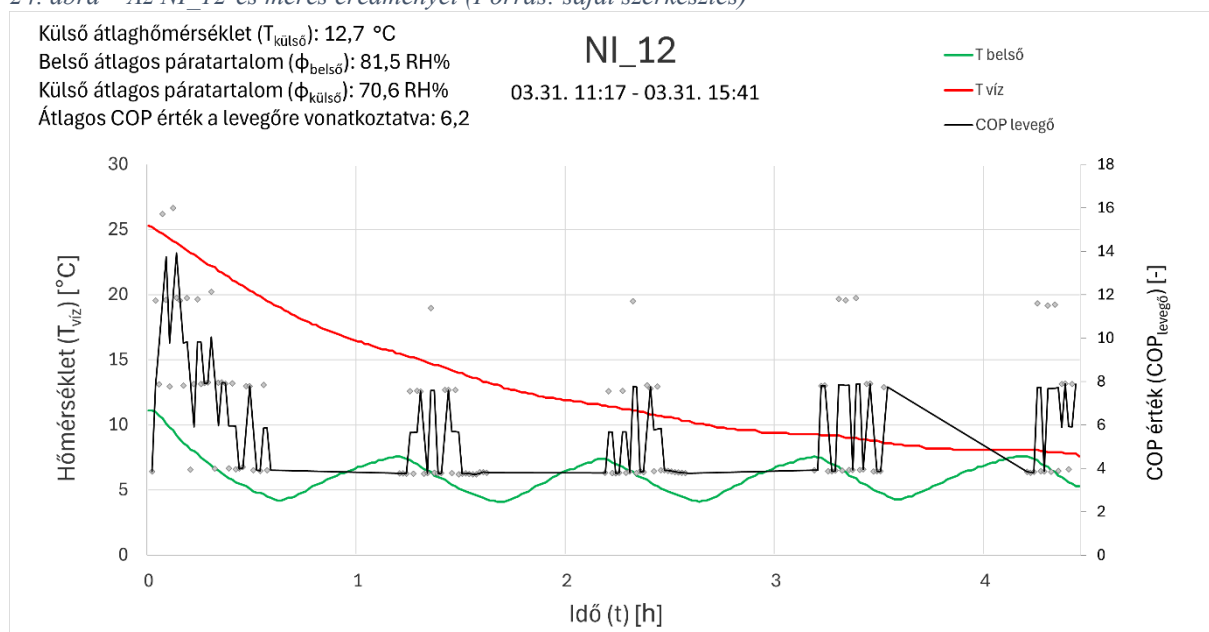
órákban volt a legkisebb, és a fűrészfog levegő görbénél a legnagyobb, mikor már a hűtő beállt az állandó hőmérséklettartományára.

A legkisebb COP átlagot az NI_28-as mérés adta, melyet a 23. ábrán láthatunk. Itt majdnem 28°C-os külső átlaghőmérsékletéről beszélhettünk. A COP átlaga 3,3 volt.

A hűtendő víz elérendő hőmérsékletét 5°C körülirek vettem, addig mértem. A mérések időtartama 24 óra volt. Ennyi idő alatt hűtötte a rendszer a melegvizet 5°C fokra. Ez elég hosszú időtartam és nem megfelelő, de vegyük figyelembe, hogy a hűtő napközbeni üzeme a vad elejtésének ideje miatt (ami általában az esti órákban történik meg) nem üzemszerű, vagy ha igen, akkor már a gyors hűtés nem lényeges, pusztán a hőmérsékleten tartás, amire abszolút képes a rendszer.

A nappali mérések zöme augusztusban történt, de kivételes eset gyanánt vizsgáljunk meg egy márciusi mérési eredményt, ahol a rendszernek 4 óra alatt sikerült teljesen lehűtenie a folyadékot. Ezt az alábbi, 24. ábrán láthatjuk.

24. ábra – Az NI_12-es mérés eredményei (Forrás: saját szerkesztés)

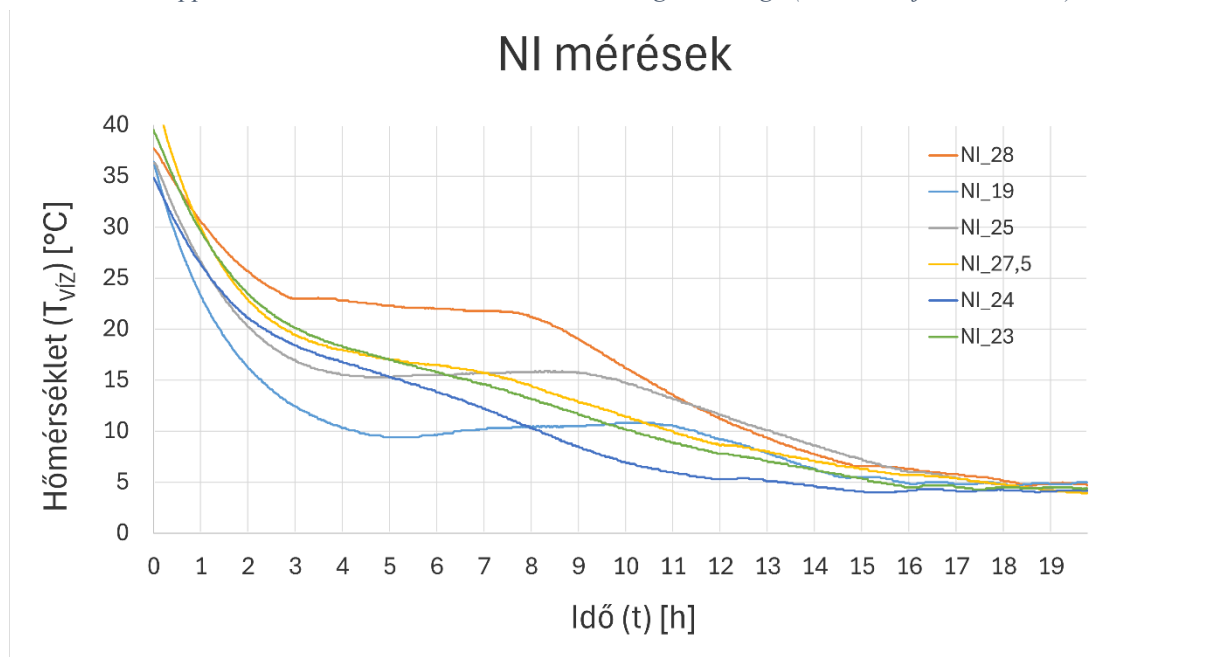


A téli és átmeneti időszakban, 13°C-os átlaghőmérséklet mellett a hűtő megfelelően működik, kiváló COP értékkel, mely 6,2 volt. A diagramon jól láthatjuk a kapcsolási helyeket, ahol a COP nem változott. Természetesen azt is számításba kell vennünk, hogy a víz 25°C-os hőmérsékletű volt kezdetben, míg a nyári-őszi méréseknél melegebb, 35-45°C-os.

A nappali mérések vízűtésének összesített görbéiből (25. ábra) jól látszik, hogy a hűtési idő 13-19 óra, tehát a hűtő 35-40°C-os vizet 13-19 óra alatt hűt le 23-28°C-os külső hőmérsékletek mellett. Ki kell emelnem az NI_28-as mérést, ahol a 28°C-os külső átlaghőmérséklet miatt a

görbe karakterisztikája más, de a 19. órára ugyanúgy eléri a kívánt 5°C-os tartományt, mint a többi görbe, de néhány óra késéssel.

25. ábra – A Nappali Indításos mérések vízhőmérsékletének görbeserege (Forrás: saját szerkesztés)



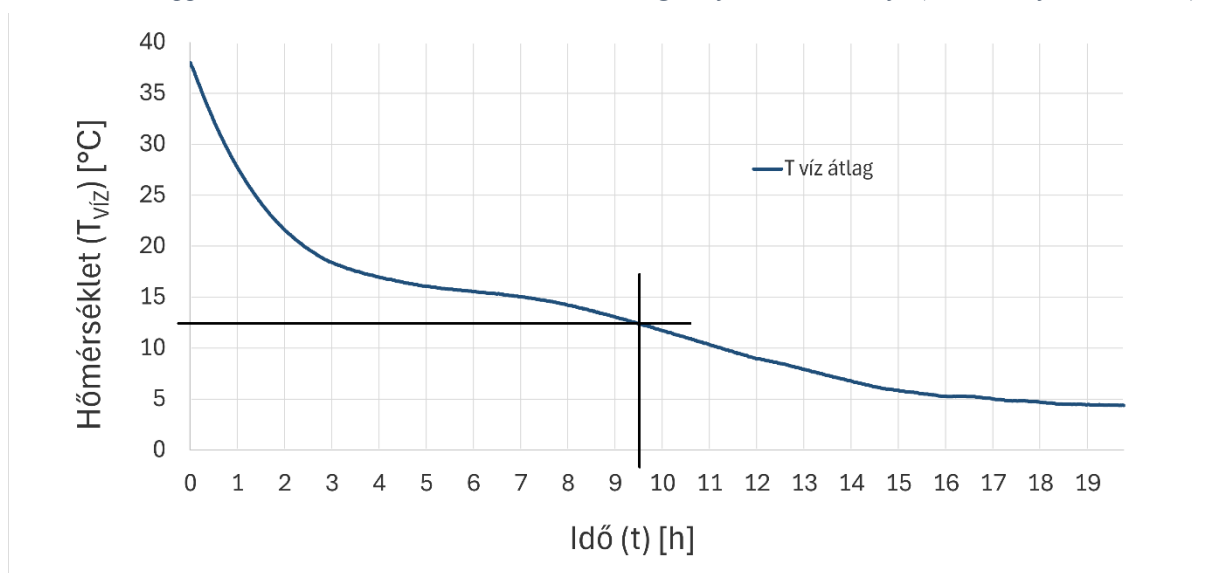
A válogatott 6 mérés eredményeit a 3. táblázat tartalmazza:

3. táblázat – A Nappali Indításos mérések táblázatban (Forrás: saját szerkesztés a mérések alapján)

Azonosító	T _{külső} [°C]	T _{MAX} [°C]	COP _{átlag} [-]	t _{5°C} elérése [h]	φ _{külső} [RH%]	φ _{belső} [RH%]
NI_19	19,8	36,4	3,6	16	59,3	72,2
NI_23	23,6	39,5	3,4	15,5	64,4	69,9
NI_24	23,5	34,8	3,4	13	63,4	68,0
NI_25	25,4	36,2	3,4	17,5	42,1	68,6
NI_27,5	27,5	43,2	3,3	17,5	46,1	66,6
NI_28	28,5	37,7	3,3	18,5	46,4	61,7

A táblázatban láthatjuk, hogy mintsem a kiindulási vízhőmérséklet (T_{MAX}), inkább a külső hőmérséklet (T_{külső}) befolyásolta az 5°C eléréséhez szükséges időt (t_{5°C} elérése) és a COP értékét (COP_{átlag}). A legjobb COP értéket a legalacsonyabb külső hőmérséklet átlagnál mérhettük. A belső páratartalmak 70 RH% körül mozogtak.

26. ábra – A nappali indításos mérések vízhűtésének burkológörbéje és időállandója (Forrás: saját szerkesztés)



A víz hűlési görbéit átlagolva egy burkológörbét kapunk, mely leírja a nappali mérések során a víz hűtését. Ezt a 26. ábrán láthatjuk. Az ábrára időállandót is felvettünk, a hűlés exponenciális karakterisztikájának megfelelően a hűlési minimum és maximum hőmérsékletek 36,9 %-ánál. A 36,9 %-os hőmérséklet 12,39°C volt, a hozzá tartozó idő pedig 9,5 óra, ezt szemlélteti a görbébe húzott vízszintes és merőleges egyenes. Az ehhez tartozó számításokat feljebb már ismertettem. Az értékeket a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat – A Nappali Indításos mérések időállandójának adatai táblázatban (Forrás: saját szerkesztés)

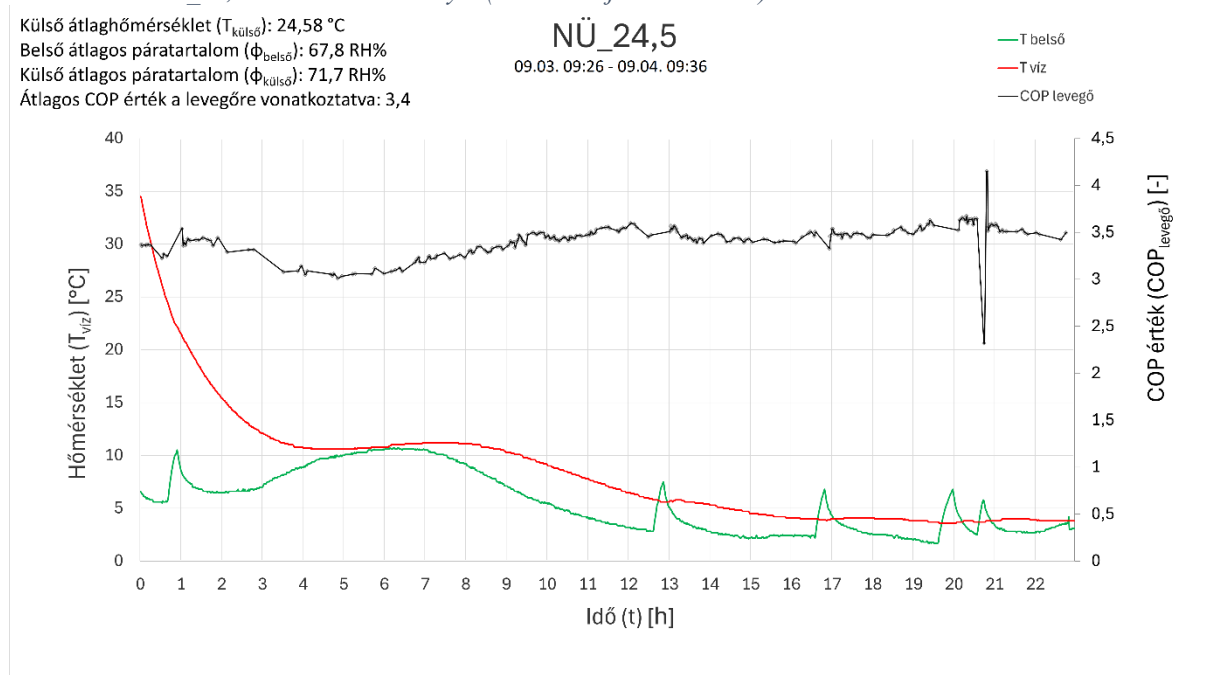
T_{MAX}	T_{MIN}	ΔT	T_{36,9%}	t_{36,9%}
37,96°C	4,38°C	33,58°C	12,39°C	9,5 h

3.2. Nappali mérések hűtő üzemelésekor (NÜ)

A második mérésorozat is nappal történt, ekkor a hűtő már üzemelt, mikor kezdtem a mérést. A mérések különbséget hivatottak tenni az indítási és az üzem közbeni használat között. Kissé konyhanyelven fogalmazva megéri-e előre járatni a hűtőt. Az előre járatás nem is volna nagy gond, ha tudnánk, hogy biztosan bekerül-e valamely áru a hűtőben, mert a használatból adódóan

nem tudjuk biztosan, hogy az adott este vagy napközben lesz-e zsákmány, sikerrel jár-e a vadász. Emiatt az előre bekapcsolás sokszor felesleges energiafogyasztást jelentene.

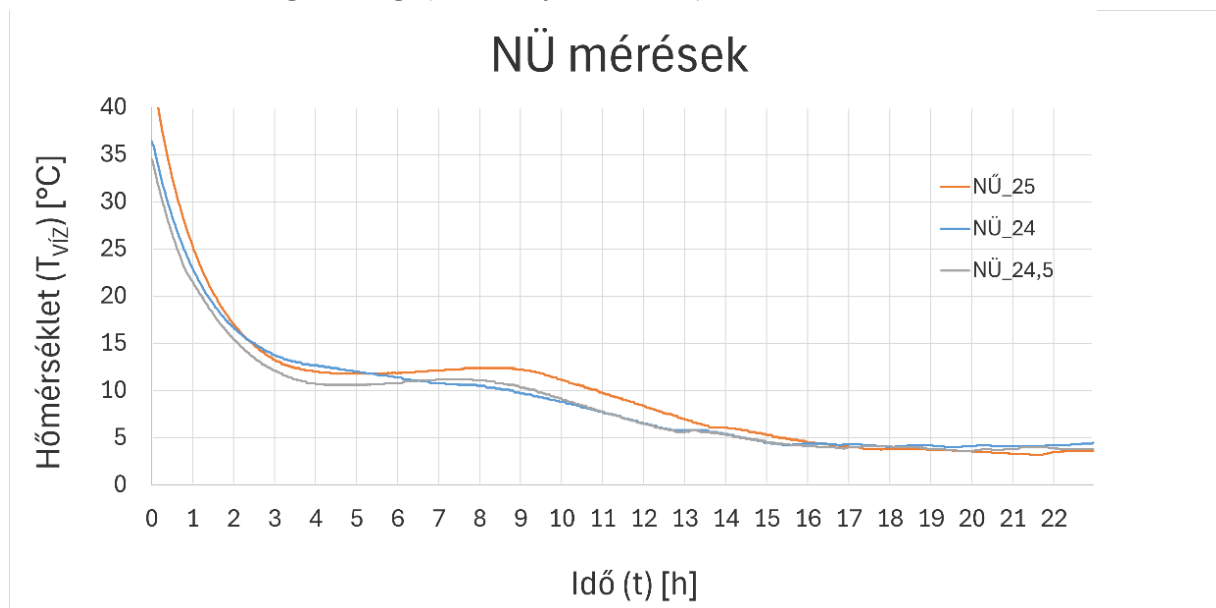
27. ábra – A NÜ_24,5-ös mérés eredményei (Forrás: saját szerkesztés)



Vizsgáljunk meg egyet a mérések közül a 27. ábrán. A mérés során sokkal nagyobb meredekségű vízhőmérséklet (T_{viz}) görbéket figyelhetünk meg, de a hűlés ideje, az 5°C eléréséhez szükséges időben nem nyertünk sokat, kb. 15 óra alatt következett be. Egy hasonló hőviszonyoknál történt Nappali Indításos mérésnél kevésbé kapunk más eredményeket. Illetve a kamra belső levegő hőmérsékleténél ($T_{\text{belső}}$) ugyanúgy látszanak a déli órák által okozott melegedések, ez természetesen kihat a vízhőmérsékletre is. A két görbe összeérése után a víz

28. ábra – A NÜ mérések görbeserege (Forrás: saját szerkesztés)

is



minimális mértékben melegedni kezdett. Ezekből következtethetünk, hogy a hűtőre sütő napfény és a déli meleg kiküszöbölésén gondolkodhatunk.

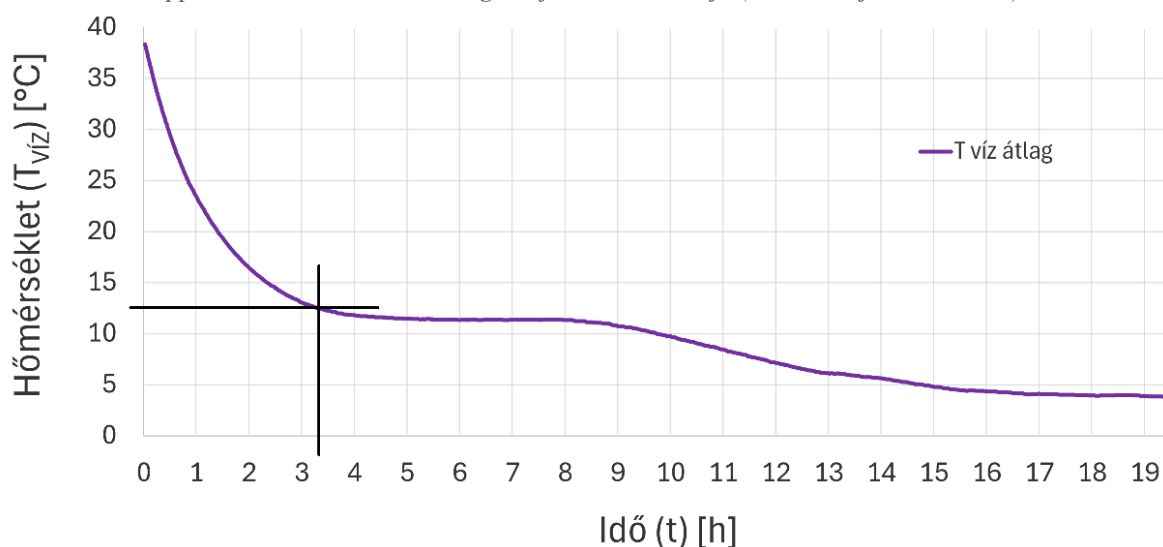
A görbeseregen a 28. ábrán láthatjuk, hogy a mérések karakterisztikája nagyon hasonló volt. Az 5. táblázatból pedig az eredmények kiértékelését vehetjük szemügyre.

5. táblázat – A Nappali Üzemi mérések eredményei táblázatban (Forrás: saját szerkesztés a mérések alapján)

Azonosító	T _{külső} [°C]	T _{MAX} [°C]	COP _{átlag} [-]	t _{5°C elérése} [h]	Φ _{külső} [RH%]	Φ _{belső} [RH%]
NÜ_24,5	24,6	34,5	3,4	14,5	71,7	67,8
NÜ_24	24,6	36,4	3,4	14,5	62,5	68,2
NÜ_25	25,8	44,1	3,4	15,5	53,6	66,8

A táblázatban látszik is hiába mások a kezdeti vízhőmérsékletek (T_{MAX}), közel azonos idő alatt hűti le őket a rendszer. Három mérés készült ebben a beállításban, mivel ez elég ahhoz, hogy igazoljuk, hogy nem érdemes üzemeltetni a hűtőt az áru hűtése előtt. A belső páratartalmak 70 RH% körül mozogtak. Az átlagolt COP értéke 3,4 volt.

29. ábra – A Nappali Üzemi mérések burkológörbéje és időállandója (Forrás: saját szerkesztés)



A 29. ábrán látható burkológörbén meghatároztuk az időállandót, ennek az adatai a 6. táblázatban olvashatóak.

6. táblázat – A Nappali üzemi mérések időállandójának adatai (Forrás: saját szerkesztés a mérések alapján)

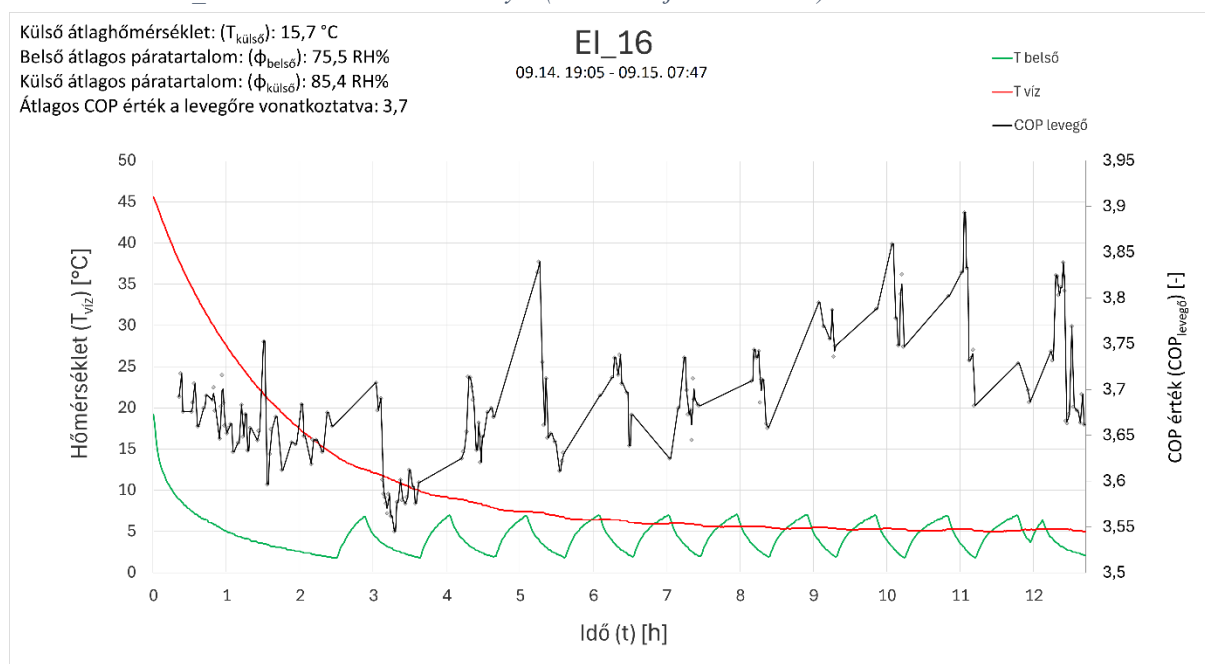
T _{MAX}	T _{MIN}	ΔT	T _{36,9%}	t _{36,9%}
38,33°C	3,76°C	34,57°C	12,75°C	3,2 h

A 6. táblázatban viszont jól látszik, hogy az időállandó értéke (t_{36,9%} vagy τ) jelentősen kevesebb, mint a Nappali Indítós méréseknél.

3.3. Esti mérések hűtő indításkor (EI)

A harmadik és egyben utolsó mérésorozat az esti órákban kezdődött, a hűtőt az áru bekerülésekor kapcsoltam be. Az esti mérések modellezik legjobban a hűtő működését. A mérések 18 óra körül kezdődtek, a cél reggelre lehűteni az árut, utána már csak a hőmérséklet tartása, mely nem okoz gondot. Az esti mérésorozatból 6 mérés készült, ebből 4-et vettem figyelembe.

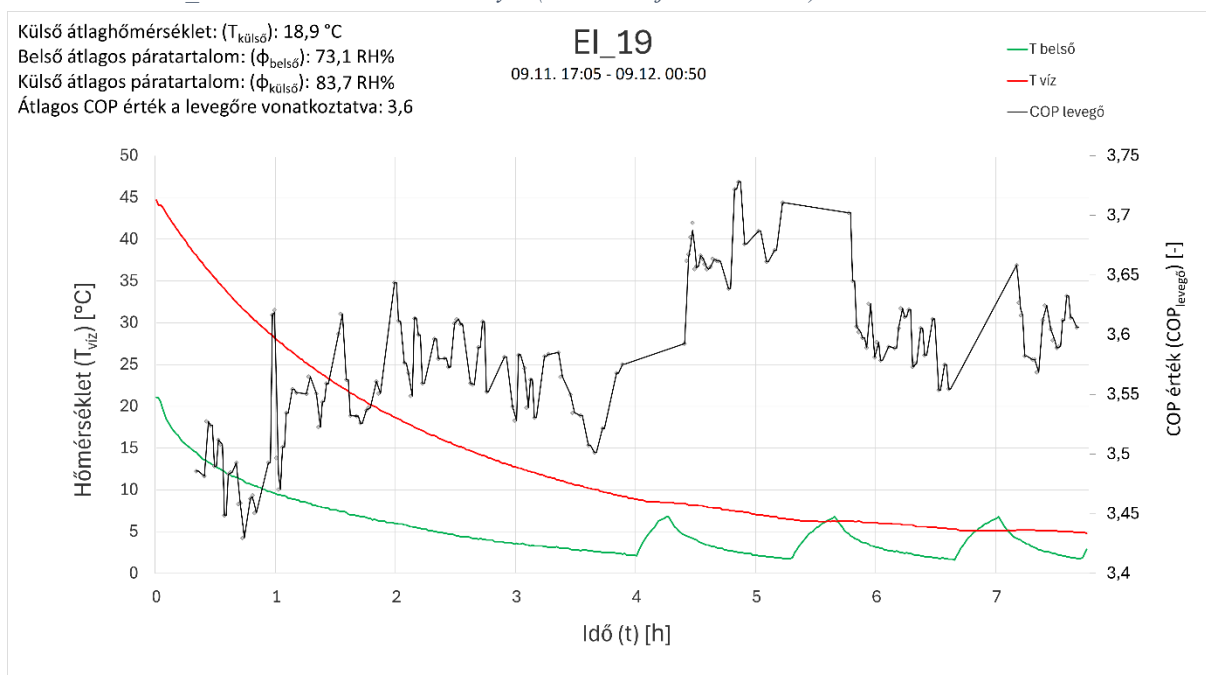
30. ábra – Az EI_16-os számú mérés eredményei (Forrás: saját szerkesztés)



Az esti mérések során a kamrára sütő napfény és a déli meleg időszak kiiktatásra került, ezáltal sokkal megfelelőbb a hűtés. Mint láthatjuk a 30. ábrán, a vízhőmérséklet (T_{viz}) függvény szigorúan monoton csökkenő az intervallumon. A $T_{\text{belső}}$ függvényen jól látszanak a kapcsolások, zavartalan és egyenletes fűrészfog karakterisztikája pedig a hűtés zavartalanságára utal. Nincsenek a külső időjárásból adódó hirtelen melegedési szakaszok. A COP értéke is nagyobb, 3,7-es. A COP függvényénél is kezdetben egy csökkenő trendet láthatunk, utána, ahogy a hűtő belső hőmérséklete beáll az 5°C-os átlagra, növekedni kezd.

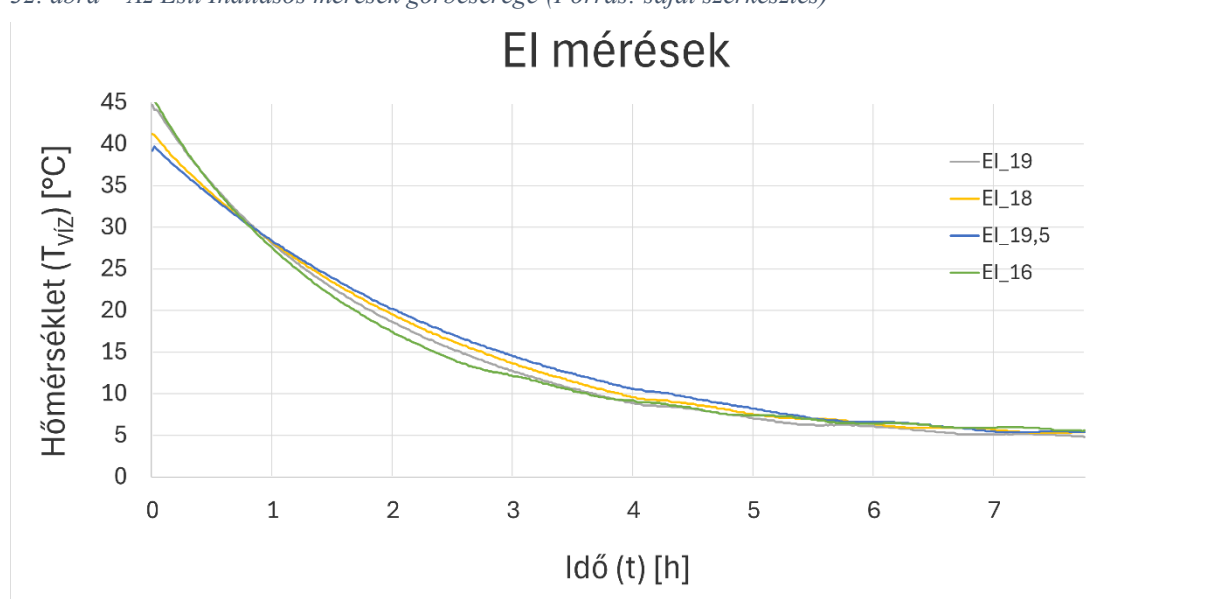
A 31. ábrán láthatjuk a legmagasabb külső átlaghőmérsékletű mérést ($T_{\text{külső}}$) az esti időszakban, melynek érdekessége, hogy a leggyorsabban ezen mérés során érte el a vízhőmérséklet a kiválasztott ideális 5°C-os tartományt, mindössze 7 óra alatt úgy, hogy a mérés 17:05-kor kezdődött.

31. ábra – Az EI_19-es számú mérés eredményei (Forrás: saját szerkesztés)



Az Esti Indításos mérések görbeseregét a 32. ábrán láthatjuk. A görbék hasonlóak, a kiindulási hőmérsékletek is, a hűtések kb. 7 óra alatt következtek be. A mérések eredményeit a 7. táblázat foglalja össze. A táblázatban láthatjuk, hogy az ideális 5°C eléréséhez szükséges idő ($t_{5^{\circ}\text{C}}$ elérése) 7-9,5 óráig terjedt. Ez azt jelenti, hogy reggelre bőségesen lehűti az egy liter vizet a megfelelő hőmérsékleti viszonyok miatt. A belső páratartalmak 70 RH% körül mozogtak, ezekben nem történt nagy változás az előző mérésekhez képest. A külső átlaghőmérséklet a mérés ideje alatt 16-20°C körül volt megfigyelhető. A hűtés teljesítményét, a COP-t ez kissé befolyásolta. A COP átlagértékek a mérés során 3,6 körül mozogtak.

32. ábra – Az Esti Indításos mérések görbeserege (Forrás: saját szerkesztés)

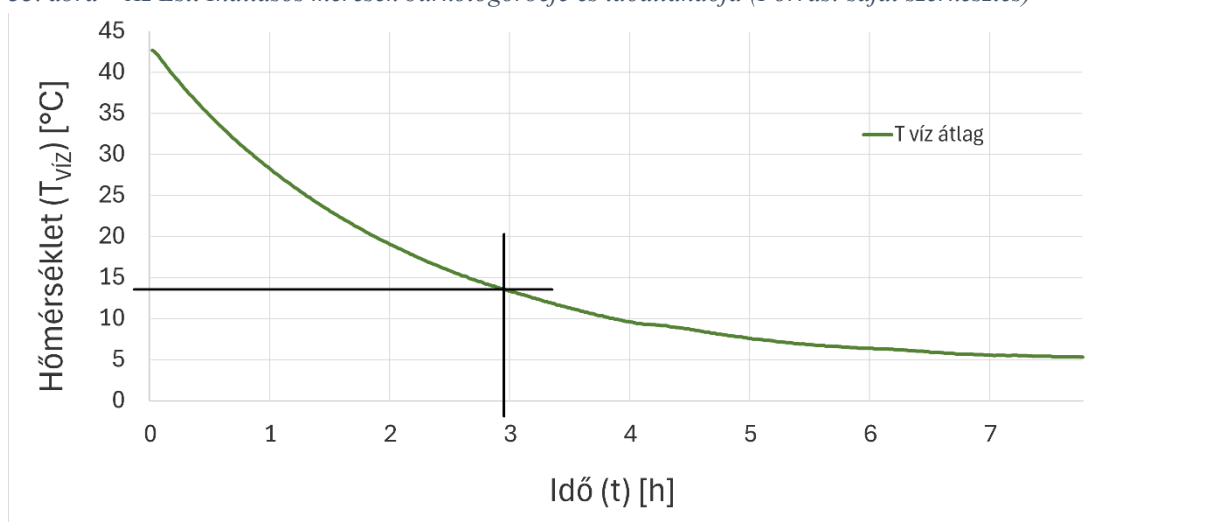


7. táblázat – Az Esti Indításos mérések eredményei (Forrás: saját szerkesztés a mérések alapján)

Azonosító	T _{külső} [°C]	T _{MAX} [°C]	COP _{átlag} [-]	t _{5°C} elérése [h]	Φ _{külső} [RH%]	Φ _{belső} [RH%]
EI_16	15,7	45,6	3,7	9,5	85,4	75,5
EI_18	18,7	41,2	3,6	7,5	70,7	70,7
EI_19	18,9	44,7	3,6	7	83,7	73,1
EI_19,5	19,4	39,2	3,6	8	80,4	70,0

A 33. ábra mutatja az esti mérések burkológörbáját és az időállandó x és y tengellyel húzott párhuzamosait.

33. ábra – Az Esti Indításos mérések burkológörbéje és időállandója (Forrás: saját szerkesztés)



A 8. táblázatban láthatjuk ezen eredmények kiértékelését részletesebben.

8. táblázat – Az Esti Indításos mérések időállandójának adatai (Forrás: saját szerkesztés a mérések alapján)

T _{MAX}	T _{MIN}	ΔT	T _{36,9%}	t _{36,9%}
42,67°C	5,3°C	37,37°C	13,79°C	2,9 h

A táblázatból kiderül, hogy maga az időállandó (t_{36,9%}), a mérések közül a legkedvezőbb. Az időállandók kiszámítása szintén igazolja azt, hogy a legüzemszerűbb mérési modell a leghasznosabb a hűtés szempontjából.

4. Következtetések és javaslatok

Fontos ismételten kitérnem a hűtő működésének céljára és az üzemeltetés körülményeire. A hűtő üzeme jellemzően az esti órákban kezdődik, mivel egy esti vagy éjszakai vadászat során elejtett vad feldolgozását szeretnénk késleltetni a következő napig. Tehát a hűtőt az esti órákban kapcsoljuk be, akkor, amikor beakasztjuk az árut. (Indításos mérések) Másnap reggel vagy napközben pedig nekikezdünk a feldolgozásnak. Az éjjeli órákban a rendszer lehűti a vadtestet 5°C körüli hőmérsékletre, majd a következő nap napközben csak megfelelő hőmérsékleten kell tartania a rendszernek. Tehát a lényeg a vadfeldolgozás késleltetése, hogy ne éjszakába nyúlóan történjen a feldolgozás.

A fent említett üzemre a hűtő megfelelő. Természetesen az üzemi körülmények mellett az áru tulajdonságaira is figyelni kell. Legfontosabb tulajdonság a vad tömege. Emellett számít, hogy egy vagy több árurol van-e szó, elhelyezésük kulcsfontosságú. Egy vadtestet még könnyen behelyezhetünk az elpárologtató elé, a legmegfelelőbb helyre. Több vadnál viszont nem lesz egyenletes a hűlés. A másik fontos tényező a vad hőmérséklete, mivel egy száz kilós, 40°C hőmérsékletű vadtest önmagában is fűti a kamrát.

A hűtő esti üzeme nyáron is és megfelelő, viszont napközben 30°C felett nem, vagy csak feltételesen használható. Amennyiben szeretnénk megbízhatóan, nyáron napközben is használni a hűtőt, fejlesztenünk kell.

A mérések kiértékelése során már érintettem fejlesztési javaslatokat. A következő bekezdésekben konkrétan és teljeskörűen ki fogok rájuk térni.

A legegyszerűbb lehetőség a hűtőkör saját hőmérsékletszondájának áthelyezése lenne melegebb pontba, akár közelebb a vadtesthez, hogy pontosabban érzékelhessük a kapcsolási hőmérsékletet.

Az eredmények értékeléséből láthatjuk, hogy a nappali méréseknél a 11-15 óráig tartó csúcs napsütés jelentősen befolyásolta a hűtést, ezt a hűtőkamrára sütő jelentős mennyiségű napfény okozza. Emellett az ajtó és a régi, már leszigetelt szellőztetőnél megfigyelhettünk páracseppeket. Ezek indikálják azt, hogy a nyílászárók szigetelése sem megfelelő. Tehát első és legkézenfekvőbb javaslatnak a hűtő szigetelését javasolnám, elsősorban a nyílászárók mentén. Emellett takaróelemmel, árnyékolóval csökkenthetnénk a hűtőre eső fénysugarakat, árnyékolhatnánk azt.

Ha kettő vagy több vadat is szeretnénk hűteni, ideális lehet keringtető ventilátorokat beszerezni, ezzel segítve a hideg levegő keringtetését a hűtő minden pontjára.

Természetesen a javaslatok között meg kell említenem a hűtőkör teljes felújítását is, akkor is, ha ettől a megoldástól elhatárolódom. Egy ipari kompresszor és egy ipari kondenzátor beszerelésével a rendszer teljesítménye nagyot nőne, de ez egy költséges beruházás.

A fent megemlített javaslatok közül ár-érték arányban a legjobb a szigetelés javítása. Ez kevésbé költséges, mint a rendszer felújítása és nagyot javíthat a hűtő teljesítményén még a felmelegedési szakaszok kiiktatásával is.

A technika fejlődésével és a precíziós rendszerek elterjedésével meg kell említenem a precíziós megoldásokat is, amivel javíthatom és kényelmesebbé tehetem a hűtő üzemeltetését. A hűtőt is egy „smart” rendszerré lehet alakítani. Először is biztosítani kell az internetelérést a kamrához, hogy tudjon adatokat küldeni a rendszer. A rendszerbe beépíthető lehet egy internet segítségével távolról vezérelhető kapcsoló, mellyel kapcsolhatjuk távolról a rendszert, emellett a hűtő hőmérséklet szondája által felvett adatokat függvényben ábrázolhatjuk egy applikációban, így, hasonlóan egy „smart” fűtésrendszerhez, kapcsolhatjuk a hűtőt és rálátásunk lenne a belső hőmérsékletre is. Ezek után nem nagy kihívás a fogyasztásmérőt is távolról figyelni. Ezeket lehet fokozni több szondával, háromdimenziós hűtőkamra modellel, precíziósan vezérelt ventilátorokkal a szondák mérésének megfelelően.

A távoli vezérlés funkció nem csak kényelmi, hanem rendkívül hasznos is. Gondoljuk bele, a vadászat alkalmával az elejtés után rögtön kapcsolhatjuk a hűtőkört, mely már lehet, hogy megfelelő hőmérsékletre hűlve várja majd az árut.

5. Összefoglalás

A mérések célja a hűtő hűtési karakterisztikájának felvétele és a hűtő megfelelőségének meghatározása különböző mérési beállítások alkalmazásával.

A vadtestek hűtésére szolgáló rendszer egy ipari elpárologtatóból és egy lakossági kondenzátorból és kompresszorból állt. A hűtőkamra egy szigetelt örbódé, térfogata $15,4 \text{ m}^3$. A mérőrendszer 4 db hőmérséklet és 2 db páratartalom szondából állt. A mérések során mértem a hűtőkamra belső hőmérsékletét ($T_{\text{belső}}$), páratartalmát ($\phi_{\text{belső}}$), emellett a kamrában felállítottam egy befőttesüveg segítségével egy liter vizes mérési modellt, melyre vízhőmérsékletként hivatkoztam ($T_{\text{víz}}$). A kamrán kívül, a rendszer környezetében is mértem a hőmérsékletet ($T_{\text{külső}}$) és páratartalmat ($\phi_{\text{külső}}$).

A rendszert 3-féle mérési módban vizsgáltam: napközben, amikor a hűtő bekapcsolása az áru beakasztásával azonos időben történt, ekkor a szélsőséges terhelést modelleztem (N.I., tehát Nappali Indításos mérések). A második méréscsoportot este végeztem, ekkor a hűtő bekapcsolása szintén az áru beakasztásával azonos időben történt. Ez a mérési beállítás áll a legközelebb a hűtő üzeméhez (E.I., tehát Esti Indításos mérések). A harmadik mérési beállítás napközben, már járó hűtőnél történt, ez azt hivatott modellezni, hogy érdemes-e a beakasztás előtt bekapcsolni a hűtőt (N.Ü., tehát Nappali Üzem közbeni mérések).

Összesen 17 mérést végeztem, 9 NI mérést, 5 EI mérést, 3 NÜ mérést.

A mérési eredményeket kiértékeltem és diagramokban ábrázoltam. A diagramok a vízhőmérsékletet ($T_{\text{víz}}$), kamra belső hőmérsékletét ($T_{\text{belső}}$) és a hatékonysági tényező (COP) értéket mutatták az eltelt idő függvényében. Ezek mellett táblázatokkal foglaltam össze a mért eredményeket. Mindhárom mérési esetben az 1 liter víz hűtésének karakterisztikáját ábrázoltam az idő függvényében és hozzá időállandókat határoztam meg.

Összességében a hűtő a mérés során a támasztott követelményeknek megfelelt, az esti mérésekben a rendszer jól szerepelt, a hűtési teljesítmény megfelelő volt. Ha nappal szeretnénk használni a rendszert, az átmeneti időszakban (ősz, tavasz) és az enyhébb nyári napokon megtehetjük, de a használat és üzem szempontjából nem ez az ideális. Azonban, ha szeretnénk használni a rendszert a forró nyári napokon is, akkor fejlesztenünk kell. Például: szigetelés javítása, hűtő árnyékolása, kompresszor cseréje, mobiltelefonos vezérlés.

A fejlesztések közül a szigetelés és árnyékolás valószínűleg meg is fog valósulni a jövőben.

A saját tulajdonunkban lévő vadhűtő megfelelőségét már mérési eredményekkel is alátámasztottam. A jól működő (vad)hűtő vadászat során nem csak kényelmi szempontból hasznos, hanem így biztosan kifogástalan minőségű hús kerülhet az asztalunkra. Emellett töltelékáru (pl.: kolbász) készítésekor is hasznos.

Bízom benne, hogy dolgozatommal segítettem megérteni a vadhűtés módját, annak követelményeit, kihívásait és segítséget nyújtottam otthoni felhasználású hűtőkamrák építéséhez.

Irodalomjegyzék

1. American Society of Mechanical Engineers (2020): Perkins Vapor-Compression Cycle for Refrigeration, Publisher: History and Heritage Committee of the American Society of Mechanical Engineers, <https://www.asme.org/getmedia/cb9bea09-6d23-425e-bfe5-5f6d786919fb/274-perkins-vapor-comp-refrig.pdf>
2. Arora R. (2012): "Mechanical vapour compression refrigeration". Refrigeration and Air Conditioning, New Delhi: PHI Learning. ISBN 978-81-203-3915-6
3. Baranyi K. (1992): A Fizikai Gondolkodás Iskolája, Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 85-89 p.4
4. Beke J. (2000): Műszaki hőtán mérnököknek, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, ISBN 963 356 317 8 pp. 484-508., pp. 524-529 p: 29
5. Beke J. (2009): Műszaki hőtán BSc jegyzet pp. 231-243. p: 12
6. Blasco R., Rosell J., Arilla M., Margalida A., Villalba D., Gopher A., Barkai R. (2019): Bone marrow storage and delayed consumption at Middle Pleistocene Qesem Cave, Israel (420 to 200 ka) Science Advances Vol 5, Issue 10, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aav9822>
7. Borgnakke C., Sonntag R. (2013): Fundamentals of Thermodynamics 8/e, University of Michigan, Wiley, pp. 242-245, p: 3
8. Buxbaum T. (2008): Icehouses, Shire Library, Bloomsbury, ISBN 978-0-7478-0150-4 pp. 7-25., p: 18
9. Freidberg S. (2010): Fresh: a perishable history, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, ISBN: 9780674053854 pp. 43–45., p: 2
10. Hoffmann Zs. (2011): Ételek és italok az ókori Rómában, Quintus Maximus, Szeged, ISBN: 9789638849496
11. Zátonyi S. (2022): Fizikakönyv
12. Jamin J. (1878): Cours de Physique de l'École Polytechnique, Mallet-Bachelier, Imprimeur-librairie, Paris
13. Mihejev M. A. (1990): A hőátadás gyakorlati számításának alapjai, Tankönyvkiadó, (Ford.: Dr. Horváth Csaba) ISBN 963-18-3004-7
14. Nemzeti Klímavédelmi Hatóság (2020): Hűtőközegek csoportosítása <https://nemzetiklimavedelmihatosag.kormany.hu/v2/tananyag/tankonyv/22-hutokozetek-csoportositasa>
15. Szabó G., Péter Szabó I. (2001): Alkalmazott Műszaki Hőtán, Szeged, p. 5.

16. Szarka K., Molnár N. (2019): NAK Élelmiszeripari kézikönyv 4. – A hűtési lánc felügyelete, Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, Budapest pp. 13-16., p. 3
17. http1: <https://www.rgbstock.com/photo/nxI62cC/Traditional+ice-house> (Letöltés dátuma: 2025.04.11. 10:58)
18. http2: <https://www.essexgardenstrust.org.uk/history/tag/Penrhyn+Castle> (Letöltés dátuma: 2025.04.11. 10:54)
19. http3: <https://hu.museum-digital.org/singleimage?imagenr=754484&noiii=1> (Letöltés dátuma: 2025.04.12. 12:18)
20. http4: <https://www.slideserve.com/callie/ltal-nos-g-ptan> (Letöltés dátuma: 2025.05.03. 14:30)
21. http5: <https://image1.slideserve.com/3183615/kompresszoros-k-rfolyamat-elm-leti-l.jpg> (Letöltés dátuma: 2025.05.03. 14:56)
22. http6: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmersz.hu%2Fdokumentum%2Fm125t_76%2F&psig=AOvVawlio_z5-Pc_OyFot2PGCGuE&ust=1761737266344000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBUQjRxpFwoTCOD72fDkxpADFQAAAAAdAAAAABAK (Letöltés dátuma: 2025.10.06.)
23. http7: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Feta.bibl.u-szeged.hu%2F760%2F1%2Fkeszthelyiszabogabor_alkalmazott_hotan_07_elaodas.pdf&psig=AOvVawlio_z5-Pc_OyFot2PGCGuE&ust=1761737266344000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBUQjRxpFwoTCOD72fDkxpADFQAAAAAdAAAAABAE (Letöltés dátuma: 2025.10.06.)
24. http8: <https://www.vilaglex.hu/Lexikon/Kepek/TermHuto.jpg> (Letöltés dátuma: 2025.09.16. 13:34)
25. http9: <https://www.asme.org/getmedia/cb9bea09-6d23-425e-bfe5-5f6d786919fb/274-perkins-vapor-comp-refrig.pdf> (Letöltés dátuma: 2025.09.16.)
26. http10: <https://www.ebro.com> (Letöltés dátuma: 2025.10.06.)

Ábrajegyzék

1. ábra - Helyreállított jégverem az oxfordshire-i Grey's Court-ban.....	5
2. ábra - A Penrhyn kastély bejárata és a "jégtorony"	5
3. ábra - A jég szekrény	6
4. ábra - Nagyvad krotália	8
5. ábra - Megfelelően beakasztott vaddisznó	9
6. ábra - Az expanzióhengeres hűtési körfolyamat	11
7. ábra - Az expanziós hűtőkörfolyamat p-V diagramja	12
8. ábra - Az expanzióhengeres hűtőkörfolyamat T-s diagramja	13
9. ábra - Az expanzióhengeres hűtőkörfolyamat log p-h diagramja	14
10. ábra - A fojtószelepes hűtőkörfolyamat sémája	14
11. ábra – A fojtószelepes hűtőkörfolyamat túlhevítéssel, utóhűtéssel és többfokozatú kompresszióval.....	16
12. ábra – A fojtószelepes hűtőkörfolyamat túlhevítéssel, utóhűtéssel, többfokozatú kompresszióval T-s és log p-h diagramja.....	16
13. ábra – Ferdinand Carré abszorpciós hűtőgépe	20
14. ábra – A Peltier-elem.....	21
15. ábra - Perkins hűtőgépe John Hague kivitelezésében	22
16. ábra - A mérőeszközök.....	24
17. ábra - A Voltcraft SEM500-as fogyasztásmérő	24
18. ábra - A hűtőkamra kültéri egysége	25
19. ábra - A hűtőkamra.....	26
20. ábra - A hűtőtérben található elpárolgató	26
21. ábra - A mérőeszközök a hűtőben az elpárolgató alatt.....	27
22. ábra – Az NI_22-es mérés eredményei	30
23. ábra – Az NI_28-as mérés eredményei	30
24. ábra – Az NI_12-es mérés eredményei	31
25. ábra – A Nappali Indításos mérések víz hőmérsékletének görbeserege	32
26. ábra – A nappali indításos mérések víz hűtésének burkológörbéje és időállandója	33
27. ábra – A NÜ_24,5-ös mérés eredményei	34
28. ábra – A NÜ mérések görbeserege.....	34
29. ábra – A Nappali Üzemi mérések burkológörbéje és időállandója	35
30. ábra – Az EI_16-os számú mérés eredményei	36
31. ábra – Az EI_19-es számú mérés eredményei	37
32. ábra – Az Esti Indításos mérések görbeserege	37
33. ábra – Az Esti Indításos mérések burkológörbéje	38

Táblázatjegyzék

1. táblázat – A mérőeszközök és a mért mennyiségek táblázatba foglalva.....	25
2. táblázat – A hűtőrendszer adatai	26
3. táblázat – A Nappali Indításos mérések táblázatban	32
4. táblázat – A Nappali Indításos mérések időállandójának adatai táblázatban.....	33
5. táblázat – A Nappali Üzemi mérések eredményei táblázatban	35
6. táblázat – A Nappali üzemi mérések időállandójának adatai.....	35
7. táblázat – Az Esti Indításos mérések eredményei	38
8. táblázat – Az Esti Indításos mérések időállandójának adatai.....	38

Nyilatkozatok

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Ignác Gergely
A Hallgató Neptun kódja: JALIMJ
A dolgozat címe: Vadhűtőkamra energetikai mérése
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szövegenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan 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 tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2025 év október hó 27. nap



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Ignác Gergely (hallgató Neptun azonosítója: JALIMJ) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2025 év október hó 27. nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Ignác Gergely
Neptun-kódja:	JALIMJ
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	szakdolgozat
A munka címe:	Vadhűtőkamra energetikai mérése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....
.....
.....
.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden cleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: *Gödöllő*, 2025. *október* hó *27.* nap

.....
[Handwritten signature]

Hallgató aláírása

.....
[Handwritten signature]

Konzulens/Témavezető aláírása