

Hűtőkamra fogyasztásának kísérleti vizsgálata PID szabályozású DC inverteres hűtőaggregátok alkalmazásával

Dr. Kassai Miklós PhD.¹ – Simon Richárd²

Abstract

In this research the optimization of energy consumption for DC refrigerator used in commercial cold store was conducted. To achieve this object a test facility was installed into the introduction room of a national refrigeration company. Due to the imperfect data given by the producer, the PID controller of DC refrigerator had to be tuned by setting the correct proportional, integral and derivative parameter values to achieve optimal energetic operation. During the research the energy consumption of this system was compared with a very commonly used traditional refrigerator system on the home market operated by reciprocating compressor, mechanical expansion valve and ON-OFF controller technic in the similar cooling capacity range. The combined effects of electronic expansion valve, scroll compressor operation and the correct experimental settings of PID controller in DC refrigerator results around 62,4% energy saving opposed to the traditional ON-OFF controlled appliance under the same operational conditions in the same cold store.

1. Bevezetés

Az energetikai összehasonlító mérést az indokolja, hogy hazánkban egyre elterjedtebbek a kisebb vállalkozások, őstermelők által üzemeltetett hűtőkamrák, amelyek elsősorban valamilyen élelmiszeripari: húspari vagy gyümölcs/zöldség tárolási feladatot látnak el. Támogatással ezeknek a kisvállalkozásoknak is lehetősége nyílik korszerűen üzemeltethető, alacsony fogyasztású, jó minőségű hűtőkamrák hűtéstechnikai rendszerének beszerzésére. Ez nemcsak energia megtakarítást, hanem a megfelelő technológiájú szabályozással a kamra stabilabb léghőmérsékletének biztosítását, ezzel együtt pedig a hűtőkamrában tárolt áru stabilabb állagvédelmét is eredményezheti [1] - [9].

Ebben a kutatásban a kereskedelmi szektorban használt DC inverteres hűtő aggregát energiafogyasztásának optimalizálására került sor, beleértve a fordulatszám szabályozású kompresszort, az elektronikus expanziós szelepet és a PID szabályozót tartalmazó rendszert. A célok elérése érdekében egy kísérleti mérőállás épült egy hazai piacvezető hűtéstechnikai rendszereket forgalmazó cég bemutatótermében.

A mérőrendszer fő része a hűtőkamra, amely belül két azonos elpárologtatót tartalmaz, az egyiket a DC inverteres aggregáttal üzemeltetik, a másik pedig a hazai piacon nagyon széles körben elterjedt, hagyományos hűtőberendezéssel van felszerelve, amelyet egy hagyományos dugattyús kompresszor, mechanikus expanziós szelep és On-Off (kétállású) szabályozó működtet. A gyártó által szolgáltatott hiányos adatok miatt a DC hűtőberendezés PID szabályozóját optimalizálni kellett a megfelelő arányos, integráló és differenciáló paraméterértékek beállításával az energetikai működés érdekében.

A kutatási munka újszerűsége a PID szabályozó megfelelő beállítása a tervezett hűtési körülményekre és annak hatása a DC hűtőgép energiafogyasztására. Még ha a hűtőberendezés méretezése megfelelő is az adott feladathoz és a hűtési teljesítménye megfelel a hűtési igénynek, egy behangolatlan PID szabályozó nagyobb energiafogyasztást eredményez, mint a hagyományos hűtőberendezés On-Off vezérlésénél.

A kutatómunkában asszisztált *Simon Richárd* MSc hallgató, munkájából egy kiváló minőségű TDK dolgozat és diplomamunka született [10].

2. A kísérleti mérőállás bemutatása

A kísérleti méréseket a Kassai-Klíma Kft., Hűtő- és Klímatechnikai Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. bemutatótermében, a céghez tartozó személyzet felügyelete mellett, annak eszközeivel és támogatásával végeztem. A bemutatóterem címe: 1173 Budapest, Pesti út 256.



1. ábra. A mérőállás elhelyezkedése

A hűtőkamra az épület közepén helyezkedik el, ami abból a szempontból jelentős, hogy az épületben egy hatékonyan és precízen működő hőszivattyús mennyezetfűtési/hűtési rendszer tartja a léghőmérsékletet állandó értéken egész évben. Ennek következtében a kamra teljes környezetében 23 °C van, amelyből majd a kamra hővesztesége számítható.

¹ egyetemi docens, BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás Technika Tanszék

² végzett MSc hallgató



A kamrát határoló fal túoldalán a műhely található, ahol szintén 23 °C-os levegőhőmérséklet jellemző. A kamrát a Gabler-Mirelta Hungária Kft. készítette. A kamra falszerkezetének tulajdonságait az **1. táblázat** foglalja össze.

1. táblázat. A kísérleti hűtőkamratest műszaki adatai

Méret	1 660 x 1 660 x 2 330 mm
Faltípus	NZ 70 – 70 mm
A szigetelés típusa	poliuretán hab
Hőátbocsátási tényező	0,27 W · m ⁻² · K ⁻¹

A hűtőkamráról még érdemes tudni, hogy ez padlóval szerelt, azaz a talaj felé is hőszigetelt. A gyártó cég állítása szerint az általuk alkalmazott megoldás hőhídmentes, azaz nincsen a kamrában olyan pont, ahol a hő könnyebben tud mozogni, „szökni”.

A táblázatban a hőátbocsátási tényező azt jelenti, hogy az adott anyag (vagy anyagsorrend) egy négyzetméteren egy egység (K vagy °C) hőmérsékletkülönbség hatására hány egység hőenergia (W) tud átáramlani. Ez az érték figyelembe veszi a hőszigetelést, a fal anyagát és a légállapotokat a kamrán kívül belül. Utóbbi azért fontos, mert az áramló levegő jobban fel tudja venni a kamrából kiáramló hőt. Amennyiben a hőátbocsátási tényező értéke kicsi, ez azt jelenti, hogy a falszerkezet jól szigetelt, nehezen halad át rajta a hő.

A pontos energetikai összehasonlító vizsgálat érdekében ebben a kamrában vannak elhelyezve egy On-Off szabályozású és egy fordulatszám-szabályozott, névleges hűtési teljesítményükben azonos hűtőgépek elpárologtató egységei. Az elpárologtatók elhelyezését a **2. ábra**, műszaki adatait a **2. táblázat** mutatja.



2. ábra. Az elpárologtatók kialakítása a kísérleti tesztkamrában

2. táblázat. A közvetlen elpárologtatók műszaki adatai

Az elpárologtató típusa	Inter-Thermo IT-FM-25-1-017 A/5 E
Hűtési teljesítmény	1 700 W ($t_{\text{elpárolgási}} = -10\text{ °C}$)
A hőcserélő felülete	3,8 m ²
A szállított légmennyiség	820 m ³ /h
Elektromos betáplálási igény	230 V / 50 Hz
Elektromos teljesítmény felvétel	68 W

Az On/Off-os berendezés és a fordulatszám-szabályozott hűtőgép elpárologtatóját az Inter-Thermo Kft. gyártotta. Különbség a vezérlésükben és a kondenzátor oldalon van. Viszont a hűtési teljesítmény mindkét esetben 1,7 kW, -10 °C-os elpárolgási hőmérséklet és 0 °C-os kamra lég hőmérséklet esetén.

A vezérlést tekintve az On-Off-os berendezés egy lég hőmérséklet érzékelőből, egy hőmérséklet beállítását biztosító vezérlő panelből és egy indítást-leállítást lehetővé tevő elektronikából áll (**3. ábra**).



3. ábra. Az alkalmazott szabályozó egységek a kísérleti tesztkamrán



4. ábra. A PID szabályozó kialakítása

A fordulatszám-szabályozott hűtőgép Sinclair SCMI-01 típusú vezérlője ennél sokkal bonyolultabb (**4. ábra**). Amellett, hogy ezen is lehet a kamra hőmérsékletét állítani, a PID szabályozónak megfelelő konstansokat is állíthatjuk rajta. Emellett kijelzi a kompresszor aktuális fordulatszámát (százalékosan), az elpárologtató és a kamra hőmérsékletét, valamint az expanziós szelep állását is. A vezérlő egység a berendezéssel egyetemben képes arra, hogy a hűtő körfolyamatot megfordítsa, ezzel a kondenzátort elpárologtatóként, az elpárologtatót pedig kondenzátorként használva. Ennek következtében képes a fűtésre is.

A Sinclair SCMI-01 vezérlő egység kifejlesztését az elmúlt évek közös együttműködési munkája eredményezte a Kassai-Klíma Kft. és a csehországi Centrála NEPA spol. s r.o. (a Sinclair termékek európai elosztó központja) nevű partnercég között. A kondenzátor oldalon a fordulatszám-szabályozott berendezést szintén a csehországi Nepa gyártotta.

Kompresszora ugyanolyan teljesítményű és fordulatszámú, mint a másik hűtőgépe. Különbség a típusban és a fordulatszám-szabályozottságban van. Utóbbi egy AC/DC konverterrel (egyenirányítóval), egy kondenzátorral és egy középfrekvenciás DC/AC konverterrel oldják meg. Ez a DC inverter.

Működése: az AC/DC konverter a váltakozó áramú energiát (1/3 fázis) egyenfeszültségű energiává alakítja. Ezt a kondenzátor változtatható frekvenciájú feszültséggé transzformálja, végül a DC/AC konverter ezt tovább alakítja háromfázisú változtatható frekvenciájú villamos energiává. Ezzel a változtatható frekvenciával szabályozható a fordulatszám.

Ha ezt indításnál tesszük, akkor az indítási áram nagysága is befolyásolható.

A fordulatszám-szabályozott, vagy más néven inverteres megoldás nagyobb teljesítmény kategóriákban már széles körben elterjedt. A jövőben az ipari hűtéstechikában is várható lesz a fordulatszám-szabályozott kompresszorok kötelezővé tétele, mint ahogy az történt a klímatechnikában is a 2013-as ErP irányelv bevezetésével az Európai Unió területén. Eszerint minden 11 kW hűtési teljesítménynél kisebb klímaberendezés csak inverter szabályozású lehet, illetve a 125 W teljesítményű ventilátort (berendezés része) minősítettetni kell. Erre felkészülve a Sinclair kifejlesztette a már bemutatott,



univerzálisnak tekinthető vezérlőegységét, amellyel a saját hűtőgép aggregátoraik fordulatszám-szabályozhatóak lettek. A mérőállás kondenzátor oldalát az **5. ábra** mutatja be.

5. ábra. A hűtő-aggregátok kialakítása

Az On-Off és PID szabályozású hűtőberendezések műszaki adatai a **3. és 4. táblázatban** láthatók.

3. táblázat. Az On-Off szabályozású hagyományos hűtőberendezés műszaki adatai

Az aggregát típusa	NJ9226GK
A hűtőközeg	R404A
A kompresszor típusa	Embraco dugattyús kompresszor
Feszültség / Áramerősség	230 V / 50 Hz
Az adagoló típusa	Mechanikus adagoló szelep
Hűtési teljesítmény	3708 W (1731-5881)

4. táblázat. A PID szabályozású DC inverteres hűtőberendezés műszaki adatai

Az aggregát típusa	Sinclair ASGE-09AIN WK
A hűtőközeg	R410A
A kompresszor típusa	Scroll kompresszor
Feszültség / Áramerősség	230 V / 50 Hz
Az adagoló típusa	Elektronikus adagoló szelep
Hűtési teljesítmény	2700 W (800-3400)

3. A kísérleti vizsgálatok folyamatának bemutatása

A mérés során a felhasznált műszaki paraméterek:

- **On-Off-os hűtőgép:**
 - A kamra hőmérséklete

- A kompresszor áramfelvétele
- Elpárolgási hőmérséklet
- Elpárolgási nyomás
- Felvett villamos teljesítmény

- **Inverteres berendezés:**

- A kamra hőmérséklete
- A kompresszor áramfelvétele
- A kompresszor fordulatszáma
- Elpárolgási hőmérséklet
- Elpárolgási nyomás
- Felvett villamos teljesítmény

A felvett villamos teljesítményt a vezérlőbe beépített teljesítmény mérővel, a felvett áramot egy MAXWELL MC-25605 digitális lakatfogóval mértük.

A mérés célja a már ismertetett összehasonlítás: a kétpont-szabályozású On-Off készülék és a PID szabályozású inverteres készülék villamos fogyasztásainak összevetése, a berendezések működését és a kamra hőmérsékletét is figyelemmel kísérve. Hiszen hiába fogyasztana kevesebbet bármelyik, ha a kívánt feladatot nem látja el.

A feladatból kifolyólag hosszabb intervallumokon vizsgáltuk a rendszereket. Egy-egy berendezés pontosan 24 órát üzemelt, mely 24 órából kiragadtunk néhány kisebb intervallumot, amely alatt a kamra és a berendezés paramétereit feljegyeztük a lehető legkisebb időközönként. A mérés minden esetben a már kívánt kamrahőmérséklet elérésekor kezdődött, így ha fel is melegedett a hűtőgép állása során a kamrában a levegő, annak lehűtése nem tartozott a mérésbe. Egy nap elteltével már eleget üzemelt a gép, hogy annak villamos fogyasztását pontosabban lemérhessük.

4. A kísérleti eredmények bemutatása

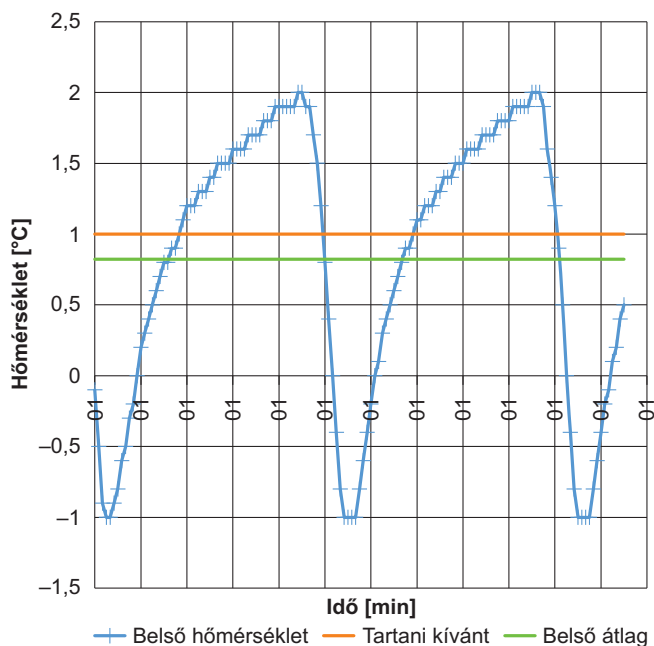
4.1. Az első mérések eredményei

Az első mérés során a kamra hőmérsékletét 1 °C-ra állítottuk. Először az On-Off-os készüléket kapcsoltuk be, feljegyeztük a mérés kezdetén a fogyasztásmérő állását, amely 3,7 kWh-t mutatott. Ezután véletlenszerűen kiválasztott időszakokban vizsgáltuk a kamra hőmérsékletének alakulását, ezeket mutatja a következő oldalon található **6. ábra**.

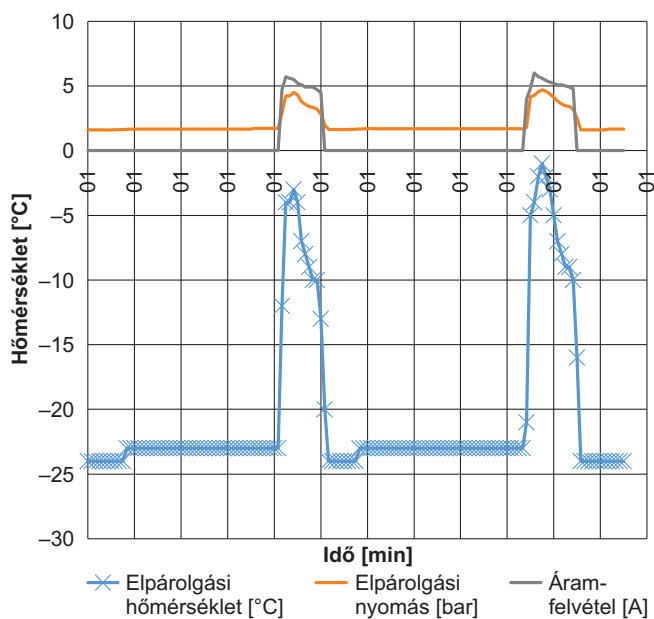
Látható, hogy a berendezés a korábban leírtaknak megfelelően periodikusan működik. Feltűnő, hogy az üzemelési idő (a diagramon a csúcspontoktól az alsó pontokig) jóval rövidebb, mint az állási idő. Ennek oka, hogy a kamrában a mérések során nem volt áru, a hűtőgép így jelentősen túlméretezett, mivel csak a levegőt hűtjük, a kamra hőveszteségét fedezzük.

Hogy további információkat kaphassunk a működésről, a kondenzátor oldalon is megvizsgáltuk a periodikusságot, ezt a következő oldalon lévő **7. ábra** mutatja.

Az elpárolgási hőmérséklet -24/-23 °C-os értéke az állási időszakban nem valós. Ez annak tudható be, hogy a biztonsági szelepek zárása miatt a keringetés megszűnik és a mérőműszer érzékelője alacsony nyomást mér, az elpárolgási hőmérsékletet a hűtőközeg ismeretében számítja. Látható az is, hogy az üzemelés elején az áramfelvétel ugrásszerűen meg-



6. ábra. Az On-Off-os hűtőgép-kamra belső hőmérséklete, 1. mérés, 1 °C tartani kívánt belső léghőmérsékletnél



7. ábra. On-Off-os hűtőgép – aggregát oldali mérés – 1 °C tartani kívánt belső léghőmérsékletnél

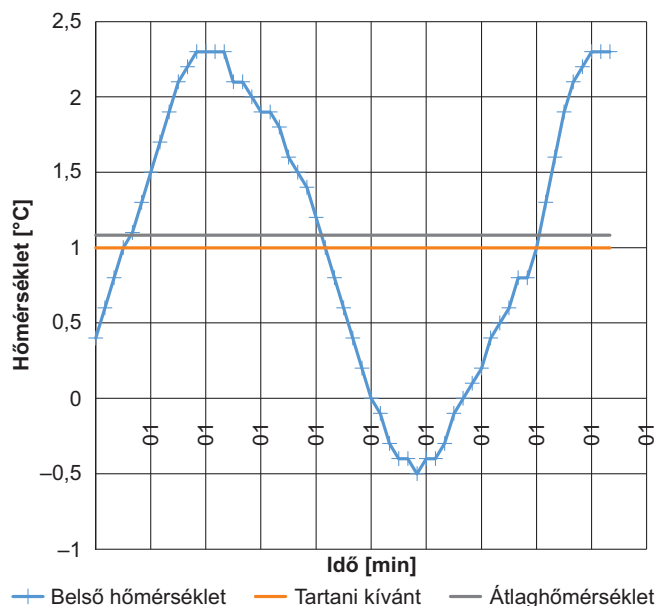
nő, majd egyre laposabban csökken. A periódusát tekintve átlagban 8 perc 30 másodpercet állt és 1 perc 41 másodpercet üzemelt a gép.

A mérés végén a fogyasztásmérő 9,41 kWh-n állt.

Az inverteres berendezés mérésénél hasonlóan jártunk el, azonban itt beállítottuk a PID szabályozó konstans értékeit is. A gyári alapbeállítási javaslat erre (zárójelben a lehetséges értékek intervalluma) az alábbi volt:

- Időállandó: 30 (10-999)
- Proporcionális tag: 35 (0-999)
- Integráló tag: 0 (0-999)
- Deriváló tag: 60 (0-999)

A gyártói javaslat alapján történő beállítás esetén az értékekből látható, hogy az integráló tag értéke 0, mintha nem lenne hatása a rendszer működése szempontjából. A belső léghőmérséklet ebben az esetben is 1 °C és a fordulatszám szabályozott hűtőgép teljesítménymérője a mérés elején 61,8 kWh-t mutatott. A kamra belső hőmérsékletének alakulását a 8. ábra mutatja be.



8. ábra. A DC inverteres berendezés-kamra belső léghőmérsékletének alakulása 1 °C kamrahőmérséklet esetén

A 6. ábrán szemléltetett hőmérséklet-lefutáshoz közel sem hasonlít a 8. ábrán látható hőmérséklet karakterisztika. Ennek két oka, hogy a hűtőgép ebben az esetben is túlméretezett, illetve, hogy a kompresszor fordulatszámát az üzemi fordulatszám 15%-a alá konstrukciós okokból nem lehet vinni. Ez azt jelenti, hogy a minimális hűtési teljesítmény is nagyobb, mint amire szükség lenne. Következésképpen, hogy a kompresszor leáll és csak egy bizonyos idő után indul újra, a kamra hőmérsékletétől függetlenül. Mivel ez a mérés nem vezetett volna eredményre, így változtattunk a mérési paramétereken: csökkentettük a kamra hőmérsékletét 0 °C-ra, valamint megbizonyosodtunk arról, hogy nem történik majd leolvasztás, ezzel is egyszerűsítve az összehasonlítást.

A mérés után 67,62 kWh-n állt a teljesítménymérő. A mérések összehasonlítását az 5. táblázat tartalmazza.

Észrevehetjük, hogy a felhasznált fogyasztás a várttól eltérő, az On-Off-os volt takarékosabb. Habár az inverteres közelítette meg jobban a kívánt hőmérsékletet, annak tartása nem volt ideális.

5. táblázat. Az első mérések eredményei

Paraméter	On-Off	PID
A tartani kívánt léghőmérséklet [°C]	1	1
Átlag léghőmérséklet [°C]	0,823	1,08
Energia felhasználás [kWh/nap]	5,71	5,82

Következtetésnek levonhatjuk, hogy egy túlméretezett rendszer esetén a PID szabályozó a gyártói alapbeállítás (PID) paraméterek mellett nem üzemel még olyan jól sem, mint On-Off-os társa.

4.2. A PID szabályozó hangolása

Ahhoz, hogy optimálisan üzemeljen a berendezés, a PID szabályozó hangolása kell. Ettől azt várjuk, hogy megfelelő időn belül a kívánt értékhez kellően közeli hőmérsékletre állítsa be a kamra levegőjének hőmérsékletét.

A valóságban számos módszer létezik a PID szabályozók hangolására. Itt ezt a legegyszerűbbel, *Ziegler-Nichols* módszerrel végeztük (továbbiakban Z-N) [2-10]. A lényege, hogy a rendszert olyan beállítás mellett üzemeltetjük, hogy az integráló és a deriváló tag ki van iktatva, csak az arányos tag vesz fel értéket. Emellett az instabilitás határán kell üzemeltetnie a berendezésnek, és ott megvizsgálni a rendszer periodicitását. Ebből kapható a kritikus idő (T_{kr}) [s] és a kritikus proporcionális tag értéke (K_{kr}) [-]. Ezekből a 6. táblázat alapján már számíthatók a berendezés további értékei.

6. táblázat. A Z-N módszer PID konstansainak számítása [8]

PID terms		
K_p	T_i	T_d
$0,6 \cdot K_{kr}$	$0,5 \cdot T_{kr}$	$0,12 \cdot T_{kr}$

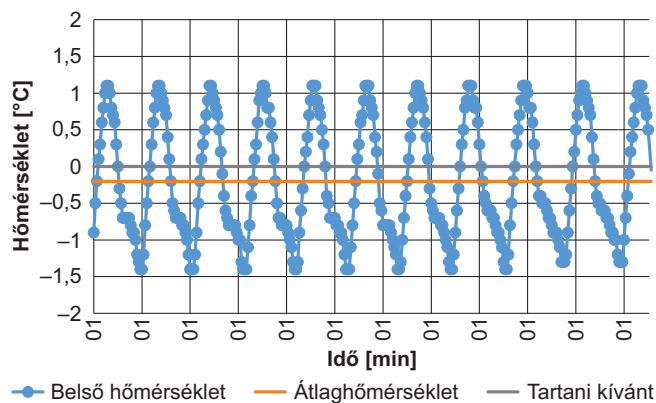
A PID szabályozó Z-N módszerrel történő helyes behangolása egyedülálló a kereskedelmi hűtőberendezések területén, mivel a vizsgált hűtőtéljesítmény tartományban a piacon kapható legelterjedtebb hűtőberendezések szabályozása eltérő. Figyelembe véve azt a tény, hogy a gyártó nem engedélyezte a vezérlő szoftvereihez való hozzáférést, empirikus kézi hangolásra került sor, egészen addig, amíg a PID szabályozott készülék jóval nagyobb pontossággal követte a hűtési igényt, mint egy On-Off hűtőszekrény.

A PID szabályozó behangolása során a cél egy lassabb, de pontos, ingadozásmentes, úgynevezett túlszillapított rendszer kialakítása. Ehhez az egyik módszer, hogy a deriváló tagot a lehető legmagasabbra állítsuk. Így a beállítások a következők szerint alakulnak:

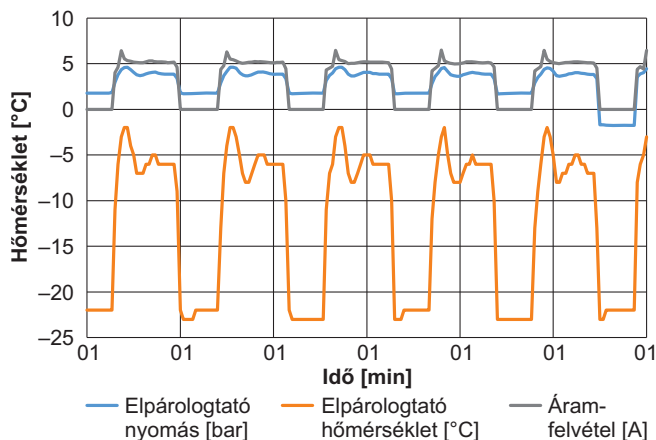
- Időállandó: 10 (10-999)
- Proporcionális tag: 25 (0-999)
- Integráló tag: 0 (0-999)
- Deriváló tag: 500 (0-999)

A mérés során a kamrában elhelyezésre került egy 500 W-os reflektor is, amely plusz hőt állított elő. Ez az On-Off-os berendezés esetében jelentősen növelte az üzemelési és csökkentette az állási időket, amelyeket a 9. ábrán, a kamra belső hőmérsékletének alakulásán és a 10. ábrán, a kondenzátor oldali paraméterek alakulásán is jól láthatunk.

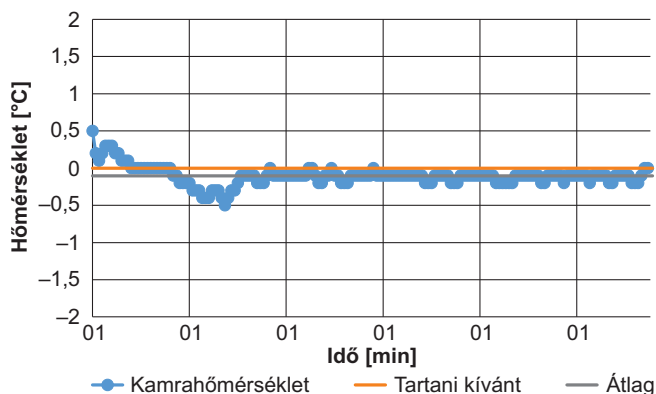
Valóban láthatjuk, hogy a periódusok jelentősen besűrűsödtek. Átlagban 3 perc 32 másodpercet ment és 2 perc 3 másodpercet állt a gép. A 24 órás mérés végén a fogyasztásmérő 32,69 kWh-t mutatott. Az inverteres berendezés paraméterei se változtak. Azt vártuk a mérés elején, hogy hasonlóan stabi-



9. ábra. Az On-Off-os berendezésnél a belső hőmérséklet alakulása 0 °C és belső hőtermelő esetén



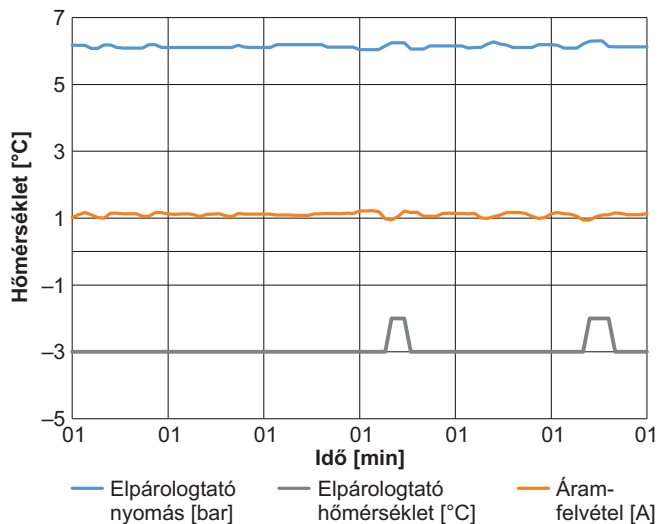
10. ábra. Az On-Off-os berendezésnél a kondenzátor oldali paraméterek alakulása 0 °C és belső hőtermelő esetén



11. ábra. A DC Inverteres berendezésnél a belső hőmérséklet alakulása 0 °C és belső hőtermelés mellett

lan tartja a belső hőmérsékletet és úgy üzemel, mint a második mérésnél, csak magasabb fordulatszámon jár a kompresszor. A fogyasztásmérő a mérés kezdetén 130,6 kWh-t mutatott. A belső hőmérséklet alakulását a 11. ábra, a kondenzátor oldali paraméterek változását a 12. ábra mutatja be (lásd a következő oldalon).

A mérés során az átlagos kompresszor fordulatszám 23,2%-a volt a névleges fordulatszám. Ez a vártnak megfelelő eredmény, mint ahogyan az is, hogy a nagyobb hűtési



12. ábra. A DC Inverteres berendezésnél a kondenzátor oldali paraméterek alakulása 0 °C és belső hőtermelés mellett

7. táblázat. Eredmények behangolt PID szabályozó esetén [7]

Paraméter	On-Off	PID
A tartani kívánt léghőmérséklet [°C]	0	0
Átlag léghőmérséklet [°C]	-0,203	-0,103
Energia felhasználás [kWh/nap]	14,65	5,5

teljesítmény igénynél az áramfelvétel is nőtt. A mérés végén a fogyasztásmérő 136,1 kWh-t írt. A behangolt PID szabályozó esetén kapott eredményeket a 7. táblázat mutatja.

Láthatjuk, hogy ebben az esetben már minden téren az inverteres berendezés a kedvezőbb. Az On/Off-os berendezés fogyasztásának a növekménye azért ilyen drámai, mert a berendezés már csak harmad annyit áll, mint a második mérésben. Ellenben a fordulatszám-szabályozott berendezés követi a hűtési igényt. Épp ezért ilyen körülmények között ez a 62 %-os energia megtakarítás lehetséges az Of-Off-os berendezéssel szemben.

5. Az eredmények összefoglalása, következtetések

Ebben a kutatási munkában a kereskedelmi hűtőtechnikai célra kifejlesztett DC inverteres hűtőberendezés energiafogyasztásának optimalizálását végeztük kísérleti úton. A berendezés PID szabályozóját az arányos, integráló és differenciáló tagjainak megfelelő értékek beállításával optimalizáltuk az optimális energiaellátás elérése érdekében.

A kutatási munka eredményeiből levont főbb megállapításokat az alábbiakban foglaltuk össze:

1. A PID szabályozott DC inverter készülék sokkal nagyobb pontossággal követi a hűtési igényt, mint az On-Off szabályozású hűtőberendezés. A különbség meghatározása a tanulmányban bemutatott kísérleti úton, egzakt módon történt.

2. A DC inverteres hűtőberendezés behangolatlan PID szabályozóval történő üzemeltetése 1,92%-kal nagyobb energiafogyasztást eredményezett, szemben a hagyományos On-Off vezérlésű készülékkel, ugyanabban a hűtőkamrában, azonos üzemeltetési feltételek és körülmények mellett.

3. Az elektronikus expanziós szeleppel, a scroll kompresszorral és a megfelelően behangolt PID szabályozóval üzemeltetett DC inverteres hűtőberendezésen végzett kísérletek együttes hatása mintegy 62,4%-os energia megtakarítást eredményezett, szemben a hagyományos On-Off vezérlésű készülékkel, azonos üzemi körülmények mellett.

A kutatás folytatása gyanánt a cél olyan szimulációs modell kidolgozása hűtőkamrákban alkalmazott klímatechnikai rendszer energiafelhasználásának vizsgálatára, amely figyelembe veszi a gyakorlatban elterjedt kompresszor, adagoló és a vezérlő egységek típusát is, illetve a szimulációs modell validálása a mért eredményekkel.

Támogatók

Ez a kutatási munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFI Alapból [azonosítószám: NKFIH PD_18 127907] valósult meg, valamint a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatásával készült, Budapest, Magyarország.

Felhasznált irodalom

- [1] Ekren, O., et al., Comparison of different controllers for variable speed compressor and electronic expansion valve International Journal of Refrigeration, 33 (2010), pp. 1161-1168.
- [2] Matysko, R., Theoretical model of the operation parameters regulated by the MIMO and SISO system in a cooling chamber International Journal of Refrigeration, 58 (2015) pp. 53-57.
- [3] Ekren, O., et al., Performance evaluation of a variable speed DC compressor International Journal of Refrigeration, 36 (2013), pp. 745-757.
- [4] Buzelin, L. O. S. et al., Experimental development of an intelligent refrigeration system International Journal of Refrigeration, 28 (2005), pp. 165-175.
- [5] Hamid, N. H. A. et al., Application of PID Controller in Controlling Refrigerator Temperature The 5th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), Kuala Lumpur, Malaysia, 2009.
- [6] Aström, K. J.; Häggglund T., PID Controllers: Theory, Design and Tuning, second ed. Instrument Society of America, Research Triangle Park, USA, N.C., 1995
- [7] Ziegler, J. G., Nichols, N. B., Optimum Settings for Automatic Controllers. Trans. ASME, 64 (1942), pp. 759-768.
- [8] Nyers J. et al., Modern and traditional regulation of the evaporation process in the heat pump 24th International Conference "Vyukrovanie 2016", Stara Lubovnja, Slovakia. 2016, pp. 265-270.
- [9] Anantachaisilp, P., Lin, Z., An experimental study on PID tuning methods for active magnetic bearing systems International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 5 (2013), pp. 146-154.
- [10] Simon Richárd, Hűtőkamra energiafelhasználásának vizsgálata újonnan kifejlesztett DC inverteres vezérlő segítségével, TDK dolgozat, TDK szekció: BME Gépészmérnöki Kar, Gépészeti Eljárás technika szekció, 2016