

KOMPRESSZOROS HŰTŐKÖRFOLYAMAT SZEMLÉLTETÉSE ÉS VIZSGÁLATA

STUDY OF A COMPRESSOR REFRIGERATION CIRCUIT

Szabó István-Sándor,¹ Pásztor Judit,² Farmos Rudolf-László³

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék.
Marosvásárhely, Románia, szabo.lisztvan@student.ms.sapientia.ro

² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék.
Marosvásárhely, Románia, pjudit@ms.sapientia.ro

³ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék.
Marosvásárhely, Románia, farmos_rudolf@ms.sapientia.ro

Abstract

An important part of technical education is the presentation of processes through experiments and demonstration tools. This direct sensual experience is one of the sources of knowledge acquisition. The illustration provides a deeper understanding of the curriculum, making the cognitive process more intense. In this study we present a refrigerator model we have designed and implemented. Measurements are then performed on a real refrigerator to study the compressor refrigeration process. The locations where data were acquired are shown on the model.

Keywords: *compression refrigeration system, model, refrigeration cycle, temperature measurement.*

Összefoglalás

A műszaki oktatás folyamatának fontos része a folyamatok kísérletek és szemléltetőeszközök segítségével történő bemutatása. Ez a közvetlen érzéki tapasztalás az ismeretszerzés egyik forrása. A szemléltetés biztosítja a tananyag mélyebb megértését, így intenzívebbé válik a megismerési folyamat. Dolgozatunkban bemutatunk egy általunk tervezett és megvalósított hűtőgép-szemléltető eszközt, majd egy valós hűtőgépen méréseket végzünk a kompresszoros hűtőkörfolyamat tanulmányozása érdekében. A mérési pontokat a bemutatatóeszközön szemléltetjük.

Kulcsszavak: *kompresszoros hűtőgép, szemléltetőeszköz, hűtőkörfolyamat, hőmérsékletmérés.*

1. Kompresszoros hűtőgép szemléltetése

A bemutatatóeszköz olyan térbeli taneszköz, amely alkalmas a tárgyak szerkezeti összefüggéseinek, részeinek, működési elvének szemléltetésére. A bemutatatóeszköz didaktikai követelménye, hogy legyen alkalmas a célirányos és sokoldalú megfigyelésre, a folyamatokat egészében és részleteiben is képes legyen bemutatni.

A kompresszoros hűtőgépet bemutató berendezés vizuálisan segíti a gépek felépítésének és működésének megértését, rögzítését, a műszaki oktatásban résztvevők számára.

A kompresszor a gázok nyomásának növelésére alkalmas gép. Hajtása erőgéppel, gyakran villanymotorral történik. Szinte minden háztartásban fellelhető: a hűtőszekrényekben, a klímaberendezésekben, az autókban, a legtöbb levegő felhasználásával működő szerszámban jelen van [1].

A hűtőgép segítségével mesterségesen lehet előállítani és tartósan fenntartani a környezetnél alacsonyabb hőmérsékletet [2].

1.1. Kompresszoros hűtőgép elvi felépítése, működése

A kompresszoros hűtőgép elvi felépítése az 1. ábrán látható. A hűtőgép fő részei, a kom-

resszor, a kondenzátor, a fojtó, az elpárolgató, amelyek egy zárt rendszert alkotnak. A zárt rendszerben a hűtőközeg kering [2].

A hűtőközeg lehet gáz vagy gőz. A leggyakoribb a gőz-halmazállapotú hűtőközeg [3–4]. A következőkben csak ezt tárgyaljuk. A hűtőközeg a hűtés folyamata alatt különböző halmazállapotokban van jelen.

A kompresszor megnöveli a nedvesgőz-halmazállapotú hűtőközeg nyomását és hőmérsékletét, így a nagy nyomású és magas hőmérsékletű gőz tovább áramlik a kondenzátor felé. A kondenzátor egy nagy felületű hőcserélő. Az ideérkező túlhevített, magasnyomású gőz leadja a hőt a környezetnek, emiatt lehűl és kondenzálódik. A cseppfolyós hűtőközeg egy fojtón halad át, amely fenntartja a nyomáskülönbséget, és ahol a közeg expandál, emiatt nyomása csökken, így a hőmérséklete is. Az alacsonyabb nyomás miatt alacsonyabb hőfokon kezd forrni. A párolgáshoz hőt von el a környezetéből. A hőfelvétel a párologtatóban valósul meg. Az ideérkező hűtőközeg nedvesgőz-halmazállapotú, ami itt teljesen elpárolog, miközben hőt vesz fel a hűtendő közegből. A párologtatóból hideg gőzként távozik. A hűtőgép kompresszorához általában hozzátartozik egy hőcserélő, rekuperátor, az érkező hideg gőz hűti a távozó meleget, így a kompresszorhoz magasabb hőmérsékletű hűtőközeg érkezik. Ameddig a kompresszor biztosítja a hűtőközeg körforgását, addig ezek a folyamatok lejátszódnak, ezáltal a párologtató környezete lehűl, míg a kondenzátoré felmelegedik.

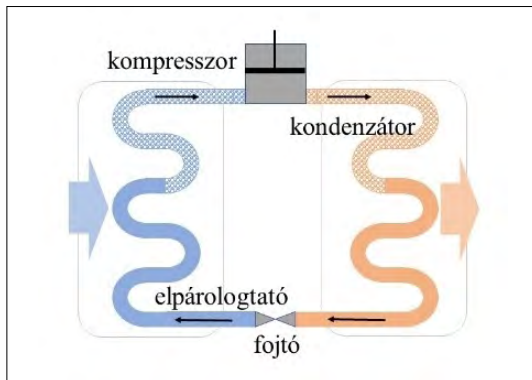
1.2. A kompresszor szemléltetése

A szemléltetőeszköz megalkotásához felhasználtuk egy hűtőgép kompresszorát. A kompresszort felnyitottuk, kiemeltük a házából, így láthatóak a dugattyú, a hengerfej, a szelepek, jelen esetben a hűtőközeg áramlási járatai, a szóróolajozás és a hajtómotor, 2. ábra.

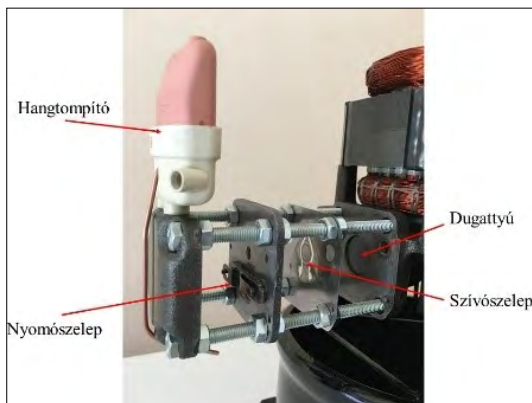
A hengerfedél, a szelepek és a szívóoldali hangtompító megfelelő szemléltetése érdekében az eredeti rögzítő csavarokat lecseréltük, és kialakítottuk a megfelelő távolságot a szemrevételezéshez.

1.3. Hűtőgép szemléltetése

A hűtőgép-szemléltető eszköz megalkotásához szintén egy régi hűtőgép alkatrészeit használtuk fel. A bemutatóeszköz tartalmazza a hűtőkör alapvető részeit: a kompresszort, a kondenzátort, a párologtatót, a párologtatóval közös testként kialakított fojtót. A szemléltetőeszköz kiegészül a szárítóval és a csővezetékkel (3. ábra, 4. ábra).



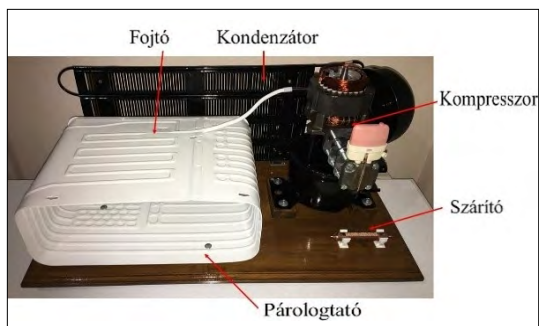
1. ábra. Hűtőgép elvi felépítése, működése



2. ábra. Megvalósított kompresszorszemléltető eszköz



3. ábra. Szárító bemutatása



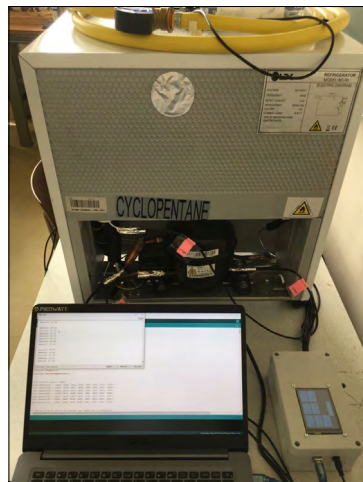
4. ábra. Megvalósított hűtőgép-szemléltető eszköz

A kondenzátor általában nagy méretű, így csak egy részét használtuk fel.

A szárító a rajta áthaladó hűtőközeget megszüri, és kivonja belőle az esetleges nedvességet [2]. Felépítésének bemutatásához a burkolatot hosszában bevágtuk, a szűrőket megtisztítottuk, majd a szilikagél golyókat pillanatragasztóval rögzítettük.

A párologtató egy 120×400×300 mm alumíniumdoboz, amelynek falában kialakított csőrendszer található, ebben kering a hűtőközeg. Felületén megfigyelhető a fojtó, amely a belépőoldalon van kiképezve.

A csövek egymáshoz rögzítését a könnyű szerelhetőség érdekében áttetsző, flexibilis PVC-tömlővel valósítottuk meg.



5. ábra. A vizsgált hűtőgép és az adatgyűjtés

2. Kompresszoros hűtőkörfolyamat vizsgálata

A hűtőkörfolyamat tanulmányozása érdekében egy valós hűtőgép elemeit együttesen vizsgáltuk. A hűtőgép zárt rendszer, így csak a hőmérséklet mérésére van lehetőség. Erre egy mérőrendszert alakítottunk ki.

2.1. Mérőrendszer

A vizsgálatot 43 L térfogatú, LDK-hűtőszekrényen végeztük, 5. ábra. A vizsgált hűtőgép kondenzátora az oldalfalakba van beépítve, a párologtató-fagyasztó része kis méretű. Hűtőközege izobután, jelölése: R600a. Az izobután normál légköri nyomáson $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on forr, és $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, 3,5 bar nyomással cseppfolyósítható [5].

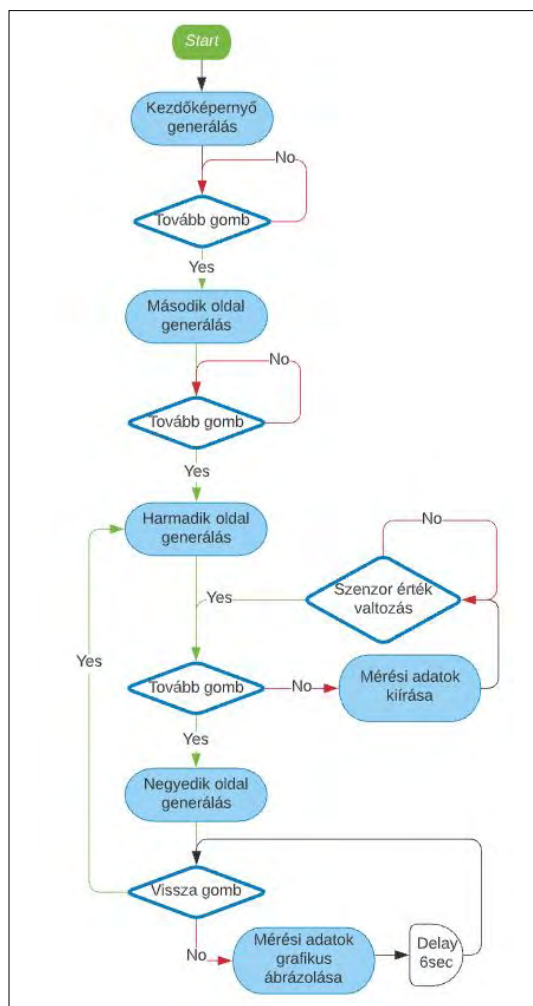
A mérőegység főbb alkotó elemei: Arduino Mega2560, 7 darab DS18B20 hőmérséklet-érzékelő szenzor, 3,2" átmérőjű, érintőképernyős, színes TFT LCD-kijelző.

A mérőprogram célja egy könnyen áttekinthető felület létrehozása, amely a felhasználónak egy időben mutatja az összes szenzor által mért hőmérsékleti értéket [6]. A hőmérséklet-változásokat grafikus felület is szemlélteti. A könnyebb követhetőség érdekében minden szenzornak saját színekódja van. A felhasználói felületen 4 oldal között lehet navigálni, ezt lehetővé teszi az érintésszerű kijelző.

A program folyamatábrája a 6. ábrán látható.

2.2. Mérés

A hűtőgép vizsgálatához a hét szenzort a működés szempontjából lényeges, fontos helyekre rögzítettük: a kompresszor elé és a kompresszor után, a kondenzátoron, a szárító elé, a szárító után, a fojtó elé és a fojtó után. A hőmérő szen-



6. ábra. A program folyamatábrája

zorok rögzítése alumínium ragasztószalaggal és hővezető paszta segítségével történt.

A hűtőgép elindítása után a szenzorok adatai egy *.txt állományba mentődnek; ezek a képernyő negyedik oldalán követhetők (7. ábra).

A hűtőközegnek a hűtőgép működése közbeni hőmérséklet-változása a mérési helyeken a 8. ábrán követhető.

A 8. ábrán láthatóak a mérési helyek, és azonosíthatóak a hűtőkörfolyamat elemi folyamatai:

- S4-S1: Kompresszor általi hőmérséklet-növekedés;
- S1-S5-S2-S3-S6: Kondenzátoron hőmérséklet-csökkenés;
- S6-S7: Fojtás, hőmérséklet-csökkenés;
- S7-S4: Elpárolgatás, hőmérséklet-növekedés.

2.3. A hűtőkörfolyamat vizsgálata

A hűtőkörfolyamat mentén a hűtőközeg halmazállapot-változásának szemléltetéséhez, vizsgálatához gyakorlati jelentőséggel bír a hűtőközeg nyomásának és entalpiájának ismerete [4, 7, 8, 9]. Az entalpia, jele H , energiadimenziójú, kalorikus állapotjelző, mértékegysége [J].

A hőmérséklet alapján meghatározható a hűtőközeg telített gőznyomása, ezt az izobután telítettgőznyomás-karakteristikájára alapoztuk. Az R600a, izobután hűtőközeg adott hőmérséklethez tartozó telítettgőznyomás-értékei a szakirodalomban fellelhetők [5]. Ezen értékek segítségével egy közelítő polinomot képeztünk (9. ábra).

A közelítő polinom összefüggése:

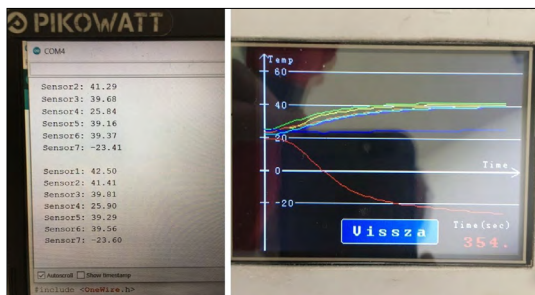
$$p = 4 \cdot 10^{-6} t^3 + 8 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,562 t + 1,5624 \text{ [bar]} \quad (1)$$

Az (1)-es összefüggés segítségével meghatároztuk a kompresszor utáni és a fojtó utáni hőmérsékleti értékekhez tartozó telítettgőznyomás-értékeket. Az adatokat az 1. táblázat tartalmazza. Ugyanitt feltüntettük a szakirodalomban megtalálható, R600a hűtőközeg várható adatait is.

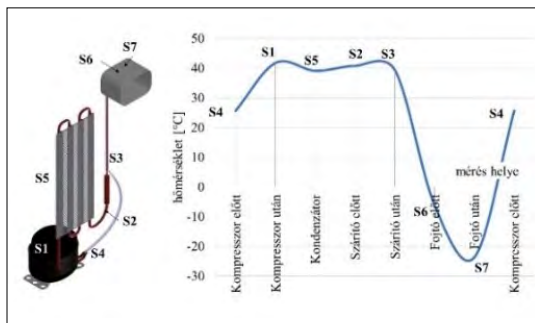
A hűtőkörfolyamat a p-h diagramon jól szemléltethető, 10. ábra, ahol h a fajlagos entalpia, [J/kg].

1. táblázat. Meghatározott telítettgőznyomás-értékek

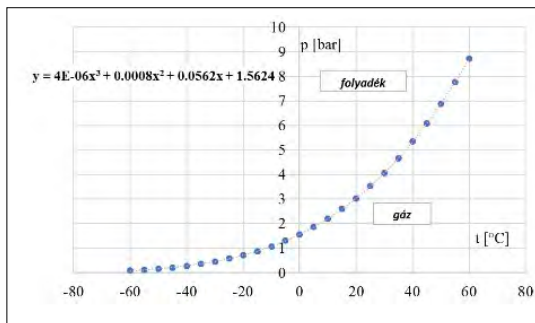
Szenzor száma	Szenzor helye	Hőmérséklet (°C)	Számolt nyomás (bar)	Szakirodalmi adatok
1	Kompresszor után	41,75	5,60	40 ÷ 60 °C max. 8 bar
7	Fojtó után	-23,66	0,61	-25 ÷ -20 °C 0,5 ÷ 1 bar



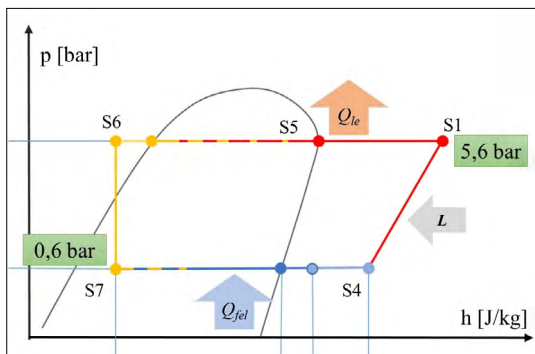
7. ábra. Megjelenített adatok



8. ábra. Hűtőközeg hőmérséklet-változása a mérési helyeken, a körfolyamat mentén



9. ábra. R600a, izobutántelített gőznyomás diagramja



10. ábra. A hűtőkörfolyamat szemléltetése p-h diagramon

A diagram S4-S1 szakaszán követhető a kompresszor nyomásnövelő hatása és az entalpiánövekedés. A hűtőközeg túlhevítettgőz-halmazállapotba kerül. A számolt 5,6 bar nyomás elfogadható a szakirodalmi adatok alapján.

Az S1–S5–S6 szakaszon, a kondenzátoron a hőmérséklet csökken (**8. ábra**). A hűtőközeg gőz-halmazállapotból folyékony halmazállapotba megy át (**9. ábra**). Izobár hőleadás, entalpiacsökkenés történik.

Az S6–S7 szakaszon a fojtón történő nyomásesés látható. A fojtó után mért hőmérsékleti érték illeszkedik a szakirodalmi adatokhoz, (**1. táblázat**, **8. ábra**). Ha abból indulunk ki, hogy a fojtó után a hűtőközeg gőz-halmazállapotú, akkor belátható, hogy a meghatározott 0,6 bar nyomás reális lehet (**1. táblázat**, **10. ábra**).

Az S7–S4 szakaszon a hűtőközeg elpárolog, izobár hőfelvétel történik, az entalpia növekszik.

3. Következtetések

A szemléltetőeszköz kis helyigényű, könnyen kezelhető, biztonságos. Bemutatja a hűtőgép fontos részeit, lehetőséget ad az elemi folyamatok követhetésére.

A mérőegység segítségével valós időben követhető a hőmérsékletek változása. A szemléltetőeszközön bemutathatóak a mérési helyek.

A kompresszoros hűtőkörfolyamatban a hűtőközeg hőmérséklete, nyomása és halmazállapota változik, ezt a bemutatkozóeszköz magyarázza, és a mérések igazolják, szemléltetik.

A megvalósított szemléltetőeszköz összeköti az elméleti fogalmakat a gyakorlattal.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kakucs A.: *Áramlástan*. Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2006.
- [2] Juhász L., Maiyaleh T., Vadász J., Vasáros Z.: *Gyakorlati hűtéstechnikai ismeretek*. Nemzeti Klíma-védelmi Hatóság, Budapest, 2020.
- [3] Santa R.: *Investigation of the Thermodynamic Characteristics of the Ester Oil and R152a, R125, R134a and R123 Refrigerant Mixtures*. Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering, 13 (2021) 14–24.
<https://doi.org/10.2478/auseme-2021-0002>
- [4] Sánta R.: *Pressure Drop during Condensation of Refrigerant R134a inside Horizontal Tubes*. IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES), (2011) 117–122.
<https://doi.org/10.1109/EXPRES.2011.5741804>
- [5] *A kompresszoros hűtőgép kivitelezése*.
<https://www.netfizika.hu/a-kompresszoros-hutogep-kivitelezese>. (letöltve: 2021. május 11.).
- [6] Harsányi R., Juhász M. A.: *Fizikai számítástechnika: elektronikai alapok és Arduino programozás*. Typotex Kiadó, 2014. (letöltve: 2021 május 15.)
- [7] Santa R.: *Comparative Analysis of Heat Pump System with IHX Using R1234yf and R134a*. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, 65/4. (2021) 1–11.
<https://doi.org/10.3311/PPme.18390>
- [8] Sánta R.: *Investigations of the Performance of a Heat Pump with Internal Heat Exchanger*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 146. (2021) 11130.
<https://doi.org/10.1007/s10973-021-11130-5>
- [9] Sánta R., Garbai L.: *Measurement Testing of Heat Transfer Coefficients in the Evaporator and Condenser of Heat Pumps*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 119/3. (2015) 2099–2106.
<https://doi.org/10.1007/s10973-014-4303-4>