

HŰTŐGÉP KONDENZÁTORÁNAK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

ENERGETIC ANALYSIS OF A REFRIGERATOR CONDENSER

Fodor Béla*, Nagy József**

ABSTRACT

This article shows the variation of refrigerator condenser temperature range. Temperature is measured on the wire of the condenser. The test was made on a 160-litre refrigerators (in A and A+ energy classes) with a thermocamera.

1. BEVEZETÉS

A hűtőgépek energetikai vizsgálata során az energiahatékonyság növeléséhez a hűtőkör elemeinek vizsgálata elengedhetetlen. A hűtőgépben található a hűtőkör, ami egy hűtőközeggel feltöltött zárt rendszer. A hűtőkörben az elpárolgató gondoskodik a hűtőgép belső terében lévő hő elvonásáról. Az elpárolgatóból a kompresszor szívja el a hűtőközeget és kompresszió után a kondenzátorba nyomja. A kondenzátorban a hűtőközeg kondenzálódik, hőt ad le a környezetnek. A kondenzátorból a kapilláris csővön keresztül jut a hűtőközeg ismét az elpárolgatóba. A hűtőkör része a csővezetékrendszer, valamint a hűtőkört magában foglaló hűtőgép test, mely fém és hőszigetelő anyagokból van felépítve. A hűtőgép egyes részeinek vizsgálata és optimalizálása a gép teljes hatásfokát növelheti.

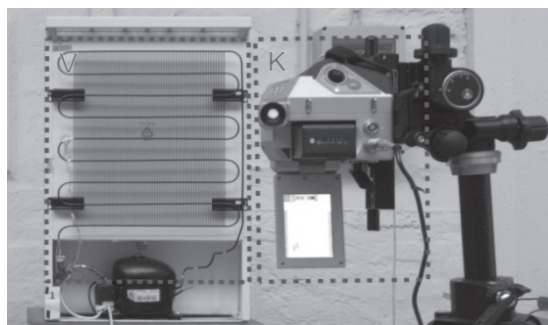
A cikk bemutatja a hűtőgép kondenzátorának elhelyezéséből adódó, hőmérséklet eloszlás változást a hűtőgép hátoldalán és a kondenzátor huzaljain mérve.

2. VIZSGÁLT HŰTŐSZEKRENYEK ÉS AZ ALKALMAZOTT MÉRŐESZKÖZÖK

A vizsgálatot hat A és A+ energiaosztályú 160 l-es fagyasztótér nélküli hűtőszekrényeken végeztük. A hőmérséklet eloszlást egy 640 x 480 felbontású VariCAM Hires 680 típusú hőkamerával határoztuk meg.

A mérés elrendezését az 1. ábra szemlélteti. Az ábrán a hűtőgép kondenzátorát „V”-vel és a kamerát „K”-val jelöltük. A kamera és a tárgyfelület közötti távolság 1,6m. A hőmérsékletmérés során a transzmissziós közeg levegő, melynek hőmérséklete 19 - 27°C. A mért felületek emissziós tényezője ~85%, azonban a különbségek feltárásának tekintetében elhanyagolható. A mért felüle-

tek zománcfestékkel festettek, reflexiós tényezőjük az összehasonlító vizsgálatból adódóan elhanyagolható. A hűtőgép energiafelvételének meghatározásához egy 60s periódusidejű teljesítménymérőt használtunk.



1. ábra Hőkamera mérés elrendezése

3. VIZSGÁLATOK CSOPORTOSÍTÁSA

A vizsgálatokat azonos mérési elrendezésben és közel azonos környezeti feltételek mellett végeztük. A mérés során a hűtőszekrények vizsgálatát alap és különleges vizsgálatok csoportjaira osztottuk. A csoportosítást a kondenzátor elrendezése alapján definiáltuk.

A méréseknél egy bekapcsolás és egy teljes visszahűlésből álló ciklus mérését végeztük.

3.1. Alapvizsgálatok

Alapvizsgálatoknak tekintettük a hűtőszekrényeken végzett rövid és hosszú tesztek. A méréseket a kondenzátor eredeti „gyári” elrendezése mellett végeztük.

- Rövid: 10 - 13 perc közvetlenül az első bekapcsolást követően.
- Hosszú: legalább egy teljes be-kikapcsolás—visszahűlés ciklus közvetlenül az első bekapcsolást követően.

3.2. Különleges vizsgálatok

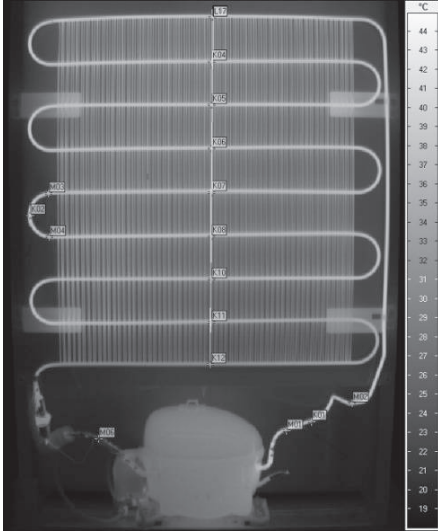
Az alapvizsgálatokat követően a kapott eredményeket összesítve és a hőképeket tanulmányozva, különböző egyedi vizsgálatokat végeztünk az egyes hűtőgépeken. Ezáltal képet kaphatunk a kondenzátor elhelyezéséből adódó változások megfigyelésére.

*egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Aramlás és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

**termékfejlesztési igazgató, Elektrolux Lehel Kft.

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A rövid tesztek célja az volt, hogy a bekapcsolást követően vizsgáljuk a kondenzátor működését. Egy kiragadott hőképen felvett mérési pontok helyét szemlélteti a 2. ábra, ahol a kondenzátor mentén 17db mérési pontot határoztunk meg, amiből közvetlenül előállítottuk a pontokhoz tartozó idődiagramokat.



2. ábra: Rövid és hosszú tesztek kiértékelésénél használt mérési pontok elrendezése

A hűtők kondenzátorának hőmérsékletfutási diagramjai alapján a diagramok részletezése nélkül az alábbi megállapítások tehetők:

- Az induló hőmérséklet a laboratórium környezeti hőmérsékletéhez igazodott és 21-23°C között változott, tehát kis eltéréssel közel azonosnak vehetők.
- A hőmérsékletfutás meredekségében különbségek figyelhetők meg. Két hűtőt meredek hőmérséklet emelkedés jellemzett. A másik három hűtőgép esetén az emelkedés lényegesen lassúbb.
- A hőmérsékletcsúcsokban is kimutatható különbség, de ez nem igazodik sem a kezdőhőmérsékletéhez, sem a felfutási meredekséghez. A különbségek szélsőértékei maximum 4°C eltérést mutattak.
- A fenti megállapításokat összevetve és az energiámérők által mért teljesítményértékek alapján megállapítható, hogy a nagyobb teljesítményfelvétele éppen annak a két hűtőnek van, mely vizsgálatánál meredekebb hőmérsékletfutás mutatkozott.

A hosszú tesztek célja az volt, hogy az első két be-ki kapcsolási ciklus alatt a kondenzátor különböző pontjain a hőmérsékletváltozást megfigyelve milyen jellegzetességek adódnak, amelyek esetleg segíthetik a gépek minősítését. A vizsgálat során a rövid teszttel azonos 17 pontot használtuk a kiértékeléshez, mely alapján az öt hűtő kondenzátorának hőmérsékletfutási diagramjának összehasonlításából az alábbi megállapítások tehetők:

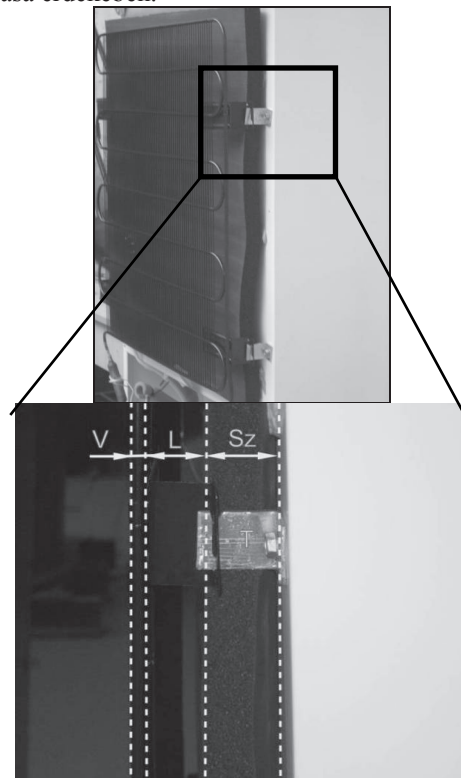
- Az első működési ciklus döntően az első 3000 sec-ra esik, egyes hűtőgépek esetén már a 2. ciklus is éppen elindul.
- Az első ciklus jellemzően 1350÷1500 sec-ig tart.

- Összefüggés látszott a ciklus hossza és a névleges teljesítménytől való százalékos eltérés között. Azonban a vizsgált hűtőgépek között egy esetben az első ciklus hossza viszonylag hosszú volt miközben a teljesítménymérés a legjobb eredményt adta.
- Egy hűtőgép esetén megállapítható volt, hogy az irreálisan magas ciklus hossza a legrosszabb gépre utal. Tehát a ciklushossz extra növekedése alkalmas a megnövekedett teljesítményfelvételű gép kiszűrésére, de ehhez hosszú ideig (40-50 perc) kell a gépet járatni.

A különleges vizsgálatot három módosított kondenzátorkialakítás esetén végeztük, melyek a következők.

4.1. Előrehozott kondenzátor

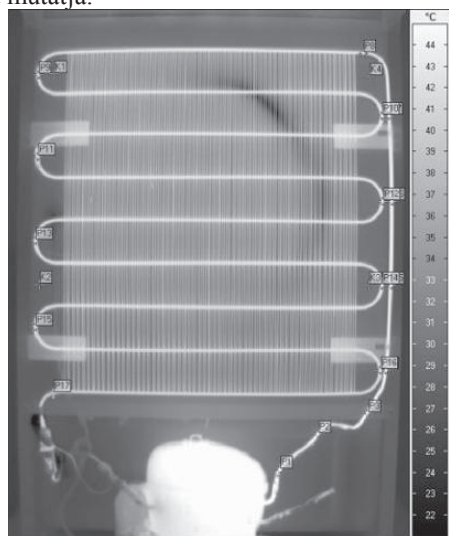
Az egyik hűtőgép hátlapja és a kondenzátor közötti távolságot megnöveltük 25mm-el, ezáltal a hűtőgép testben elhelyezett elpárologtató kondenzátorra gyakorolt hatását csökkentettük. Ezt követően a megnövekedett távolságot szigetelőanyaggal töltöttük ki a hatás fokozása érdekében.



3. ábra: előrehozott kondenzátor kialakítása

A 3. ábra szemlélteti a (T) távtartóval szerelt (V) kondenzátort, ahol Sz-el jelöltük a 25mm polisztirol szigetelést és L-el a 23mm légrést, mely azonos az átalakítás előtti légréssel. A két lépésben történt változtatás után hosszú tesztekkel végeztünk. Ezt követően a kondenzátor normál elrendezése mellett 24 órás vizsgálatot készítettünk, ahol a 24. órában egy hosszú ciklust vetettünk össze ugyanezen hűtőgép többi elrendezésével. Az elkészült hőképek alapján a kondenzátor mentén 17db mérési pontot határoztunk meg, amiből közvetlenül előállítottuk a pontokhoz tartozó idődiagramokat.

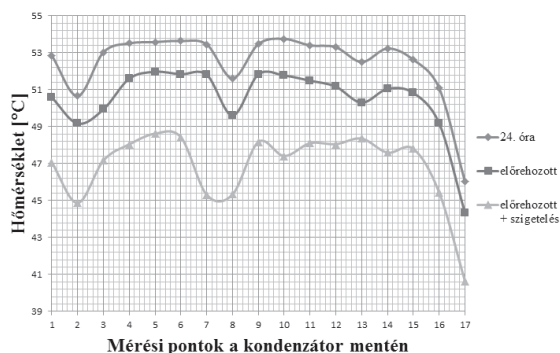
Az így előálló mérési pontokat alkalmaztuk minden különleges vizsgálat esetén. A pontok elhelyezkedését a 4. ábra mutatja.



4. ábra: Különleges vizsgálatoknál alkalmazott mérési pontok elrendezése

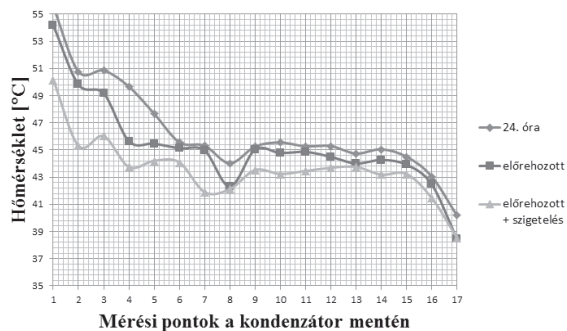
A vizsgálatokat eltérő időpontban végeztük ezáltal a környezeti hatások kismértékű változása is megnehezítette az összehasonlíthatóságot. Ezáltal bevezettük az úgynevezett kompenzált hőmérsékletértékeket. A kompenzációt a vizsgált hűtőgép hosszú mérésének eredményeiből kiindulva (referencia hőmérséklet) a hátlap átlaghőmérsékletének változása alapján végeztük.

- Az 5. ábra alapján azt rögzíthetjük, hogy a felfutás végére a vizsgált minden mérési pont (a kondenzátor teljes hossza mentén) esetén a kondenzátor eltávolítása $\sim 2^\circ\text{C}$ kondenzátorhőmérséklet-csökkenést okozott. A hőszigetelés behelyezése pedig további $3-4^\circ\text{C}$ -os csökkenéshez vezetett az alapesethez képest.



5. ábra: Kompenzált maximális hőmérsékletek

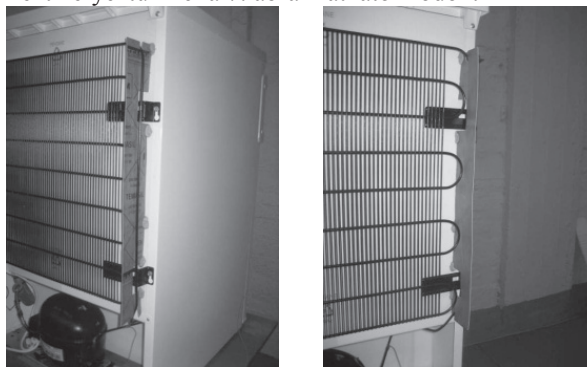
- A 6. ábrából megállapítható, hogy a kompresszor kikapcsolásának időpillanatában a kondenzátor elején, a kompresszorból kijövő közeg hőmérsékletében a vizsgált variációk esetén esetenként akár 6°C különbség is mutatkozott hasonlóan a felfutás végi esethez.
- Ez a különbség azonban a kondenzátor felszálló csövének legfelső pontjáig (8. sz. pont) már gyakorlatilag megszűnt, $1-2^\circ\text{C}$ különbség maradt, ami aztán gyakorlatilag a kondenzátor végéig állandósult.



6. ábra: Kompenszált hőmérsékletek a kompresszor kikapcsolási pillanatában

4.2. Kondenzátor felszálló ágának hőtechnikai elválasztása

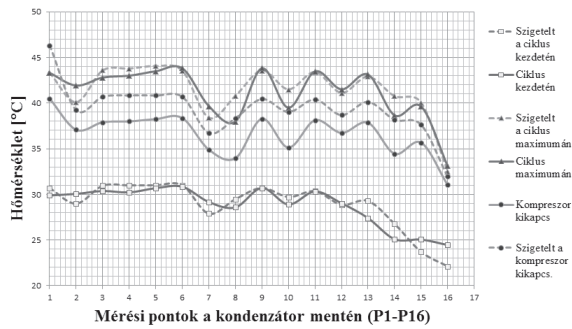
A kondenzátor vizsgálatok során megfigyeltük, hogy a kondenzátorvezeték magas hőmérsékletű felszálló ágának környezetében lévő leszálló csővezeték íveinek hőmérséklet értékei kis mértékben megnövekednek. Ennek a tanulmányozásához egy elválasztó szigetelőlemez helyeztünk el a 7. ábrán látható módon.



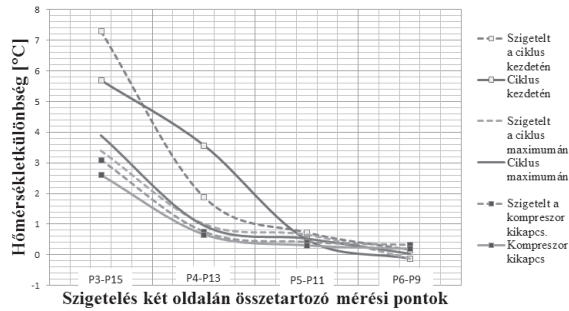
7. ábra: Elszigetelt felszálló kondenzátorvezeték

Az elszigetelt és a szigetetlen hűtőgépek összehasonlító vizsgálatának eredményeit a 8. és 9. ábra részletezi, amiből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A 8. ábra alapján megállapítható, hogy a hűtési ciklus elején és közepén nincs érdemi különbség az árnyékolás nélküli és az árnyékolt hőmérsékletek között. A hűtés végén azonban a teljes kondenzátor mentén $3-5^\circ\text{C}$ hőmérsékletkülönbség jelentkeztek.
- A 9. ábra tanúsága szerint a legelső csőív és a felszálló cső között (P3-P15) a legnagyobb a hőmérsékletkülönbség mindhárom vizsgált időpillanatban, függetlenül attól, hogy árnyékolt-e vagy nem.
- A különbség csökken a hűtési ciklus előrehaladtával és a ciklus végén $\sim 1^\circ\text{C}$ -ra csökken.
- A hőmérsékletkülönbség felfelé haladva a felszálló cső mentén, mind időben, mind a hely tekintetében egyre csökken. Végül a legfelső találkozási pontban (P6-P9) az időtől és az árnyékolástól függetlenül szinte teljesen azonos lesz, max. $0,5^\circ\text{C}$ eltérést találunk, ami a mérési hibával azonos nagyságrendű.



8. ábra: Hőmérsékletek a kondenzátor mentén a hűtési ciklus 3 jellemző pontjában



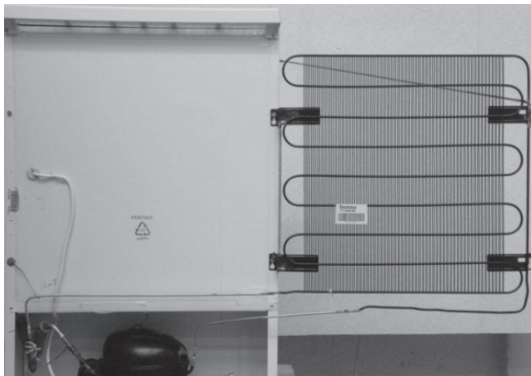
9. ábra: Hőmérsékletkülönbségek az árnyékolás két oldalán a hűtési ciklus 3 jellemző pontjában

Összefoglalóan megállapítható tehát, hogy a csőigény és a felszálló vezeték közti árnyékolásnak némi hatása van, nagyobb számú mintán érdemes lenne a vizsgálat-sort megismételni laborkörülmények között.

4.3. A kondenzátor és a hűtőgép test teljes elkülönítése

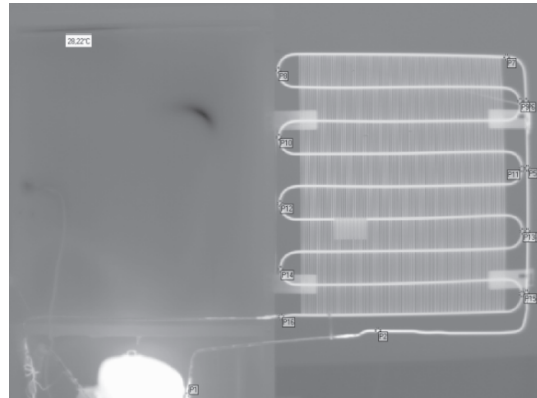
A mérés során elsődleges szempont volt, hogy változik-e a kondenzátor menti hőmérséklet a korábbi elrendezésekhez képest. A vizsgált hűtőgépet a 10. ábra, a mérési pontok elrendezését a 11. ábra szemlélteti. Az eltolt és a „gyári” módon szerelt kondenzátorok összehasonlítása során az alábbi következtetések állapíthatók meg:

- Az eltolt kondenzátorú gép esetén a kondenzátor felfűtési szakaszának végén a maximális hőmérséklet némileg magasabbra emelkedett és a hűtési ciklus is ~10%-al hosszabbra tevődik.



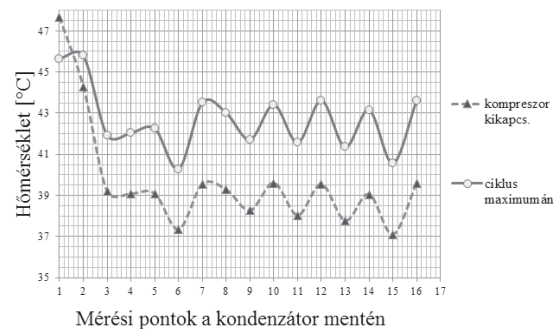
10. ábra: Eltolt kondenzátorral szerelt hűtőgép

- A „gyári” kondenzátorok esetén a felfűtési görbe meredeksége nagyobb, mint az eltolt kondenzátor esetén, ennek oka az lehet, hogy a kondenzátor két oldalról találkozik a környezettel, ezáltal a hűlési hatás nagyobb.



11. ábra: Alkalmazott mérési pontok a kondenzátor mentén.

- A mérés során a laboratóriumban tapasztalható huzat hatása érződött a hűtési szakasz második felében, mivel a hőmérséklet lefutási görbék a szokásosnál hullámosabbak lettek (12. ábra).



12. ábra: Kondenzátor menti hőmérsékleteloszlás.

Az eltolt kondenzátorú gép mérése megerősítette, hogy a kondenzátor és az elpárologtató közötti falon keresztül a hőtechnikai jellemzők csak elhanyagolható mértékben vannak hatással egymásra.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Külön köszönet az Elektrolux Lehel Kft.-nek a kutatómunkában nyújtott segítségével.