

HŰTŐKÉSZÜLÉKEK ENERGIAFOGYASZTÁSA

ENERGY CONSUMPTION OF REFRIGERATORS

Nagy József¹, dr. Tolvaj Béla²

ABSTRACT

This article shows what factors determine the energy consumption of freezers, refrigerators by analyzing two cases. In the first case the evaporator is inside, the condenser is outside of the appliance. In the second case the evaporator is on the internal surface and condenser is on the external surface.

A háztartási hűtőberendezések egy-egy ország energiafogyasztásának jelentős részét adják. Az el-múlt évtizedben számos termékfejlesztési projekt célja volt a villamos energiafogyasztás csökkentése az üzembiztonság és a felhasználói szempontok figyelembevételével. A gyártókat erre ösztönzik az európai előírások az energiacímkék bevezetésével és az egyre szigorodó energiafogyasztási határértékekkel. Föld-rajzi régióként külön-külön szabványok írják elő a készülékek energiafogyasztásának mérési körülményeit. Vannak olyan országok, ahol a laboratóriumi méréseket a tényleges háztartási üzem körülményeihez próbálják közelíteni.

2. ENERGIAFOGYASZTÁS MÉRÉS

Az 1. táblázat az észak-amerikai, japán és az európai szabványokban előírt paramétereket mutatja be [1-4]. Ebből jól látszódik, hogy az európai előírás [4] követi a nemzetközi szabványt (ISO 15502) [3], azzal a módosítással, hogy a definiált klímaosztálytól függetlenül az energiafogyasztást 25 °C-on kell mérni a jobb összehasonlíthatóság miatt. Az észak-amerikai szabvány (ANSI/AHAM HRF-1) [1] szerinti mérés legjelentősebb eltérést a fagyasztókészülékek esetén mutatja. Míg a nemzetközi szabvány szerint a legmelegebb mérőcsomag legmelegebb hőmérsékletének kell -18 °C-nak vagy annál hidegebbnek lennie, addig az észak-amerikai szabvány szerint az átlaghőmérsékletnek kell -17,8 °C (0 °F)-nak lennie. A 2006-tól érvényes japán JIS C 9801 [2] szabvány az nemzetközi szabványtól abban tért el, hogy a mérés körülményeit megpróbálja jobban közelíteni a tényleges háztartási használat körülményeihez. Ez azt jelenti, hogy változó környezeti hőmérséklet mellett kell a mérést végezni, valamint a mérés során a készülék ajtaját nyitogatni, a fagyasztótérben a csomagokat cserélgetni kell. Ez a mérés ugyan jobban közelíti a tényleges használat körülményeit, de a tapasztalataink alapján megkérdőjelezhető a mérés megismételhetősége. A mérés eredménye nagy mértékben függ az ajtónyitás, csomagcsere és a kompresszor szakaszos üzemének egybeesésétől.

¹ termékfejlesztési vezető, Electrolux Lehel Kft.

² egyetemi docens, Miskolci Egyetem Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

1. táblázat Az energiafogyasztás mérésére vonatkozó szabványok összehasonlítása

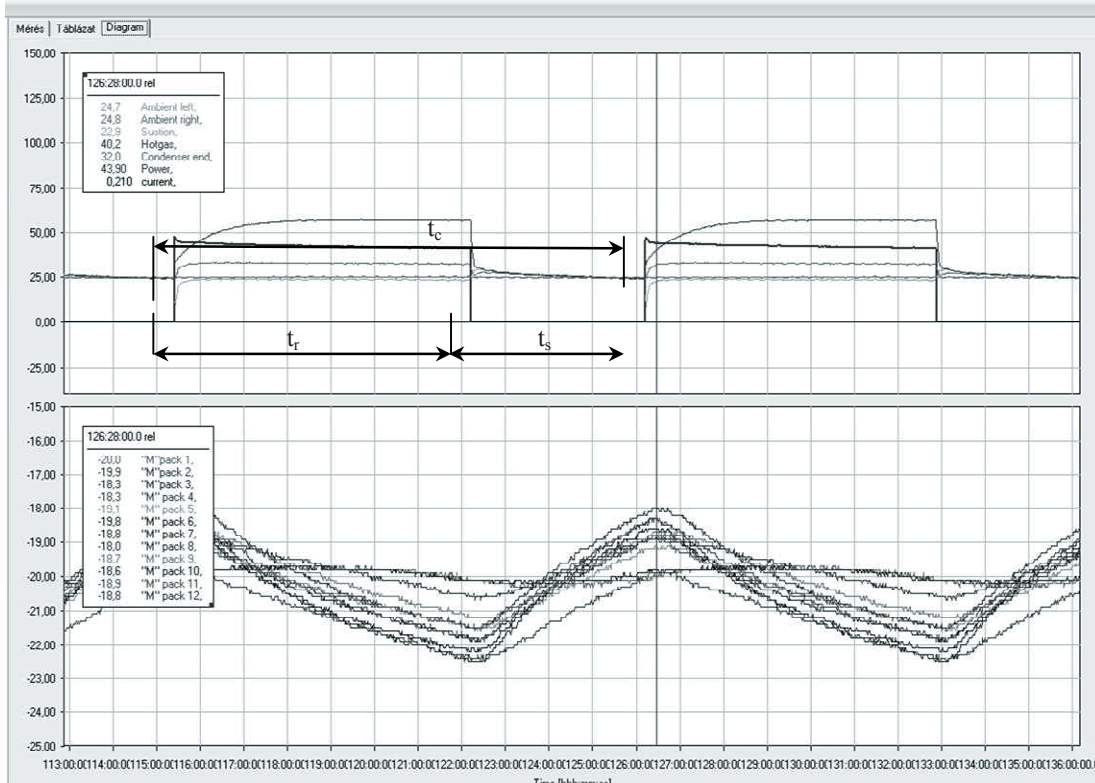
Paraméter	ANSI/AHAM HRF-1	JIS C 9801	ISO 15502	
Környezeti hőmérséklet	32.3 ± 0.6 °C (90 °F)	30 °C: 180 nap 15 °C: 185 nap	25 ± 0.5 °C (EN153) 32 ± 0.5 °C	
A környezet relatív páratartalma	nem specifikált	30 °C: 75 ± 0,5 % 15 °C: 55 ± 0,5 %	45-75 %	
Tér részek hőmérséklete	friss élelmiszer tároló	3.3 °C (38 °F) 7.22 °C (45 °F)	≤ 4 °C	5 °C
	fagyasztó	-15 °C (5 °F) -17.8 °C (0 °F)	≤ -18 °C	-18 °C
Ajtó-nyitás	friss élelmiszer tároló	nincs	35 /nap	nincs
	fagyasztó	nincs	8 /nap	nincs
Terhelés	friss élelmiszer tároló	nincs	a teszt-csomagokat cserélni kell a tesztelés alatt	nincs
	fagyasztó	nincs		borjú húsnak megfelelő termodinamikai jellemzőjű teszt csomagok

3. AZ ENERGIAFOGYASZTÁS BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{P}, \quad (4)$$

Az 1. ábra egy hűtőkészülék energiafogyasztásának mérésekor felvett teljesítménygörbéjét, a belsőterben mért hőmérsékletek változását, valamint a kondenzátor hőmérsékletét mutatja az idő függvényében.

ahol COP az energiatényező (Coefficient Of Performance), \dot{Q}_e az elpárologtató hűtőteljesítménye, P a kompresszor által felvett teljesítmény.



1. ábra Az energiafogyasztás mérés során felvett diagramok

Az energiafogyasztás a teljesítménygörbe alatti területtel azonos.

$$W = \int_{24h} P dt, \quad (1)$$

ahol W a napi energiafogyasztás, P a kompresszor által felvett villamos teljesítmény.

Az energiafogyasztás mérés a hűtőkészülék állandósult állapotában történik. Ez azt jelenti, a készülék működési ciklusai megegyeznek egymással. Egy ciklus idejét t_c -vel jelöljük, ami a futásidő (t_r) és az állásidő (t_s) összege. A futásidő és a ciklusidő hányadosa a relatív futásidő:

$$\varphi = \frac{t_r}{t_c}. \quad (2)$$

A napi ciklusok száma:

$$n = \frac{24[h]}{t_c[h]}. \quad (3)$$

A hűtőkörfolyamat hatékonyságát az energiatényező mutatja meg:

A (4) egyenletből kifejezhető a teljesítmény:

$$P = \frac{\dot{Q}_e}{COP}. \quad (5)$$

Ezt behelyettesítve az (1) egyenletbe felhasználva (3) összefüggést kapjuk a

$$W = n \int_{t_c} \frac{\dot{Q}_e}{COP} dt \quad (6)$$

eredményt. A COP-t állandónak tekintve és figyelembevéve, hogy az állásidő alatt a teljesítményfelvétel zérus a

$$W = \frac{n}{COP} \int_{t_c} \dot{Q}_e dt \quad (7)$$

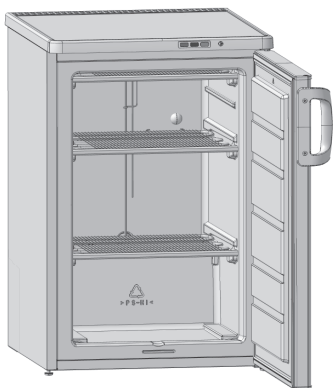
adódik.

4. HŰTŐKÉSZÜLÉK KONSTRUKCIÓS KIALAKÍTÁSÁNAK HATÁSA AZ ENERGIAFOGYASZTÁSRA

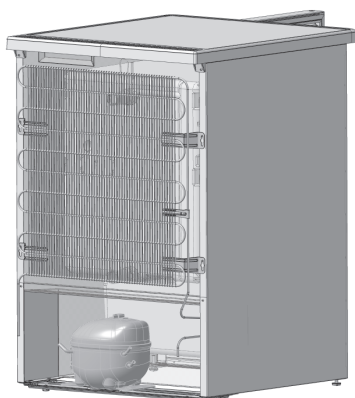
A hűtőkészülékek kialakítása alatt most az elpárologtató és a kondenzátor elhelyezését értjük.

4.1. Az elpárolgató a hűtőkészülék belsejében a kondenzátor a készüléken kívül van elhelyezve

Ilyen készüléket mutat a 2. és a 3. ábra. Ebben a készülékben huzalbordás (WOT – Wires On Tube) elpárolgató van, ami egyben polcként is funkcionál. A kondenzátor a készülék hátoldalára távtartó rögzítő fűlekkel van felszerelve.



1. ábra 100 literes fagyasztószekrény huzalbordás elpárolgatóval, ami egyben polcként is funkcionál



2. ábra 100 literes fagyasztószekrény hátulról, huzalbordás kondenzátorral

Állandósult állapotban erre a készülékre felírhatjuk az energiamérleget (állandósult állapotnak nevezzük azt az üzemállapotot, amikor az egymást követő ciklusok megegyeznek egymással). A kompresszor futása alatt a belsőtér hőmérséklete ugyanannyit csökken, mint amennyit a kompresszor állása alatt emelkedik. A kompresszor futásideje (t_r) alatt az energiamérleg azt jelenti, hogy a belsőtér hőmérsékletének időbeli változása (csökkenése) a készülék falain keresztül beáramló hőáram és az elpárolgató által elvont hőáram különbségével egyenlő. Ezt a következő egyenlet írja le:

$$m_b \cdot c_b \cdot \frac{dT_b}{dt} = \dot{Q}_k - \dot{Q}_e, \quad (8)$$

ahol m_b a belsőtérben elhelyezett csomagok tömege, c_b a csomagok fajhője, T_b a csomagok hőmérséklete, \dot{Q}_k

környezetből a falakon keresztül beáramló hőáram, \dot{Q}_e az elpárolgató által elvont hőáram.

A környezetből a falakon keresztül belépő hőáram:

$$\dot{Q}_k = k \cdot A_r (T_k - T_b), \quad (9)$$

ahol k a fal hőátbocsátási tényezője, A_r a készülék teljes belső felülete, T_k a környezeti hőmérséklet.

A fal hőátbocsátási tényezője

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_k}}, \quad (10)$$

ahol α_b a fal belső felülete és a belsőtér közötti hőátadási tényező, α_k a környezet és a fal külső felülete közötti hőátadási tényező, λ a fal anyagának hővezetési tényezője, s a fal vastagsága.

Az elpárolgató által elvont hőáram:

$$\dot{Q}_e = \alpha_e \cdot A_e (T_b - T_e), \quad (11)$$

ahol α_e az elpárolgató felülete és a belsőtér közötti hőátadási tényező, A_e az elpárolgató felülete, T_e az elpárolgató hőmérséklete.

A kompresszor állásideje (t_s) alatt az energiamérleg úgy alakul, hogy a belsőtér hőmérsékletének időbeli változása (emelkedése) a készülék falain keresztül beáramló hőáramtól függ. Ezt a következő egyenlet írja le:

$$m_b \cdot c_b \cdot \frac{dT_b}{dt} = \dot{Q}_k. \quad (12)$$

A (8) és (12) összefüggések felhasználásával kapjuk a következőt:

$$\dot{Q}_e = \frac{(t_r + t_s) \dot{Q}_k}{t_r} = \frac{\dot{Q}_k}{\varphi}. \quad (13)$$

A (3) és (13) összefüggéseket behelyettesítve a (7) egyenletbe

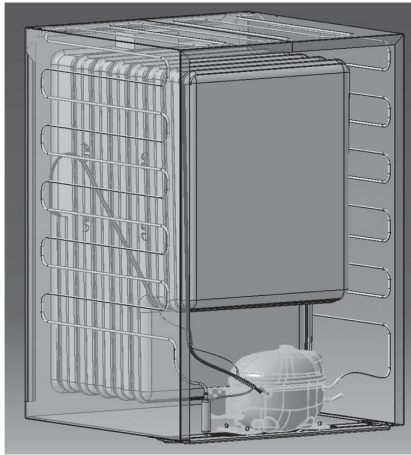
$$W = \frac{24h \cdot \dot{Q}_k}{COP} = \frac{Q}{COP}, \quad (14)$$

ahol Q a készülék falain 24 óra alatt beáramló hőmennyiség.

A (14) egyenlet alapján az ilyen készülékek energiafogyasztását csökkenteni a beáramló hő csökkentésével és/vagy az energiatényező növelésével lehet.

4.2. Az elpárolgató a készülék belső falán a kondenzátor pedig a külső felületen (palást kondenzátor) van elhelyezve

Ilyen készüléket mutat a 4. ábra. Ebben készülékben az alumínium elpárolgató cső a belsőkamrára van rácsérvélve, a kondenzátor cső pedig a palást lemez belső oldalára van rögzítve.



3. ábra 100 literes fagyasztószekrény belsőkamrára csévélte alumínium elpárolgató csővel és palást kondenzátorral

Ennél a készüléknél az energiamérlegek a következőképpen alakulnak.

Futásidő alatt:

$$m_b \cdot c_b \cdot \frac{dT_b}{dt} = \dot{Q}_{e1} - \dot{Q}_{k1}, \quad (15)$$

ahol

$$\dot{Q}_{e1} = \alpha_e \cdot A_e (T_b - T_e), \quad (16)$$

$$\dot{Q}_k = k(A_T - A_e)(T_k - T_b). \quad (17)$$

Állásidő alatt:

$$m_b \cdot c_b \cdot \frac{dT_b}{dt} = \dot{Q}_{k1}. \quad (18)$$

Az elpárolgató által elvont hőáram két részből áll. Az egyik részét a (16) egyenlet definiálja, ez a belsőtérből elvont hőáram. A másik rész a elpárolgató és a kondenzátor közötti hőáram, a hűtőkészülék falán keresztül a futásidő alatt. Az állásidő alatt ez a hőáram az elpárolgatót melegíti a belsőtér hőmérsékletére:

$$\dot{Q}_{e2} = \frac{\lambda}{s} \cdot A_e (T_c - T_e). \quad (19)$$

Az elpárolgató által elvont hőáram:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_{e1} + \dot{Q}_{e2}. \quad (20)$$

A (7) egyenletbe helyettesítve kapjuk az alábbi:

$$W = \frac{24h}{COP} \left[k \cdot A_T (T_k - T_b) - k \cdot A_e (T_k - T_b) + \varphi \frac{\lambda}{s} A_e (T_c - T_e) \right]. \quad (21)$$

A (9) egyenlet felhasználásával és bevezetve a

$$\Delta \dot{Q} = A_e \left[\varphi \frac{\lambda}{s} (T_c - T_e) - k (T_k - T_b) \right] \quad (22)$$

jelölést írhatjuk, hogy az energiafogyasztás

$$W = \frac{24h}{COP} (\dot{Q}_k + \Delta \dot{Q}). \quad (23)$$

Ezt összevetve a (14) egyenlettel, azt látjuk, hogy a $\Delta \dot{Q}$ előjelétől függően ennél a konstrukciónál az energiafogyasztás kisebb vagy nagyobb, mint az előzőnél.

Bevezetve a

$$\Delta T_c = T_c - T_k \quad (24)$$

és

$$\Delta T_e = T_b - T_e \quad (25)$$

jelöléseket írhatjuk, hogy

$$\Delta \dot{Q} = A_e \left[(T_k - T_b) \left(\varphi \frac{\lambda}{s} - k \right) + \varphi \frac{\lambda}{s} (\Delta T_c - \Delta T_e) \right], \quad (26)$$

ahol

$$T_k - T_b > 0, \quad \Delta T_c > 0, \quad \Delta T_e > 0.$$

A $\Delta \dot{Q} < 0$ teljesülésének szükséges, de nem elégséges feltétele, hogy

$$\varphi \frac{\lambda}{s} - k < 0 \quad (27)$$

legyen.

Az előző esetben az energiafogyasztás csak a beáramló hőmennyiségtől és a hűtőkör hatékonyságától függött (lásd a (14) összefüggést). Ebben az esetben az energiafogyasztás ezeken túl függ a relatív futásidőtől, az elpárolgató és a kondenzátor hatékonyságától is.

További elemzést igényelnek a beáramló hőmennyiség csökkentésének lehetőségei és a hűtőkör (ezen belül az elpárolgató és a kondenzátor) hatékonyságának növelési módjai.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka 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.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] ANSI/AHAM HRF-1: 2004 Energy, Performance and Capacity of Household Refrigerators, Refrigerator-Freezers and Freezers.
- [2] JIS C 9801: 2006 Household refrigerating appliances — Characteristics and test methods.
- [3] ISO 15502: 2005 Household refrigerating appliances — Characteristics and test methods.
- [4] EN153: 2006 Methods of measuring the energy consumption of electric mains operated household refrigerators, frozen food storage cabinets, food freezers and their combinations, together with associated characteristics.