

PALÁSTKONDEZÁTOROK OSZTÁSÁNAK HATÁSA A HŰTŐKÉSZÜLÉKEK ENERGIAFOGYASZTÁSÁRA

THE EFFECT OF SHIELD CONDENSER PITCH ON THE ENERGY CONSUMPTION OF REFRIGERATORS

Nagy József*, Dr. Tolvaj Béla**, Dr. Szabó Szilárd***

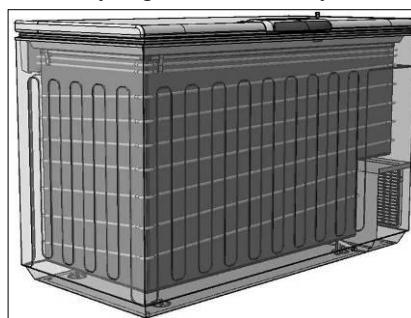
ABSTRACT

Energy legislation sets ever stricter energy limits. To obtain lower energy consumption for household refrigerators and freezers, it is very important to know how to optimise the cooling system elements. Here we analyse the shield condensers to determine the optimal tube pitch. We analysed the condenser and its environment at steady conditions. Our results indicate that we can reduce the condensation temperature (and pressure) with tube pitch reduction. The condensation temperature is the lowest when the whole surface is at the same temperature.

1. BEVEZETÉS

Egyre szélesebb körben alkalmaznak hűtő- és fagyasztókészülékeknel palástkondenzátort, kihasználva a készülékek oldalfelületeit (lásd 1. ábrát). Palástkondenzátor alkalmazásával jobb (alacsonyabb) energiafogyasztás is elérhető [1]. Vizsgáljuk meg, hogy milyen tényezőktől függ a palástkondenzátorok hatékonysága. Hatékonyabb kondenzátornak azt nevezzük, amelyik alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet (így kisebb

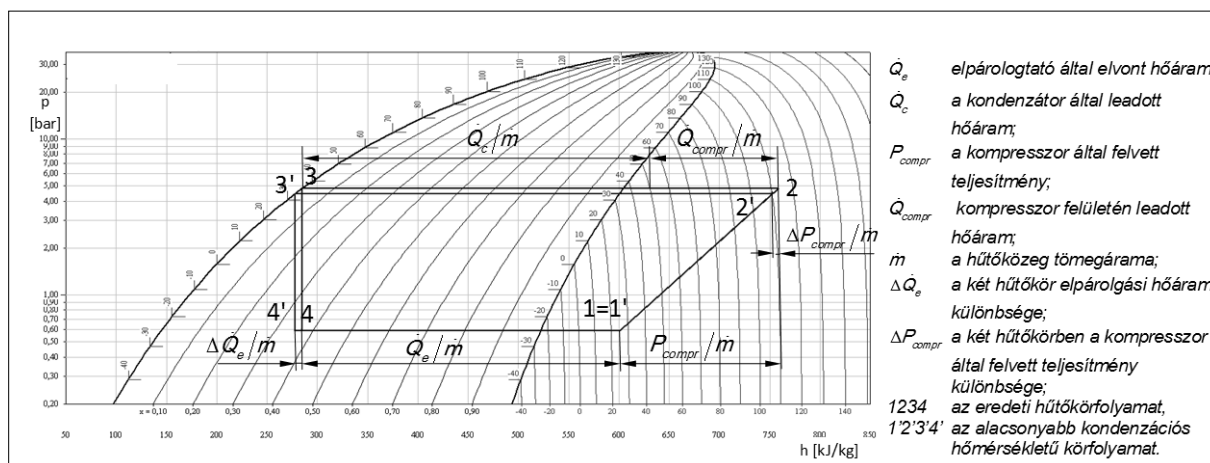
kondenzációs nyomás) mellett képes időegység alatt ugyanazt a hőmennyiséget leadni a környezetnek.



1. ábra. Fagyasztóláda palást kondenzátorral

A 2. ábrán két hűtőkörfolyamat van ábrázolva log(p)-h diagramon. Azonos elpárolgási hőmérséklet (nyomás) és azonos kompresszor hatásfok mellett látható az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet hatása a kompresszor teljesítmény felvételére (ΔP_{compr}) és a teljes hűtőkör

hatékonyságára, $COP = \frac{\dot{Q}_e}{P_{compr}} < COP' = \frac{\dot{Q}_e + \Delta\dot{Q}_e}{P_{compr} - \Delta P_{compr}}$, azonos kondenzációs hőáram mellett (\dot{Q}_c).



2. ábra. A két hűtőkörfolyamat log(p)-h diagramon

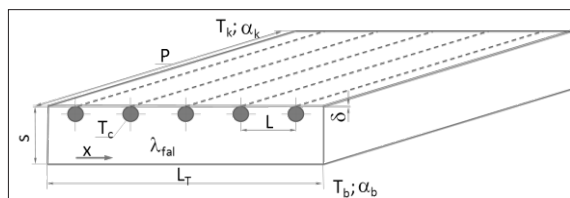
* termékfejlesztési igazgató, Electrolux Lehel Kft.

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

*** tanszékvezető egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

2. PALÁSTKONDEZÁTOR MODELLJE

Tekintsük a palástkondenzátort a 3. ábrán vázolt modell alapján olyan lemeznek, amelyben L osztásokban vonal menti hőforrás van, amelyeknek a hőmérséklete az állandósult állapotban mérhető T_c kondenzációs hőmérséklettel egyezik meg. A lemez egyik oldala a környezettel, a másik oldala a hűtőkészülék hőszigetelésével érintkezik.



3. ábra. Palást kondenzátor modellje

Jelölések:

x : a kondenzátor csövekre mérőleges, palást menti koordináta

s : a hőszigetelés vastagsága,

L_T : a vizsgált felület teljes szélessége,

P : a kondenzátor csövek hossza,

L : a kondenzátor csövek osztása,

δ : a palást lemez vastagsága,

λ : a palást lemez anyagának hővezetési tényezője,

λ_{fal} : a hőszigetelő anyag hővezetési tényezője

α_k : a palást lemez és a környezet közötti hőátadási tényező,

α_b : a hőszigetelő fal belső felülete és a belsőtér közötti hőátadási tényező,

T_k : a környezeti hőmérséklet,

T_b : a belsőtér hőmérséklete,

T_c : a kondenzátor hőmérséklete.

3. TÖKÉLETES HŐSZIGETELÉS ESETE

Első lépésben tekintsük azt az esetet, amikor a lemez egyik oldalán tökéletes hőszigetelést ($\lambda_{fal} = 0$) tételezünk fel. Ebben az esetben a hővezetés differenciálegyenlete a következő [2]:

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\alpha_k}{\delta} (T - T_k) = 0. \quad (1)$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: T = T_c; \quad x = L: T = T_c.$$

Bevezetve a $\vartheta = T - T_k$ új változót és az $m^2 = \frac{\alpha_k}{\lambda \delta}$ jelölést, kapjuk a megoldandó differenciálegyenletet [3]:

$$\frac{d^2 \vartheta}{dx^2} - m^2 \vartheta = 0. \quad (2)$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: \vartheta = \vartheta_c = T_c - T_k; \quad x = L: \vartheta = \vartheta_c = T_c - T_k.$$

Az általános megoldás:

$$\vartheta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}. \quad (3)$$

A C_1 és a C_2 a peremfeltételekből meghatározható meg.

$$C_1 = \frac{\vartheta_c (1 - e^{-mL})}{e^{mL} - e^{-mL}}, \quad C_2 = \frac{\vartheta_c (e^{mL} - 1)}{e^{mL} - e^{-mL}}. \quad (4)$$

Ezek alapján a megoldás [4]:

$$\vartheta = \vartheta_c \frac{\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)}{\sinh(mL)}. \quad (5)$$

Egy csőosztásnyi felületen leadott hőáram:

$$\dot{Q}_1 = \int_0^L \alpha_k P \vartheta dx = \alpha_k P \int_0^L \vartheta dx, \quad (6)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{\alpha_k P \vartheta_c}{\sinh(mL)} \int_0^L (\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)) dx, \quad (7)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{2\alpha_k P \vartheta_c}{m \sinh(mL)} (\cosh(mL) - 1). \quad (8)$$

A teljes felület szélessége L_T , így a csőosztások száma $n = \frac{L_T}{L}$. A teljes felületen leadott hőáram:

$$\dot{Q} = \frac{2\alpha_k P L_T \vartheta_c}{m} \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)}. \quad (9)$$

Megvizsgáljuk, hogy a teljes felületen leadott hőáramnak, mint az osztástávolság függvénye ($\dot{Q}(L)$),

van-e szélsőértéke? Ott van szélsőértéke, ahol $\frac{d\dot{Q}}{dL} = 0$.

$$\frac{d\dot{Q}}{dL} = \frac{2\alpha_k P L_T \vartheta_c}{m} \cdot$$

$$\left[\frac{1 - \cosh(mL)}{L^2 \sinh(mL)} + \frac{m}{L} + \frac{m \cosh(mL)(1 - \cosh(mL))}{L \sinh(mL)^2} \right]. \quad (10)$$

Ha $L > 0$ akkor $\frac{d\dot{Q}}{dL} > 0$. Viszont ha $L \rightarrow 0$, akkor van szélsőérték. Ez pedig

$$\lim_{L \rightarrow 0} (\dot{Q}) = \frac{2\alpha_k P L_T \vartheta_c}{m} \lim_{L \rightarrow 0} \left(\frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)} \right) = \alpha_k P L_T \vartheta_c, \quad (11)$$

azaz, mintha az egész felület T_c hőmérsékletű lenne.

Az átlaghőmérséklet az L_T mentén a következő:

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{L_T} \frac{L_T}{L} \int_0^L \vartheta dx = \frac{1}{L} \int_0^L \vartheta dx, \quad (12)$$

$$\bar{\vartheta} = \frac{\vartheta_c}{L} \int_0^L \frac{\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)}{\sinh(mL)} dx = \frac{2\vartheta_c}{mL} \frac{\cosh(mL) - 1}{\sinh(mL)}. \quad (13)$$

A (9) összefüggést felhasználva kapjuk:

$$\bar{\vartheta} = \frac{\dot{Q}}{\alpha_k P L_T}. \quad (14)$$

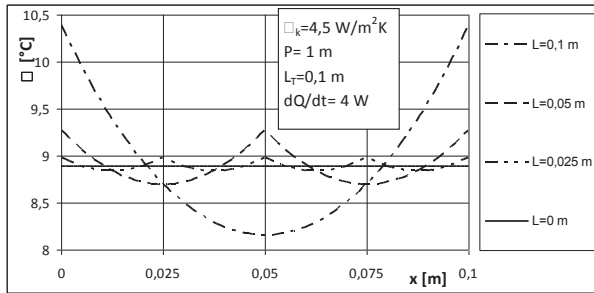
A $\vartheta_c(L)$ függvény a \dot{Q} hőárammal kifejezve:

$$\vartheta_c = \frac{m \dot{Q}}{2\alpha_k P L_T} \frac{L \sinh(mL)}{\cosh(mL) - 1}. \quad (15)$$

A $\vartheta_c(L)$ függvény határértéke midőn $L \rightarrow 0$:

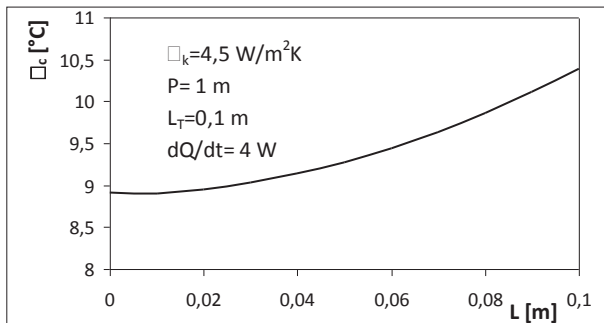
$$\lim_{L \rightarrow 0} \mathcal{G}_c = \frac{m \dot{Q}}{2\alpha_k PL_T} \lim_{L \rightarrow 0} \underbrace{\frac{L \sinh(mL)}{\cosh(mL) - 1}}_{\frac{L}{2}} = \frac{\dot{Q}}{\alpha_k PL_T}. \quad (16)$$

A 4. ábra négy különböző $\mathcal{G}(x)$ függvényt mutat, azonos hőáram esetén. Az ábrán látható, hogy az csőosztás csökkentésével ugyanaz a \dot{Q} hőáram alacsonyabb kondenzációs hőmérséklettel elérhető. Ugyanakkor az osztás csökkentésével a lemez hőmérséklet eloszlása egyenletesebbé válik.



4. ábra. Négy $\mathcal{G}(x)$ függvény azonos hőáram mellett különböző csőosztással

A $\mathcal{G}_c(L)$ függvényt azonos \dot{Q} hőáram mellett az 5. ábra mutatja, az ábrán megadott konkrét technikai adatok esetén. Az ábrából látszik, hogy a (16) képlet szerinti $L \rightarrow 0$ határátmenethez tartozó érték a legkisebb és értéke $\mathcal{G}_c = 8,89$ °C.



5. ábra. $\mathcal{G}_c(L)$ függvény azonos hőáram mellett

4. VALÓS HŐSZIGETELÉS ESETE

Tekintsük most azt az esetet, amikor lemez egyik oldalán hőszigetelő hab van, a másik oldalán a környezettel érintkezik (6. ábra). A hővezetés differenciálegyenlete ekkor:

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\alpha_k}{\delta} (T - T_k) - \frac{k_{fal}}{\delta} (T - T_b) = 0, \quad (17)$$

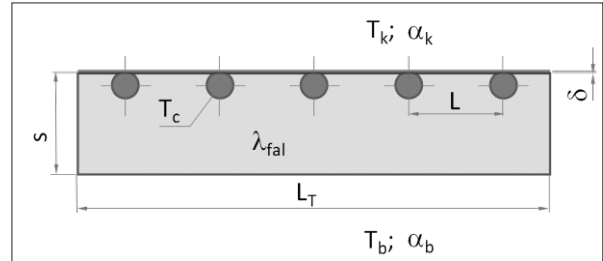
$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\alpha_k + k_{fal}}{\lambda \delta} \left[T - \left(\frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right) \right] = 0, \quad (18)$$

ahol

$$k_{fal} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{s}{\lambda_{fal}}}.$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: T = T_c, \quad x = L: T = T_c.$$



6. ábra. Palást kondenzátoros fal

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$m^2 = \frac{\alpha_k + k_{fal}}{\lambda \delta}, \quad (19)$$

$$\mathcal{G} = T - \left(\frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right). \quad (20)$$

A hővezetés differenciál egyenlete így egyszerűsödik:

$$\frac{d^2 \mathcal{G}}{dx^2} - m^2 \mathcal{G} = 0. \quad (21)$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: \mathcal{G} = \mathcal{G}_c = T_c - \left(\frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right),$$

$$x = L: \mathcal{G} = \mathcal{G}_c = T_c - \left(\frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right).$$

A (21) egyenlet és a hozzátartozó peremfeltételek alakilag teljesen megegyeznek a (2) differenciálegyenlettel és a hozzátartozó peremfeltételekkel és így a megoldás is azonos alakú.

A (21) egyenlet megoldása:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_c \frac{\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)}{\sinh(mL)}. \quad (22)$$

Bevezetve az alábbi jelöléseket:

$$\mathcal{G}_k = T - T_k, \quad \mathcal{G}_b = T - T_b, \quad \mathcal{G}_{kb} = T_k - T_b,$$

írhatjuk, hogy

$$\mathcal{G}_k = \mathcal{G} - \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} \mathcal{G}_{kb}, \quad \mathcal{G}_b = \mathcal{G} + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} \mathcal{G}_{kb}.$$

Egy csőosztásnyi felületen a környezet felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_{k1} = \alpha_k P \int_0^L \mathcal{G}_k dx = \alpha_k P \int_0^L \mathcal{G} dx - \frac{\alpha_k k_{fal} PL \mathcal{G}_{kb}}{\alpha_k + k_{fal}}. \quad (23)$$

A belsőtér felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_{b1} = k_{fal} P \int_0^L \mathcal{G}_b dx = k_{fal} P \int_0^L \mathcal{G} dx + \frac{\alpha_k k_{fal} PL \mathcal{G}_{kb}}{\alpha_k + k_{fal}}. \quad (24)$$

A kondenzátor teljes hőárama egy csőosztásnyi felületen:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_{k1} + \dot{Q}_{b1} = (\alpha_k + k_{fal}) P \int_0^L g dx, \quad (25)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{2(\alpha_k + k_{fal}) P g_c}{m \sinh(mL)} (\cosh(mL) - 1). \quad (26)$$

A teljes felület szélessége L_T , így a csőosztások száma $n = \frac{L_T}{L}$. A teljes felületen mindkét irányban leadott hőáram:

$$\dot{Q} = \frac{2(\alpha_k + k_{fal}) P L_T g_c}{m} \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)}. \quad (27)$$

A g átlagértéke:

$$\bar{g} = \frac{\dot{Q}}{(\alpha_k + k_{fal}) P L_T} = \frac{2 g_c}{m} \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)}. \quad (28)$$

A (23) és a (28) egyenletek alapján a környezet felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_k = \frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} \dot{Q} - \dot{Q}_{kb}, \quad (29)$$

ahol $\dot{Q}_{kb} = \frac{\alpha_k k_{fal} P L g_{kb}}{\alpha_k + k_{fal}}$ ami nem más, mint a környezet

és a belsejében kialakuló hőáram, abban az esetben, amikor nincs kondenzátor a külső felületen, mert

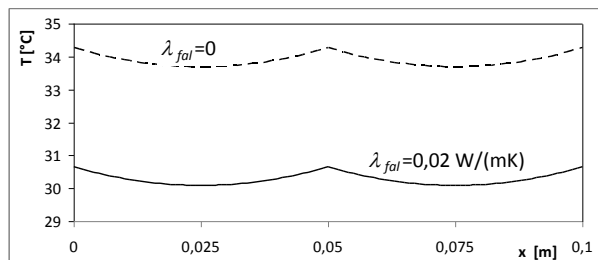
$$\frac{\alpha_k k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{1}{k_{fal}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{s}{\lambda_{fal}} + \frac{1}{\alpha_b}}.$$

Ugyanígy a belsejében felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_b = \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} \dot{Q} + \dot{Q}_{kb}. \quad (30)$$

A (30) összefüggésben az első tag a palást kondenzátor „fűtő hatása” a belsejében.

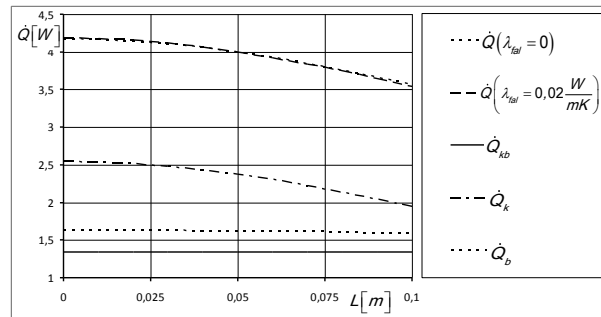
Összehasonlítva a tökéletes hőszigetelést (ami gyakorlatilag külső kondenzátornak tekinthető) és a valós palástkondenzátoros esetet, a 7. ábrán láthatjuk az előző ábrákon megadott technikai adatok, azonos kondenzációs hőáram és $T_k = 25^\circ\text{C}$, $T_b = -18^\circ\text{C}$ mellett a lemez hőmérsékletét ($L = 0,05 \text{ m}$). Jól látható, hogy a valós hőszigetelés esetén a lemez hőmérséklete alacsonyabb, a belsejében hűtőhatása miatt.



7. ábra. A lemez hőmérséklet-eloszlása

A 8. ábrán az előző adatok alapján a hőáramokat ábrázoltuk az L csőosztás függvényében. Az ábra alapján látható, hogy a belső kondenzátoros esetben a belsejében felé irányuló hőáram (\dot{Q}_b) nagyobb, mint a külső kon-

denzátoros esetben a környezetből a belsejében felé irányuló hőáram (\dot{Q}_{kb}). Az [1] alapján ez energiafogyasztás növelő, de az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet miatt a hűtőkör hatékonysága jobb, ami pedig energiafogyasztás csökkentő.



8. ábra. Hőáramok a csőosztás függvényében

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzők alapján megállapíthatjuk, hogy az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet, úgy érhető el, hogy a csőosztást csökkentjük, de nincs $L > 0$ feltétel mellett optimum. Így az csőosztás csökkentésének határát, más feltételek (általában gazdaságossági kritériumok) alapján kell meghatározni.

Megmutattuk a palást kondenzátor „visszafűtő” hatását, ami energiafogyasztás szempontjából kedvezőtlen, de ezzel szemben áll az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet jobb hűtőkör hatékonyság energiafogyasztás csökkentő hatása.

További elemzést igényel annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy melyik hatás a nagyobb? Ahhoz, hogy erre a kérdésre, válaszoljunk, meg kell vizsgálni a hűtőkör hatékonyságát befolyásoló egyéb tényezőket is.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

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.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] NAGY J. – DR. TOLVAJ B.: Hűtőkészülékek energiafogyasztása, Gép folyóirat 2012/9 p.69-72
- [2] CZIBERE T.: Vezetékes hőátvitel, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998
- [3] HOLMAN, J. P.: Heat transfer, 7th Edition in SI Units McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1992
- [4] CARLSLAW, H. S. – JAEGER, J. C.: Conduction of heat in solids, 2nd Edition Oxford University Press, 1959