

HŐSZIVATTYÚS FŰTŐ ÉS PÁRAMENTESÍTŐ KÉSZÜLÉK TERVEZÉSE

Pozsa Ákos – Illés Tamás – Mészáros Károly Marcell – Szaszák Norbert –
Bencs Péter

Absztrakt: Számos lakóingatlanban, azokon belül is főként a fürdőszobákban alkalmaznak – akár kiegészítő jelleggel – elektromos fűtőegységeket. Ezek jellemzően igen magas hatásfokkal üzemelnek, hiszen a legtöbb esetben az elektromos áramot Joule-hővé alakítják át villamos ellenállás segítségével. Mivel a fürdőszoba levegőjének páratartalma jellemzően magas értékeket is elérhet annak használata közben, ezért célszerű lenne egy olyan fűtőkészüléket alkalmazni, amely nem csupán a levegő hőmérsékletét növeli, hanem egyúttal annak abszolút páratartalmát is csökkenti. Amennyiben egy hőszivattyút alkalmazunk fűtési célra úgy, hogy annak mind a hőfelvevő, mind pedig a hőleadó egysége ugyanazon légtérben található, úgy a hőelvonás helyszínén kialakuló – az adott légállapothoz tartozó – harmatpont alatti hőmérsékletű felületen kondenzáció jön létre, tehát a levegő páratartalmának egy része kicsapódik. Ezzel egyrészt csökkenthető a levegő abszolút páratartalma (amely higiénias szempontok miatt is célszerű), továbbá a kondenzációkor felszabaduló látens-hő következtében pedig akár jelentős hőtöbblet jelenhet meg a hőleadó oldalon, ezzel 100%-os érték felé növelve a fűtési hatásfokot. Egy ilyen elven üzemelő hőszivattyús fűtőkészülék-prototípus felépítését és működését ismertetjük jelen tanulmányban, kitérve a jellemző klimatechnikai paraméterekre, összefüggésekre, a tervezéshez elvégzett számításokra.

Abstract: Many residential building use electrical heaters mainly in bathrooms, even as a supplement heating device. These devices typically operate at very high efficiency, since in most cases, electrical current is converted into Joule-heat by means of electrical resistances. The humidity of the air in bathrooms is often very high. Therefore, it would be useful to apply such heating devices, which not only increase the temperature of the air, but also reduces the absolute humidity of it. If a heat pump is used for heating purposes where both the heat absorber and the heat exchanger are placed in the same airspace, condensation occurs at a temperature below the dew point of the given air condition at the point of heat extraction thus some of the humidity precipitates. Along with this the absolute humidity of the air can be reduced (which is also recommended for hygiene reasons). Furthermore, due to the latent heat released during the condensation a significant excess of heat appears on the heat exchanger, increasing the heating efficiency over 100%. The design and operation of a heat pump heater operating on such a principle is described in this study, addressing the typical air-conditioning parameters, correlations, calculations performed for the design.

Kulcsszavak: Peltier, hőszivattyú, harmatpont, hőtechnika

Keywords: Peltier, heat pump, dewpoint, thermodynamics

1. Bevezetés

A háztartásokon belül szinte minden esetben találkozhatunk olyan helyiségekkel, ahol mindennapi tevékenységeink során megemelkedhet a relatív páratartalom értéke (fürdőszoba, konyha). Ennek gyakoriságából adódóan hamar problémák jelentkezhetnek az adott helyiségben (penészedés, asztmatikus panaszok gyakoriságának növekedése, stb.). Így az ilyen helyiségekben célszerű lehet egy lehetőleg kompakt méretű, valamint halkan üzemelő légtechnikai eszközt alkalmazni, amely képes megfelelő hatásfok mellett csökkenteni az abszolút páratartalmat és emellett fűteni a teret, például fürdőszobai felhasználás esetén. A jelenleg használatos, magas hatásfokkal üzemelő ún. entalpia-hőcserélőket komplett,

nagyméretű légtechnikai rendszerekben alkalmazzák, így ezek bekerülési költsége a rendszer méretéhez képest igen jelentős [Zhang, L. Z., & Niu, J. L. (2002), Min, J., & Su, M. (2010)]. Jelen tanulmányban funkcionálitása és relatíve alacsony bekerülési és üzemeltetési költsége okán a Peltier-elemet hőszivattyúként alkalmazó légfűtő egység lehetséges kialakítását vizsgáljuk, amely elképzeléshez hasznos adatokkal szolgált Astrain, D., Vián, J. G., & Albizua, J. (2005) cikke.

Egy ilyen kialakítású egységnek mind a hőleadó, mind pedig a hőfelvevő része ugyanazon helyiségben található, így a páralecsapódásból nyert hőmennyiség megjelenik a hőleadó oldalon, ahol hozzáadódik a hőszivattyú működtetéséhez felhasznált villamos energiából nyert hőmennyiséghez. Így tehát a fűtési hatásfoka jobb lehet, mint egy tisztán Joule-hőt hasznosító elektromos fűtőegységnek.

Az általunk tervezni kívánt Peltier-elemes hőszivattyús eszköz ezen kritériumok kielégítésével szolgálná ezt a célt. Ezek a berendezések tehát optimálisan alkalmasak lehetnének kisméretű fűtött terek, például fürdőszobák fűtésére és ezzel egyidejűleg azok levegőjének szárítására. Továbbá például nedves ruhák beltéri szárítására használt helyiségek és pincék légkezelésére is alkalmazhatóak, ahol a szárítás intenzifikálása fontos szempont valamint bármely olyan esetben is, ahol szükségünk lehet száraz, meleg levegőre.

2. A Peltier-elem termoelektromos és hőtani folyamatai

A hőtani és elektromos folyamatok között a termoelektromos jelenségek adnak összefüggést. Ilyenek a Seebeck-, Peltier-, Thomson-hatások, a Joule-féle hő és a tisztán hőtani folyamatok. A termoelektromos jelenségek mind fémekben, mind pedig félvezetőkben felléphetnek. A gyakorlatban inkább a félvezetős kivitel terjedt el jobban, a széles körben alkalmazott Peltier-elemek is félvezetőkől épülnek fel.

2.1. A Seebeck-hatás

Amennyiben két különböző fémből – azok összekötésével – termoelemet hozunk létre és a fémek közös pontjánál T , különálló végpontjaiknál pedig T_0 a hőmérséklet, úgy a T_0 hőmérsékleten lévő végpontjaik között (U) feszültség mérhető. Ez a Seebeck effektus. A feszültség nagysága függ a $T-T_0$ hőmérsékletkülönbségtől és a felhasznált fémek anyagi minőségétől. Ehhez hasonlóan két különböző szennyezésű félvezetőből is létrehozható termoelem. Az effektusra jellemző α állandó a következőképpen definiálható [fizipedia.bme.hu]:

$$\alpha = \left(\frac{dU}{dT} \right)_{T_0}. \quad (1)$$

2.2. A Peltier-effektus

Ha a Seebeck effektusnál használt összeállításban áram folyik, a közös ponton az áram irányától függően hő szabadul fel, vagy nyelődik el. Ennek egységnyi időre vonatkoztatott hőteljesítménye (P_P) arányos az (I) árammal, miként azt a (2) összefüggés is mutatja:

$$P_p = \frac{dQ}{dt} = \pi \cdot I = \alpha \cdot T \cdot I, \quad (2)$$

ahol a Peltier-együttható: $\pi = \alpha \cdot T$

2.3. A Thomson-effektus

Ha egy homogén vezetőben áram (I) folyik, amelyben az áram irányában dT/dx hőmérséklet gradiens mérhető, hő szabadul fel vagy nyelődik el az áram és a hőmérséklet gradiens irányától, továbbá a vezető anyagától függően. A fejlődő Thomson-hőteljesítmény arányos az áramerősséggel és a hőmérséklet gradienssel:

$$P_T = -\tau \cdot \frac{dT}{dx} \cdot I, \quad (3)$$

továbbá arányos a Thomson-állandóval (τ), amely a hőmérséklettől és a vezető anyagától függő előjeles mennyiség.

2.4. A Joule-hő

Egy elektromos árammal (I) átjárt, R ellenállású vezetőkön hő szabadul fel, amely a (4) összefüggéssel számítható. Ezt a hőt hívjuk Joule-féle hőnek, s számos elektronikai elemben ez felel a veszteségekért, amely veszteségek hőként jelennek meg, így fűtve magukat az elektromos berendezéseket.

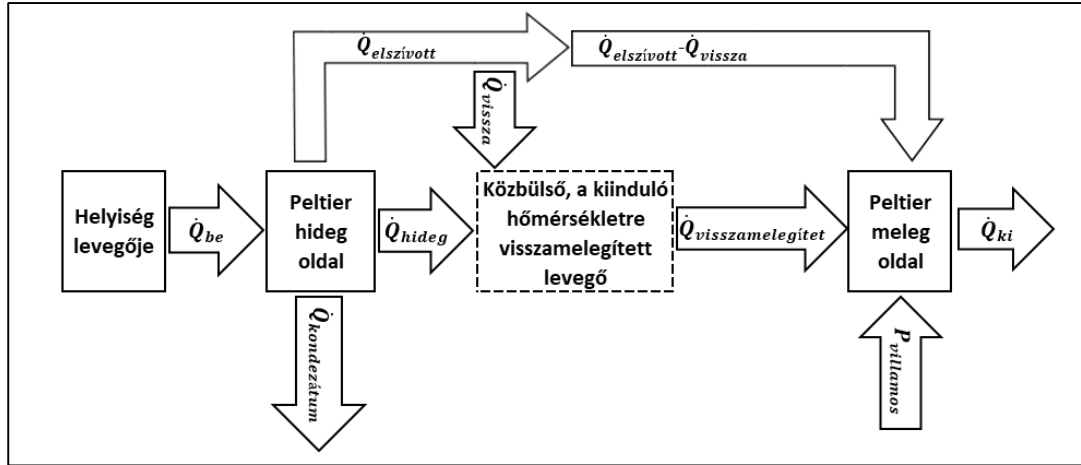
$$P_J = I^2 \cdot R \quad (4)$$

Mivel azonban a villamos energia teljes egészében átalakítható Joule-hővé, ezért az olcsó, villamos ellenálláson alapuló fűtőkészülékek jó közelítéssel 100%-os hatásfokkal alakítják át a bevezetett villamos energiát hőenergiává.

3. A tervezés során alkalmazott hőtechnikai számítások

A következőkben bemutatott hőtechnikai számítások elsődleges célja meghatározni az általunk feltételezett bemeneti paraméterekkel (szoba-állapot) rendelkező nedves levegőből, majd annak a Peltier-elemmel történő lehűtéséből, s ezt követően a bemeneti hőmérsékletre való visszamelegítéséből adódó hőteljesítménykülönbségeket különböző léghparaméter-variációk esetén. E mennyiségekből és az adott paraméterekkel bíró levegőhöz szükséges hűtési teljesítményt biztosító Peltier-elem által felvett villamos teljesítményéből számítható lesz a túlfűtött levegő hőteljesítménye, s ebből pedig az egységet elhagyó száraz levegő hőmérséklete is. Mindezen adatok meghatározása számos rész-számításból tevődik össze. A számítások főbb részeit, azok menetét az *1. ábrán* látható, hőáramokat tartalmazó blokkdiagramon szemléltetjük.

1. ábra: A folyamat blokkdiagramja



Forrás: Szerző saját szerkeztése (2019)

A bemenő levegő paramétereit mi választottuk ki. A kiválasztott értékekhez tartozó egyéb szükséges paramétereket a *CoolPack* nevű hőtechnikai szoftvercsomag segítségével tudtuk felvenni. Az általunk választott bemenő levegő paramétere a következők:

- a levegő hőmérséklete (T_{be}) [$^{\circ}\text{C}$]
- a levegő relatív páratartalma (RH_{be}) [%]
- a légnyomás (p_0) [Pa]
- a szállított levegő térfogatárama (\dot{V}) [m^3/s]

A *CoolPack* ezek alapján megadta a számításhoz szükséges hiányzó mennyiségeket:

- levegő entalpiája ($h_{(1+x),be}$) [J/kg]
- levegő abszolút páratartalma (x_{be}) [kg/kg]
- levegő sűrűsége ($\rho_{nedves,be}$) [kg/m^3]
- harmatpont hőmérséklete (T_h) [$^{\circ}\text{C}$]

E mennyiségek ismeretében számíthatóvá vált többek között a rendszerben átáramló száraz levegő tömegárama ($\dot{m}_{\text{száraz lev.}}$), amely a szállított nedves levegő térfogatáramából és a szoftver által kalkulált abszolút nedvességtartalmából (x_{be}) számítható ki az (5) összefüggés segítségével:

$$\dot{m}_{\text{száraz lev.}} = \dot{V} \cdot \rho_{\text{nedves,be}} \cdot \frac{1}{1+x_{be}}. \quad (5)$$

E mennyiség ismerete nélkülözhetetlen a további hőtechnikai számításokhoz, hiszen számos mennyiség (pl. entalpia) a száraz levegőre van vonatkoztatva, tekintve a tényt, hogy ennek tömegárama állandó a rendszeren való áthaladás során.

Így tehát a vizsgált rendszerbe beáramló levegő hőteljesítménye a (6) összefüggéssel számíthatóvá vált:

$$\dot{Q}_{be} = h_{(1+x),be} \cdot \dot{m}_{sz\acute{a}raz\ lev.} \quad (6)$$

Ezek után a Peltier-elem hidegoldali paramétereit is meg kellett választanunk. A számítások egyszerűsítése végett azt feltételeztük, hogy nincsen hőlépcső a Peltier-elem felülete és az ott áramló levegő között, tehát azok hőmérsékletét azonosra választottuk. A kalkulációink során alkalmazott hidegoldali levegő hőmérséklete ($T_{hideg}=5\text{ °C}$) tehát egy állandó értékre lett beállítva.

A *CoolPack* által a bemenő levegő adatai, továbbá a lehűtött levegő hőmérséklete alapján a következő adatokat nyertük ki a programból:

- a lehűtött levegő entalpiája ($h_{(1+x)hideg}$) [J/kg]
- a lehűtött levegő abszolút páratartalma (x_{hideg}) [kg/kg]
- a lehűtött levegő sűrűsége ($\rho_{nedves\ hideg}$) [kg/m³]
- a lehűtött levegő relatív páratartalma (RH_{hideg}) [%]

A hűtés során, a hideg felületen lecsapódott kondenzátum által a rendszerből kivett hőteljesítmény is számítható lett, ismerve az 5 °C-hoz tartozó víz állandó nyomáson vett fajhőjét (c_{pf}) és a kondenzátum tömegáramát. A kicsöpögő folyadék tömegárama ($\dot{m}_{lecsapódott\ víz}$) a bemeneti és a hidegoldali levegő abszolút páratartalmaiból adódó különbségből számítható a (7) összefüggéssel:

$$\dot{m}_{lecsapódott\ víz} = (x_{be} - x_{hideg}) \cdot \dot{m}_{sz\acute{a}raz\ lev.} \quad (7)$$

továbbá ennek ismeretében a (8) összefüggéssel számítható a rendszerből a kondenzátummal távozó hőáram:

$$\dot{Q}_{kondenzátum} = T_{hideg} \cdot c_{pf} \cdot \dot{m}_{lecsapódott\ víz} \quad (8)$$

A kondenzálódó folyadék által a rendszerből elvitt hőáramot összevetve a rendszer egyéb hőáramaival belátható volt, hogy az az arányát tekintve elhanyagolhatóan kicsiny értéket képvisel. A hűtőfelületen lehűlt és nedvességtartalmából vesztett levegő jellemzőit figyelembe véve a (9) összefüggéssel meghatároztuk a hűtött levegő hőáramát, amely annak későbbi visszafűtéséhez szükséges teljesítményigény számításához volt elengedhetetlen:

$$\dot{Q}_{hideg} = h_{(1+x)hideg} \cdot \dot{m}_{sz\acute{a}raz\ lev.} \quad (9)$$

A kezdeti (T_{be}) hőmérsékletre való visszafűtéshez szükséges hőteljesítmény számítható a száraz levegő tömegáramából és a bemeneti hőmérsékletű, de csökkent abszolút páratartalmú levegő entalpiájának és az azonos abszolút páratartalmú hidegoldali levegő entalpiájának különbségéből. Először a *CoolPack* segítségével meghatároztuk a T_{be} hőmérsékletű, a kondenzáció miatt az eredetihez képest csökkent, x_{hideg} abszolút páratartalmú levegő fajlagos entalpiáját ($h_{1+x,visszamelegített}$). A rendszeren keresztül végig állandó értékű száraz levegő tömegárama, továbbá a

hidegoldali és a visszamelegített levegő entalpiájának különbségéből megkapjuk a visszafűtéshez szükséges hőáramot:

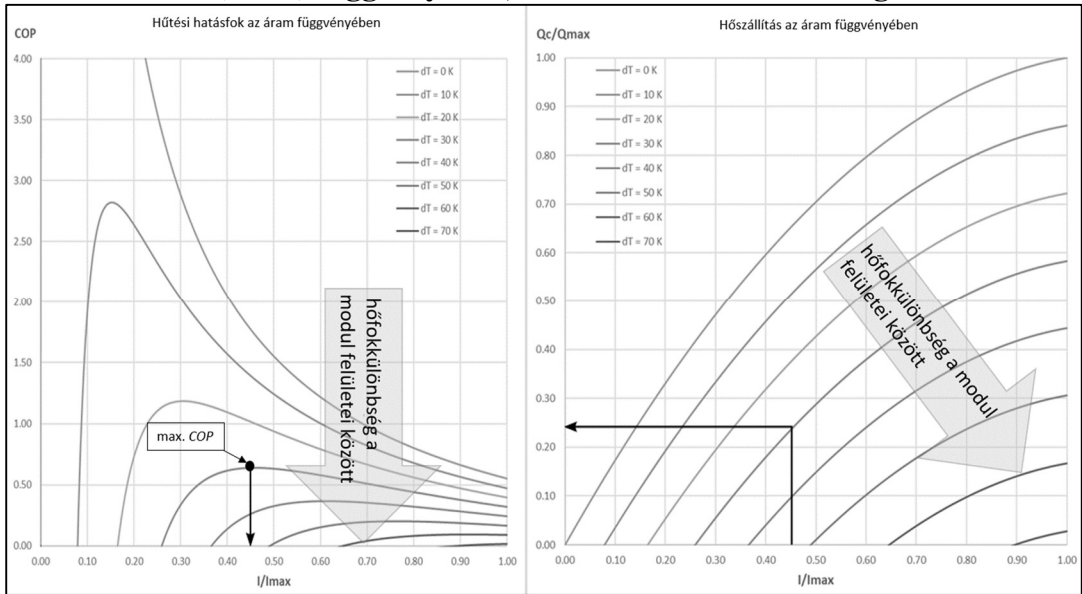
$$\dot{Q}_{vissza} = \Delta h_{1+x} \cdot \dot{m}_{száraz\ lev.} \quad (10)$$

A Peltier-elem által a hideg oldalról annak meleg oldalára átpumpált hőáram nagysága az előzőekben kalkulált mennyiségek alapján meghatározható:

$$\dot{Q}_{elszívott} = \dot{Q}_{be} - \dot{Q}_{hideg} \quad (11)$$

A Peltier-elem által elszállítandó hőáram tehát ismertté vált. Ahhoz, hogy a hőszivattyú megfelelő hatásfokkal üzemelhesen, tehát a modul által felvett villamos teljesítmény összemérhető legyen az általa átpumpált hőárammal, számításaink során annak meleg és hideg oldala közötti hőfokkülönbséget $\Delta T=30\text{ °C}$ -nak feltételeztük. Ehhez a hőfokkülönbséghez a Peltier-modul gyártója által szolgáltatott diagramok alapján meghatározható az elérhető legmagasabb hűtési hatásfokhoz (COP) tartozó relatív áramérték (III_{max}), majd ebből pedig a modul által felvett villamos teljesítmény ($P_{villamos}$). A levegő hűtésekor elszállított hőáram és Peltier-elem által – annak működéséhez – felvett villamos teljesítmény összegeként adódik a meleg oldalon a lehűtött levegőnek átadott hőáram, amely tehát az egységet elhagyó levegő hőmérséklet fogja növelni. Az általunk kiválasztott ΔT hőmérséklethez a modul karakterisztikái (2. ábra) alapján láthatjuk, hogy a legnagyobb COP érték 0,6-re adódik, ami egyben meghatározza a relatív üzemi áram értéket is: $III_{max}=0,45$. Ez a későbbi tervezés során elengedhetetlenül fontos lesz, hiszen az ebből kalkulált modul-teljesítmény alapján határozható meg az adott légáram fűtéséhez szükséges Peltier-modulok száma, továbbá az azokhoz szükséges elektronikus vezérlőegység típusa is.

2. ábra: A Peltier-modul hűtési hatásfoka és hőszállítása a felvett relatív áramának (I/I_{\max}) függvényében, különböző hőfokkülönbségek esetén



Forrás: www.meerstetter.ch

A kiinduló hőmérsékletre visszamelegített (szárabb) levegő hőárama annak entalpiájából és a száraz levegő tömegáramából adódik:

$$\dot{Q}_{\text{visszamelegített}} = h_{1+x,\text{visszamelegített}} \cdot \dot{m}_{\text{száraz lev.}} \quad (12)$$

A Peltier-elem által elszívott hőáramtól ($\dot{Q}_{\text{elszívott}}$) kisebb mennyiség szükséges ahhoz, hogy az a kezdeti hőmérsékletre visszafűtse a kisebb abszolút páratartalmú hideg levegőt, mivel annak entalpiája kisebb az azonos hőmérsékletű, de párásabb levegőétől. Ebből az következik, hogy az itt fennmaradt hőáram már a kimeneti levegő további fűtésére fordítható, azaz a levegő páratartalmának csökkentése közvetve annak melegítésére használható fel.

A berendezésben a lehűtött levegőt a belépő hőfokára visszafűtő, majd azt tovább melegítő $\dot{Q}_{\text{fűtés}}$ hőáram jó közelítéssel megegyezik a modul által elszívott hőáram és a felvett villamos teljesítmény összegével:

$$\dot{Q}_{\text{fűtés}} = P_{\text{villamos}} + \dot{Q}_{\text{elszívott}} \quad (13)$$

A villamos fűtés teljesítménye pedig egyszerűen adódik a felvett villamos teljesítményből, hiszen a dolgozat elején tárgyaltak alapján Joule-hőről beszélhetünk:

$$P_{\text{villamos}} = U \cdot I \quad (14)$$

A Peltier elemek üzemi árama, valamint üzemi feszültsége az elszívni kívánt hőteljesítmény nagyságától és egyéb, általunk tartani kívánt paramétertől függően a Peltier elemhez tartozó karakterisztikákból meghatározható, illetve számítható.

Mivel ismert a lehűtött levegő hőárama (\dot{Q}_{hideg}), továbbá az azt fűtő $\dot{Q}_{fűtés}$ is, így kiszámítható az egységből kilépő fűtött levegő teljes hőárama:

$$\dot{Q}_{ki} = \dot{Q}_{hideg} + \dot{Q}_{fűtés} \quad (15)$$

Mivel ismert a berendezésen átáramló száraz levegő tömegárama, így meghatározható az egységet elhagyó fűtött, nedves levegő entalpiája (h_{ki}), amelyből a hőtechnikai programcsomag segítségével megkapjuk a fűtött levegő hőmérsékletét:

$$h_{ki} = \frac{\dot{Q}_{ki}}{\dot{m}_{száraz\ lev.}} \quad (16)$$

Ez a hőmérséklet a különböző paraméter-variációk esetén több esetben is meghaladta a számításaink során rögzített ΔT hőfokkülönbségből adódó kimeneti léghőmérsékletet, tehát a Peltier-modul ilyen esetben nem tud az általunk feltételezett üzemállapotban működni. Ahhoz, hogy ezt a problémát kiküszöböljük, ötletként felmerült másodlagos hűtési levegő alkalmazása a modul hőleadó oldalánál. A megfelelő mennyiségű másodlagos levegő segítségével így tehát tartható a számításokhoz használt hőfokkülönbség.

Ahhoz, hogy a berendezés fűtési hatásfokát számítani lehessen, azt először is definiálnunk kellett, amelyet a (17) összefüggés ad meg:

$$\eta_{fűtési} = \frac{P_{villamos} + \dot{Q}_{extra}}{P_{villamos}}, \quad (17)$$

ahol \dot{Q}_{extra} az a fennmaradó hőáram, amely a belépő levegő lehűtésekor felszabaduló hő és a levegő T_{be} hőfokra való visszafűtéséhez szükséges hőáram különbsége, amely párakicsapódás esetén pozitív értékű:

$$\dot{Q}_{extra} = \dot{Q}_{be} - \dot{Q}_{vissza} \quad (18)$$

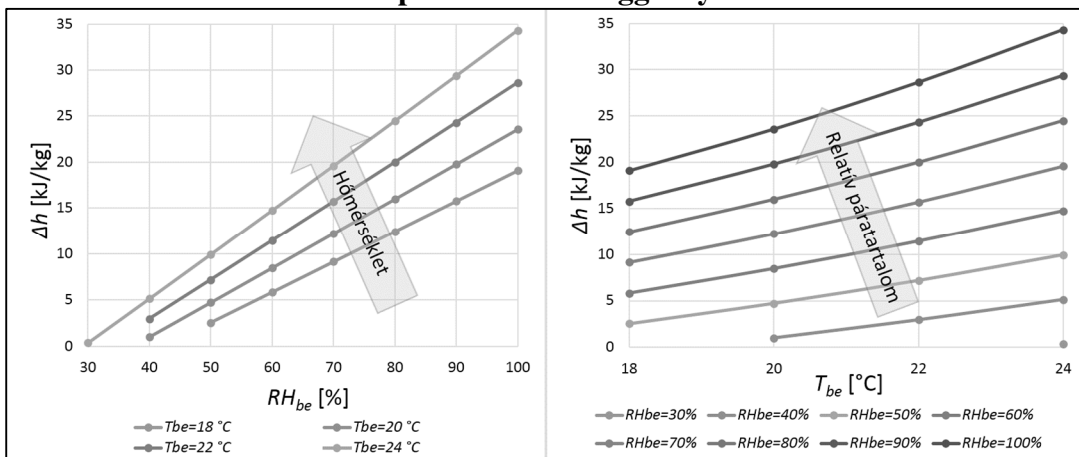
Az előzőekben bemutatott számításokat több különböző bemeneti hőmérsékletű és páratartalmú levegő esetében is elvégeztük: $T_{be} = \{18, 20, 22, 24 \text{ °C}\}$, továbbá $RH_{be} = \{10, 20, 30 \dots 100\%\}$. Mindegyik esetben $p_0 = 101.330 \text{ Pa}$ -os légköri nyomást feltételeztünk, továbbá az egyes hőáramok és teljesítmények számíthatóságához $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ bemeneti nedves levegő térfogatárammal kalkuláltunk. A különböző légállapot-variációk esetén kapott eredményeket diagramokon ábráztuk, amelyeket a következőkben mutatunk be.

4. Az eredmények alapján szerkesztett diagramok kiértékelése

A berendezés elsődleges célja az, hogy a helyiségben található levegő páratartalmának csökkentése mellett egyúttal minél jobb hatásokkal növelje a levegő hőmérsékletét. Ennek meghatározásához megvizsgáltuk azt, hogy a különböző légállapototok esetén hogyan változik a levegő entalpiája, továbbá az előzőekben definiált fűtési hatások.

Mivel az elsőként lehűtött, majd aztán a belépő hőfokra visszamelegített levegő páratartalma – a belépő légállapot függvényében – a harmatponti hőmérséklet elérése miatt a legtöbb esetben csökkent, ezért annak adott hőmérsékletre tartozó fajlagos entalpiája is csökkent. Ebből következik, hogy az állandónak tekinthető száraz levegő tömegáram esetén a nagyobb nedves és a száraz levegő entalpiakülönbsége lesz az a mennyiség, amely okán a Peltier-modul hőleadó oldalára átszállított hőáram miatt magasabb hőfokra fog felmelegedni a szárazabb levegő, mint a belépési hőmérséklete volt. Érdekes tehát elemezni azt, hogy milyen entalpiakülönbségek tartoznak az egyes bemeneti léghőmérsékletekhez és páratartalmakhoz, amennyiben rögzített hidegoldali hőmérsékletre hűtjük le a levegőt, s ennek megfelelően veszít a páratartalmából. A 3. ábra a nedves és a száraz levegő entalpiakülönbségét (Δh) szemlélteti abban az esetben, amikor az általunk választott $T_{hideg}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletre hűtjük le a levegőt, majd onnan melegítjük vissza a kezdeti hőfokra. A bal oldali diagram állandó, de különböző bemeneti hőmérsékletek mellett szemlélteti az entalpiakülönbség-változását a relatív páratartalom függvényében, miközben a jobb oldali diagramon az állandó relatív páratartalomhoz tartozó entalpiakülönbség-görbék alakulása látható a hőmérséklet függvényében.

3. ábra: A páracskökkentéssel nyert extra entalpia értéke a hőmérséklet, és a relatív páratartalom függvényében



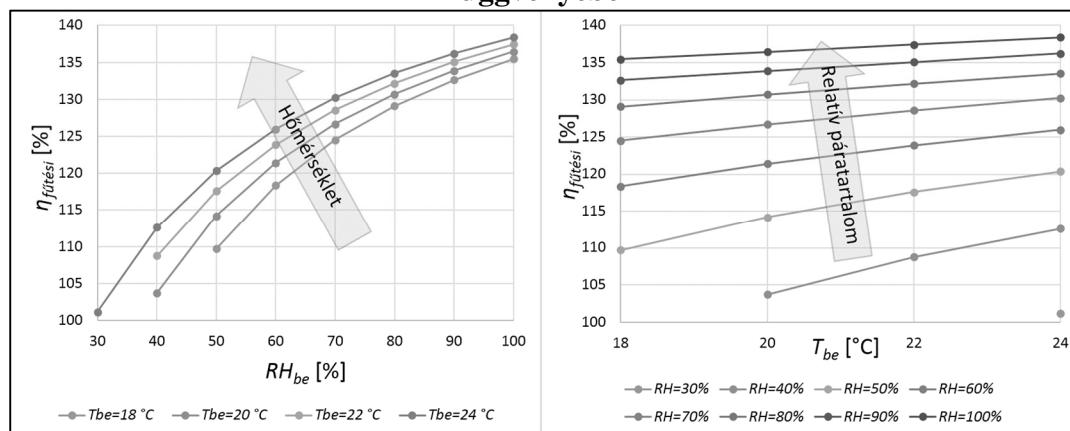
Forrás: Szerző saját szerkeztese (2019)

A 3. ábra diagramjai alapján látható, hogy a nagyobb entalpiakülönbségek (tehát a berendezés hatékonyabb működése) a magasabb páratartalmú, és/vagy a magasabb hőmérsékletű levegő esetén várhatók. Ennek oka az ilyen állapotú levegő nagyobb nedvességtartalma, amely nagyobb mennyiségű kondenzátumot eredményez a

lehűtések, így tehát szignifikánsabb különbség alakul ki a páras és a szárított levegő nedvességtartalmának, s így entalpiájának különbségben. A vizsgált 30%-os relatív páratartalmú és 24 °C-os hőmérsékletű levegő esetén közel zérus entalpiakülönbség adódott. Ennek magyarázata az, hogy az ilyen paraméterekkel rendelkező levegő 5 °C-ra való lehűtések a párakicsapódás közel zérus (mivel a harmatponti hőmérséklete 5,38 °C), tehát nem változott az abszolút páratartalma, így tehát visszamelegítés után az entalpiája sem térhetett el az eredetitől.

A fűtési hatások (17) összefüggése alapján annak számításához szükséges a Peltier-modul által felvett villamos teljesítmény ($P_{villamos}$). Ennek értéke a bemeneti levegőnek az általunk megkívánt $T_{hideg}=5$ °C-ra történő lehűtéshez szükséges hűtési teljesítmény és a modul adott üzemállapotához tartozó COP értékből számítható. A (17) összefüggés számlálójában lévő extra hőáram (\dot{Q}_{extra}) pedig a száraz levegő tömegáramának és az előzőekben bemutatott entalpiakülönbségnek a szorzatából számítható. A vizsgált paraméter-kombinációkhoz tartozó hatásfokértékeket a 4. ábra szemlélteti: a bal oldali diagramon ábrázolt görbék egy-egy adott bemeneti léghőmérsékletre tartoznak, a jobb oldali diagramon pedig az azonos relatív páratartalmú esetek görbéi láthatók.

4. ábra: A fűtési hatások a hőmérséklet és a relatív páratartalom függvényében



Forrás: Szerző saját szerkeztese (2019)

A diagramok alapján több fontos megállapítás is tehető. Megfigyelhető, hogy a vizsgált paramétervariációk rendre 100%-tól nagyobb hatásfokú üzemet eredményeztek, amely hatásfok a 100%-os relatív páratartalmú és legmelegebb esetben elérte az igen jelentős 138%-os értéket. Ebben az esetben tehát egységnyi villamos energia felhasználásával 1,38 egységnyi hő fog arra fordítódni, hogy a már bemeneti hőmérsékletre visszafűtött, de alacsonyabb páratartalmú levegő hőmérsékletét növelje. Mivel azonban ez a levegő szárazabb, így kisebb a fajlagos entalpiája, tehát adott mennyiségű hővel magasabb hőfokra melegíthető fel, amely tehát ennek a berendezésnek további előnye. Megfigyelhető az is, hogy a hatásfok szempontjából legrosszabb eset is 100%-os érték felett adódott (ez esetben elhanyagolható mértékű volt a párakicsapódás a hűtési hőfokon), így tehát ekkor

csupán a villamos teljesítmény alakul át hővé, s fűti a levegőt. Szembetűnő, hogy a hatásfok erősen függ a levegő páratartalmától állandó hőmérséklet esetén (bal oldali diagram), azonban kevésbé függ a levegő hőmérsékletétől abban az esetben, amikor annak relatív páratartalma állandó értékű. Mindezek alapján tehát belátható az, hogy egy ilyen készülék olyan környezetben alkalmazható a legjobb hatásfokkal, ahol a páratartalom közel 100%-os, továbbá a levegő hőmérséklete is magas. Például zárt térben, magas hőfokon történő szárításhoz kifejezetten alkalmas lehet az eszköz, mivel ilyenkor a magasabb hőfokú levegő nagyobb mennyiségű párát képes felvenni, amely aztán a berendezésben lekondenzálódik, s hőjét a levegő jó hatásfokú fűtésére és szárítására használja fel.

5. Következtetések

A dolgozatban bemutatott számításokon alapuló meggyőző eredmények alapján belátható, hogy az eszköz érdemes lenne továbbfejlesztésre, tervezésre, a prototípusának elkészítésére és ezt követően annak klímakamrában történő mérésére. Ehhez azonban a későbbiekben pontosabb, egyéb hatásokat is figyelembe vevő összefüggésekkel kell számolni, hogy a számításaink minél pontosabb, a valóságoshoz közeli eredményeket adhassanak. Miként azt a dolgozatban is jeleztük, a hűtési és fűtési felületeknél kialakuló hőfoklépcsőkkel nem számoltunk, továbbá a visszafűtéskor a Peltier-modul hőfokkülönbségének tartásához extra légáramra van szükség, amely további fejlesztési irányokat jelöl ki. Továbbá fontos megoldani a modulok megfelelő vezérlésének problémáját is, amely az üzem közben elérhető legmagasabb hatásfokú működést garantálná.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Min, J., & Su, M. (2010). Performance analysis of a membrane-based enthalpy exchanger: effects of the membrane properties on the exchanger performance. *Journal of Membrane Science*, 348(1-2), 376-382.
- Zhang, L. Z., & Niu, J. L. (2002). Effectiveness correlations for heat and moisture transfer processes in an enthalpy exchanger with membrane cores. *Journal of Heat Transfer*, 124(5), 922-929.
- Astrain, D., Vián, J. G., & Albizua, J. (2005). Computational model for refrigerators based on Peltier effect application. *Applied Thermal Engineering*, 25(17-18), 3149-3162.
- https://fizipedia.bme.hu/index.php/F%C3%A9lvezet%C5%91_termoelem_%C3%A9s_Peltier-elem_vizsg%C3%A1lata?fbclid=IwAR3RajO89p3qNLHS6IvfHU7f3lhTw1GJBz9cAeV8AGQAgVU3SBL2bAoymNI (2019.03.15.)
- <https://www.meerstetter.ch/compendium/tec-peltier-element-design-guide> (2019.03.15.)