

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**ÉPÜLETEK SUGÁRZÓ HŰTÉSI RENDSZEREINEK
ENERGETIKAI ÉS EXERGETIKAI VIZSGÁLATA**

L. Szabó Gábor

Témavezető: Dr. Kalmár Ferenc



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen

2019

BEVEZETÉS

A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI

Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve szerint az Unió energiafogyasztásának 40%-a az épületekkel kapcsolatos. A felhasználók komfortigényeinek folyamatos növekedése miatt ez az arány a következő években növekedhet. Az épületek energiamérlegében a hűtési rendszerek részaránya növekszik. Ezért minden olyan intézkedés, mely az épületek energiafogyasztását mérsékli, illetve elősegíti a megújuló energiaforrással alkalmazását, erősíti az Unió és benne hazánk energiaellátásának biztonságát és függetlenségét.

A klímaváltozás nyári (és részben átmeneti) időszakban az energiacsökkentési törekvésekre negatívan hat. Európa éghajlata az üvegházhatás miatt évente egyre változóbb lesz (Schär, et al., 2004). A korábbiakhoz képest gyorsabban változó éghajlati körülmények miatt a meglévő rendszerek egyre kevésbé lesznek alkalmasak. Ha energiatakarékosak kívánunk lenni, az épületek gépészeti rendszereit rendkívül körültekintően kell megtervezni. Ehhez elengedhetetlen a tervezési adatok minél pontosabb felvétele. Ennek megfelelően hűtési rendszer megfelelő kiválasztásához a hőterhelést a lehető legpontosabban kell meghatározni.

Az irodaépületek télen és nyáron is kihasználtak és jelentős fűtési-hűtési igényekkel rendelkeznek. Ezekben az épületekben a tartós, magas minőségű szellemi munkavégzés szükséges, de nem elégséges feltétele az, hogy az ember „jól érezze magát”. A megfelelő hőérzet fizikai leírásával foglalkozik a komfortelmélet. A hőérzetet befolyásoló hat paraméter közül négy, az épületgépészeti rendszerekkel befolyásolható. A komfort központú épületgépészeti méretezéséhez elengedhetetlen a vizsgált épülettel szemben támasztott hőérzeti-, hőtechnikai követelmények, valamint a külső környezeti paraméterek minél pontosabb leírása.

Az ISO 13790 szabvány és az ISO 52016 szabvány nemzetközileg elfogadott számítási algoritmust ad meg a hőterhelés meghatározásához (Lin, et al., 2016), (Li, et al., 2015). Mindkét algoritmus használatakor figyelembe kell venni a számítások során a hely specifikus meteorológiai adatokat. Továbbá az épület kialakítását, a téralakokat, a felhasznált építőanyagokat, egy adott régióra vagy országra előírt energiahatékonysági követelményeket és tartani kívánt belső hőmérsékleteket. (Kalmár, 2016), (Csáky, 2015), (Csáky & Kalmár, 2015), (Csáky & Kalmár, 2014), (Csáky & Kalmár, 2017) Az értekezésemben a hőterhelés vizsgálatokat a Debrecenben regisztrált napsugárzás és hőmérséklet adatok figyelembevételével végeztem. A vizsgálataim során úgy döntöttem, hogy a homlokzat transzaperns felületére összpontosítanak (pl. tájolás, üvegezési és árnyékolási arány).

Korábban kimutatták, hogy az ablakok hőátbocsátási tényezőjének hatása az épületek nyári hőterhelésére elhanyagolható az üvegezés egyéb fizikai tulajdonságaihoz képest. Továbbá, az átlátszatlan elemeken áthaladó hőnövekedés is elhanyagolható, ha az épület megfelelően van hőszigetelve, még akkor is, ha a szigetelőanyag öregedési folyamatát figyelembe kell venni (MSZ EN ISO 52016-1, 2017). A hőterhelés vizsgálatokhoz viszont elsőknek a megfelelő számítási módszer kiválasztása a legfontosabb. Erre több lehetőség is van (Pogran, et al., 2013), (Yang & Li, 2008), (Zhou, et al., 2008), (Yam, et al., 2003)). Számításaimhoz a Magyarországon korábban alkalmazott, de még napjainkban is gyakran használt két szabványt és a jelenleg érvényben lévő vizsgáltam.

Komfortkörülmények mellett az ember hőleadásának túlnyomó része sugárzással történik (a teljes hőleadás 42-44%-át), így az olyan technikai megoldásokat, melyek a sugárzásos hőelvételelről gondoskodnak fontos vizsgálni, ezért disszertációmban felületi hűtési rendszerekkel foglalkoztam. A sugárzó hűtések lehetőleg folyamatos működést igényelnek. Ezeknél a rendszereknél magas hőmérsékletű, így alacsony exergia-tartalmú hűtővízzel történik a felesleges hő elszállítása a helyiségből. Emiatt nagyobb a kockázata annak, hogy nem tudjuk a teljes hőterhelést elvonni. Felülethűtéseknel a huzat miatti helyi diszkomfort kialakulásának kockázata kisebb, mint egyéb hűtési megoldásoknál.

Mivel az Európai Unió 2020-ra 20%-os megújuló energia részarány növekedést irányoz elő az 1990-es szinthez képest, fontos előnybe részesíteni az olyan hűtési megoldásokat, ahol megújuló energiákkal hozzuk létre a hidegenergiát. Tehát, ha környezettudatosan akarunk komfortteret hűteni, akkor a hűtőgép működtetéséhez szükséges energiát megújuló energiaforrásból kell fedezni

Ezért fontos kérdés az, hogy az egyes megújuló energiaforrásokat, mennyire tudjuk integrálni ezen rendszerekhez. Megújuló energiaforrásokkal közvetlenül tudunk hőenergiát létrehozni, közvetve és közvetlenül pedig elektromos áramot is. Egy hűtési rendszer működtetéséhez így a szóba jöhető megújuló energiaforrások a nap-, a geotermikus -, víz-, a szélenergia és a biomassa. Az abszorpciós hűtőgépek esetében elsősorban a napenergia és a geotermikus energia alkalmazása valósítható meg hatékonyan.

A hűtési rendszerek optimális tervezése és üzemeltetése szempontjából a mennyiségi (energetikai) elemzések mellett, elengedhetetlen a minőségi (exergetikai) számítások elvégzése is, hiszen csak így kaphatunk választ arra a rendkívül összetett kérdésre, hogy hőleadás, hőszállítás, hőtermelés szempontjából melyik rendszer hatékonyabb.

A DOKTORI ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI / HIPOTÉZISEI

A kutatási munkám elsőrendű célja a sugárzó hűtési rendszerek energetikai és exergetikai elemzése. A vizsgálat az emberi és állagvédelmi igényektől, a rendszert működtető energiaforrásig tart. Kiemelt szempont, hogy kutatási munkám eredményeit akár rövidtávon is alkalmazni lehessen a hűtési rendszerek tervezése során. Ezért a tudományos munka egyes lépései a hőterhelés-hőelvonás-hőszállítás-hőtermelés vizsgálatára fókuszálnak.

A kutatás munkám céljai és hipotézisei:

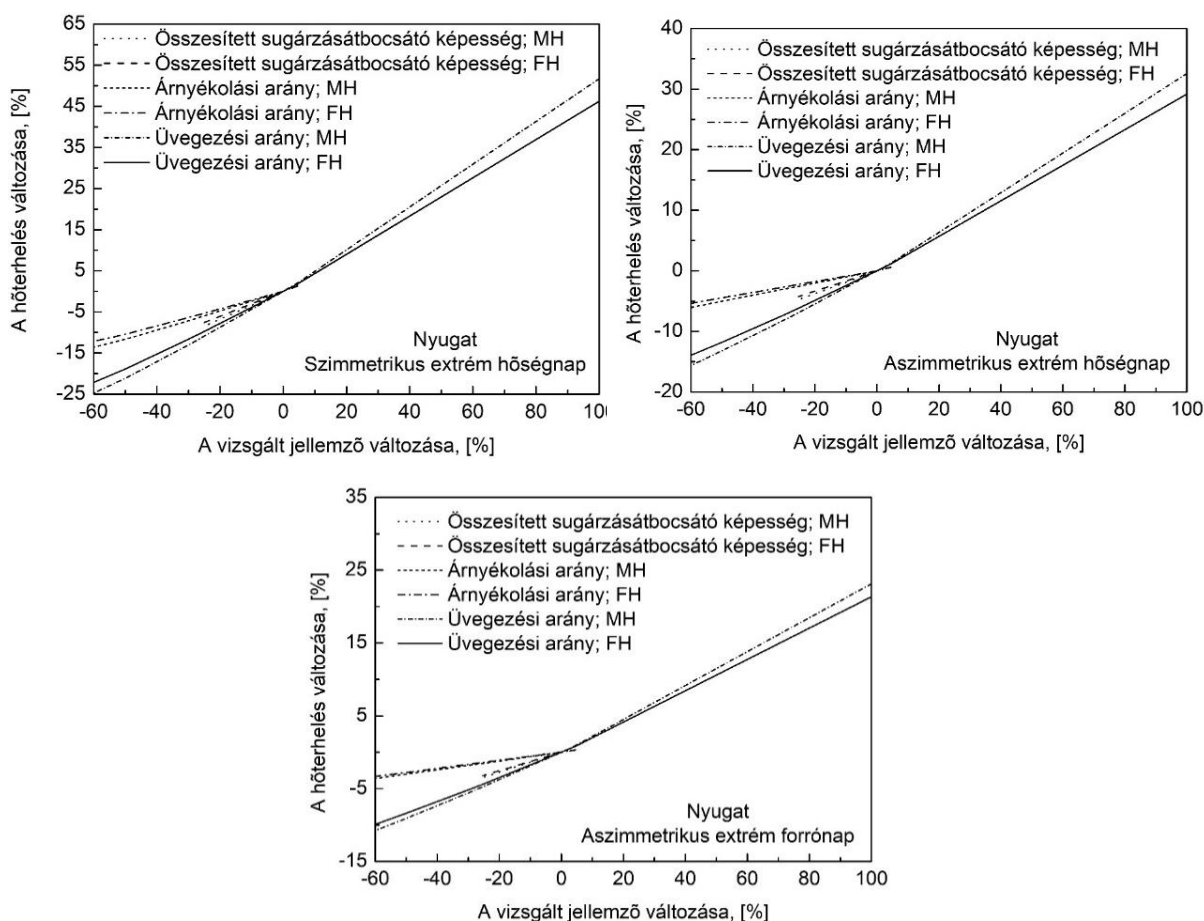
- 1) a hazai gyakorlatban ismert, a hőterhelés értékének meghatározására szolgáló számítási módszerek eredményeinek összehasonlítása;
- 2) az egyik hőterhelés számítási módszer esetében megvizsgálni annak érzékenységét, olyan építészeti fontos jellemzőkre, melyeket akár épületfelújítás során is befolyásolni lehet. Azt feltételeztem, hogy a hőterhelés értékét leginkább az árnyékolás mértéke befolyásolja.
- 3) mivel a felülehűtéseknel kiemelten fontos az állagvédelem, célul tűztem ki olyan összefüggések kidolgozását, melyek alapján meghatározható a felülehűtéssel elvonható legnagyobb hőterhelés értéke. Azt feltételeztem, hogy a legnagyobb elvonható fajlagos hőáram falhűtéssel érhető el.
- 4) céloom továbbá a két leggyakrabban alkalmazott felülehűtési mód (fal- és mennyezethűtés) vizsgálata hőérzeti szempontból. Hipotézisem az, hogy a PMV és a szubjektív hőérzeti válaszok (AMV) értékei között nem lesz szignifikáns különbség és 0-hoz (hőérzeti szempontból semleges állapot) közelítenek.
- 5) gyakorlati szempontból fontosnak tartom a mechanikus kompresszoros és az abszorpciós hűtőgépek összehasonlítását. Azt feltételeztem, hogy lehet találni olyan esetet, amikor úgy energetikailag, mint exergetikailag jobb a gyakorlatban kevésbé elterjedt abszorpciós hűtőgép.
- 6) az abszorpciós gépek energetikai és exergetikai jelzőszámaiban megjelennek az adott készülékre jellemző hőáram értékek különböző üzemeltetési hőmérsékletek mellett. A céloom az, hogy a jelzőszámok meghatározását részben, vagy egészben függetlenítsem a hőáramok értékeitől.
- 7) fontosnak tartom megvizsgálni a napenergia és a geotermikus energia hasznosítás hatékonyságát az abszorpciós hűtőgépek esetében.

AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

TÉZISEK

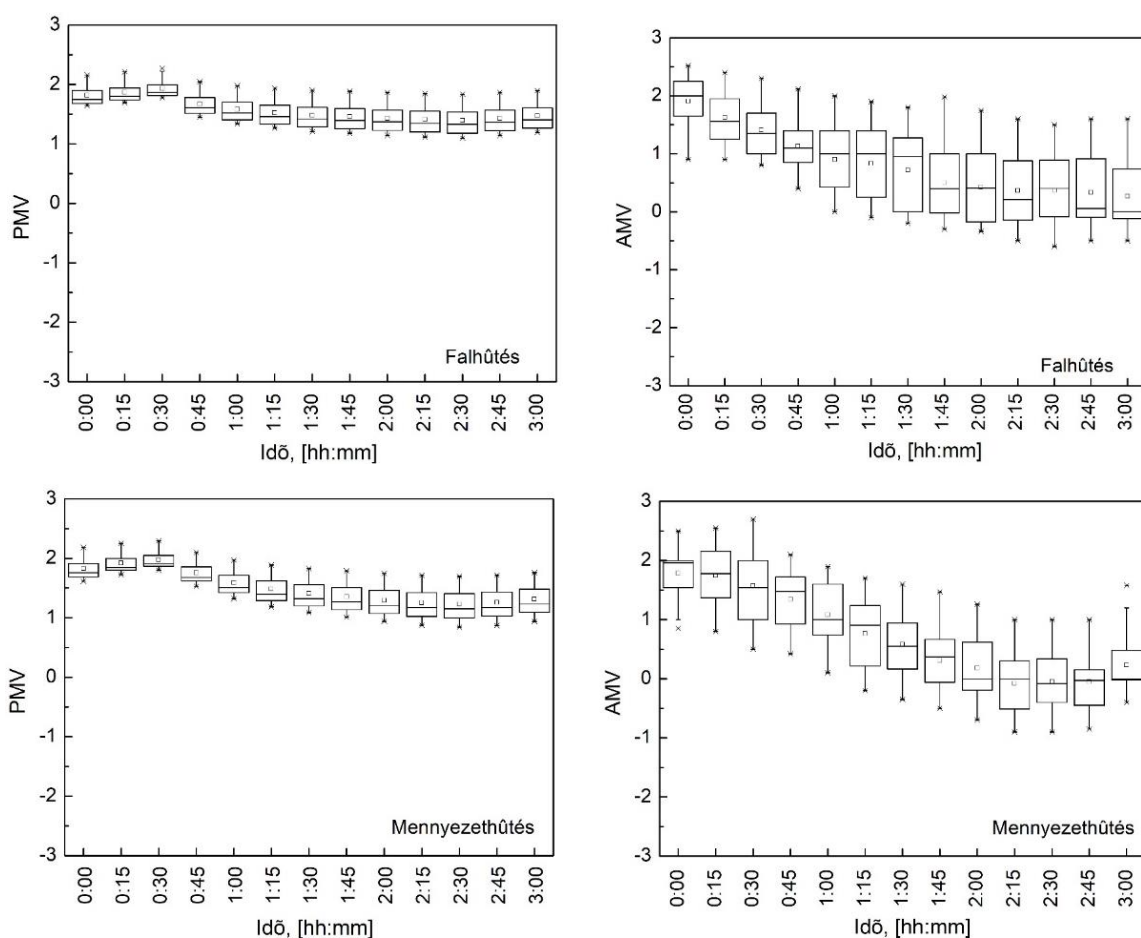
1. Az épületek hőterhelését három különböző számítási módszer alkalmazásával vizsgáltam. AZ MSZ EN ISO 52016-1:2017 módszerénél, három mintanap adatai alapján elemeztem a hőterhelés érzékenységét falhűtés és mennyezethűtés esetében az üvegezési arány, a tájolás, az árnyékolás és az összesített sugárzásátbocsátó képesség függvényében.

648 eset számírási eredményei alapján megállapítottam, hogy a hőterhelés változása eltérő a vizsgált paraméterek esetében. Tájolástól függetlenül, sorrendben az üvegezési arány, az összesített sugárzásátbocsátó képesség, illetve az árnyékolás okozza a legnagyobb hőterhelés változást. A tájolás vonatkozásában, a hőterhelés változása a vizsgált paraméterek esetében eltérő. A vizsgált mintanapokon sorrendben a NY-i, a D-i, a K-i, illetve az É-i tájolások esetében tapasztalható a legnagyobb változás a hőterhelés értékében.



2. Kontrollált belső környezeti paraméterek mellett, húsz alany bevonásával (tíz nő, tíz férfi) laboratóriumban végzett három órás hőérzeti mérésekkel igazoltam, hogy úgy a fal-, mint a mennyezethűtés esetében a számított PMV értéke nagyobb, mint az alanyok hőérzetre vonatkozó szubjektív értékelése a hét pontos hőérzeti skálán. ANOVA statisztikai módszer alkalmazásával $p=0,05$ szignifikancia szint mellett kimutattam, hogy nemtől függetlenül a számított és a valós szubjektív hőérzeti értékek között szignifikáns az eltérés.

Az élőalanyokon végzett mérések alapján kijelentem, hogy mennyezethűtés legalább kétórás folyamatos működését követő kikapcsolás után, tovább érzik a benn tartózkodók kellemesebbnek a környezetet, mint falhűtésnél



3. A felületi lecsapódást, mint peremfeltételt figyelembe véve, adott zárt tér esetében, meghatároztam a fal-, illetve mennyezethűtéssel elvonható maximális hőterhelés értékének összefüggését. Úgy a fal-, mint a mennyezethűtés esetében új energetikai és exergetikai jelzőszámokat dolgoztam ki és meghatároztam ezek kapcsolatát.

Maximális hőterhelés:

$$\dot{Q}_{HT,max} = \left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{HT,R} = \frac{(2 \cdot \bar{T}_{c,min} - 2 \cdot T_{a,0}) \cdot U_1 \cdot A \cdot L \cdot \tanh(0,5 \cdot m \cdot l)}{L \cdot m \cdot l + 2 \cdot U_1 \cdot A \cdot R_c \cdot \tanh(0,5 \cdot m \cdot l)}, \text{ ha } \dot{Q}_{HT,R} \geq \dot{Q}_{HT,RH} \\ \dot{Q}_{HT,RH} = A \cdot \alpha_1 \cdot \frac{(B_1 + T_{a,0} - 273,15)^2 \cdot \ln RH}{A_1 \cdot B_1 - (B_1 + T_{a,0} - 273,15) \cdot \ln RH}, \text{ ha } \dot{Q}_{HT,R} < \dot{Q}_{HT,RH} \end{array} \right.$$

Új energetikai (3) és exergetikai (1) jelzőszámok:

$$\gamma_{ad,s} = \frac{\dot{Q}_{HT,max}}{\dot{Q}_{HT}} \quad [\%]$$

$$\gamma_{ad,w} = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{HT}} \quad [\%]$$

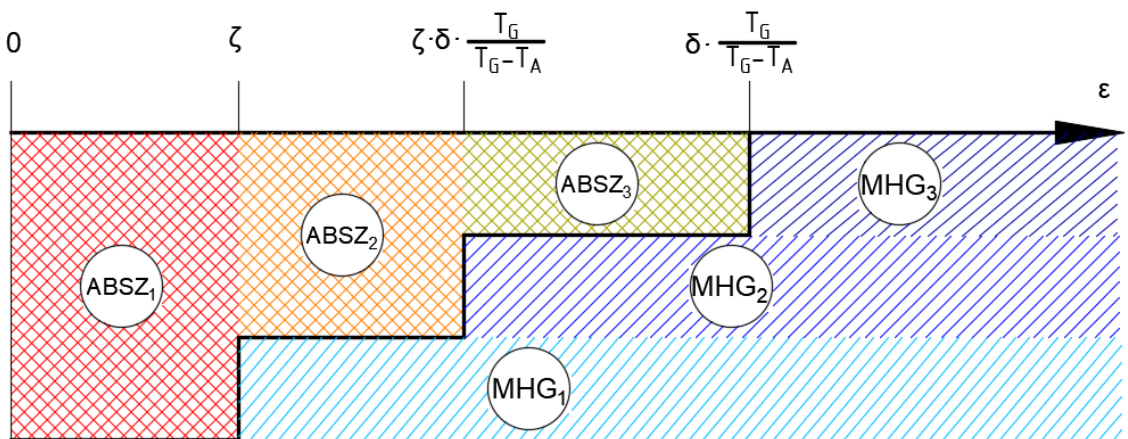
$$\gamma_{res} = 1 - \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{HT,max}} \quad [\%]$$

$$\eta_{ex} = \left[\frac{T_{c,1,0} \cdot T_{c,2,0} \cdot T_{H,0}}{T_{c,1} \cdot T_{c,2} \cdot T_H} \cdot \frac{T_a \cdot T_H - T_{c,1} \cdot T_{c,2}}{T_{a,0} \cdot T_{H,0} - T_{c,1,0} \cdot T_{c,2,0}} \right] \cdot \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{HT,max}} \quad [\%]$$

A jelzőszámok kapcsolata:

$$\eta_{ex} = (1 - \gamma_{res}) \cdot \gamma = \frac{\gamma_{ad,w}}{\gamma_{ad,s}} \cdot \gamma$$

4. Energetikai és exergetikai szempontból, eltérő hőfoklépcsők mellett, összehasonlítottam a kompresszoros és az abszorpciós hűtőgépek hatékonyságát és igényeit. Meghatároztam azokat a jelzőszámokat, melyek alkalmazásával egyszerűsített számítási eljárással kimutatható egy adott hűtési rendszer esetében, hogy melyik hidegenergiatermelő alkalmazása az előnyösebb.



MHG₁: Kisebbs energia igény; **MHG₂**: Kisebbs energia és exergia igény, magasabb exergetikai hatásfok; **MHG₃**: Kisebbs energia és exergia igény, magasabb energetikai és exergetikai hatásfok; **ABSZ₁** és **MHG₃**: Kisebbs energia és exergia igény, magasabb energetikai és exergetikai hatásfok; **ABSZ₂**: Kisebbs exergia igény, magasabb energetikai és exergetikai hatásfok; **ABSZ₃**: Magasabb energetikai hatásfok

5. A megújuló energiaforrásokot is felhasználó abszorpciós hűtőgépekre vonatkozóan bevezetem a termokémiai teljesítmény viszonszám fogalmát és kidolgoztam az összefüggését. A termokémiai teljesítmény viszonszám és a gép üzemi hőmérsékleteinek használatával a hőviszony, a termokémiai hatásfok és az exergetikai hatásfok meghatározható. A hőviszony, a termokémiai – és az exergetikai hatásfok egyszerűsített meghatározásához, az abszorpciós hűtőgépek főbb jellemzői alapján, diagramokat dolgoztam ki.

A termokémiai teljesítmény viszonszám:

$$\beta = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_G}$$

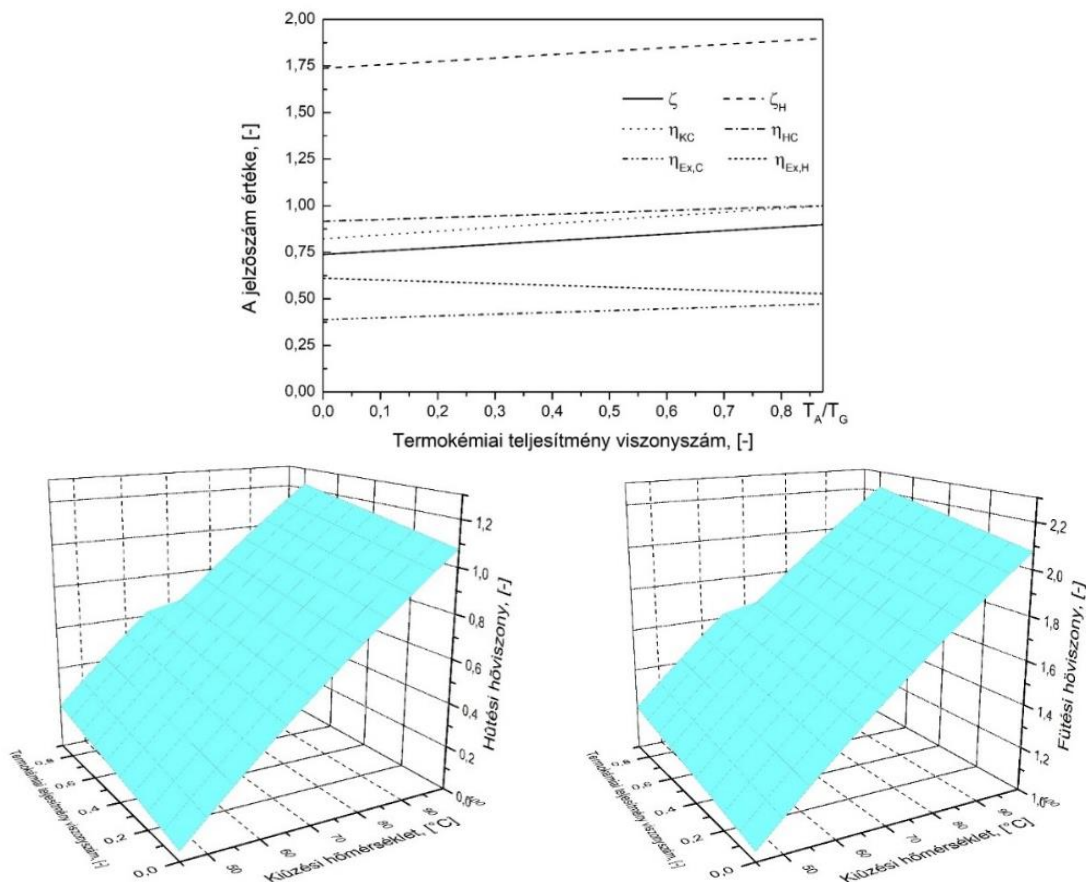
A hőviszony, a termokémiai és az exergetikai hatásfok a viszonszámmal:

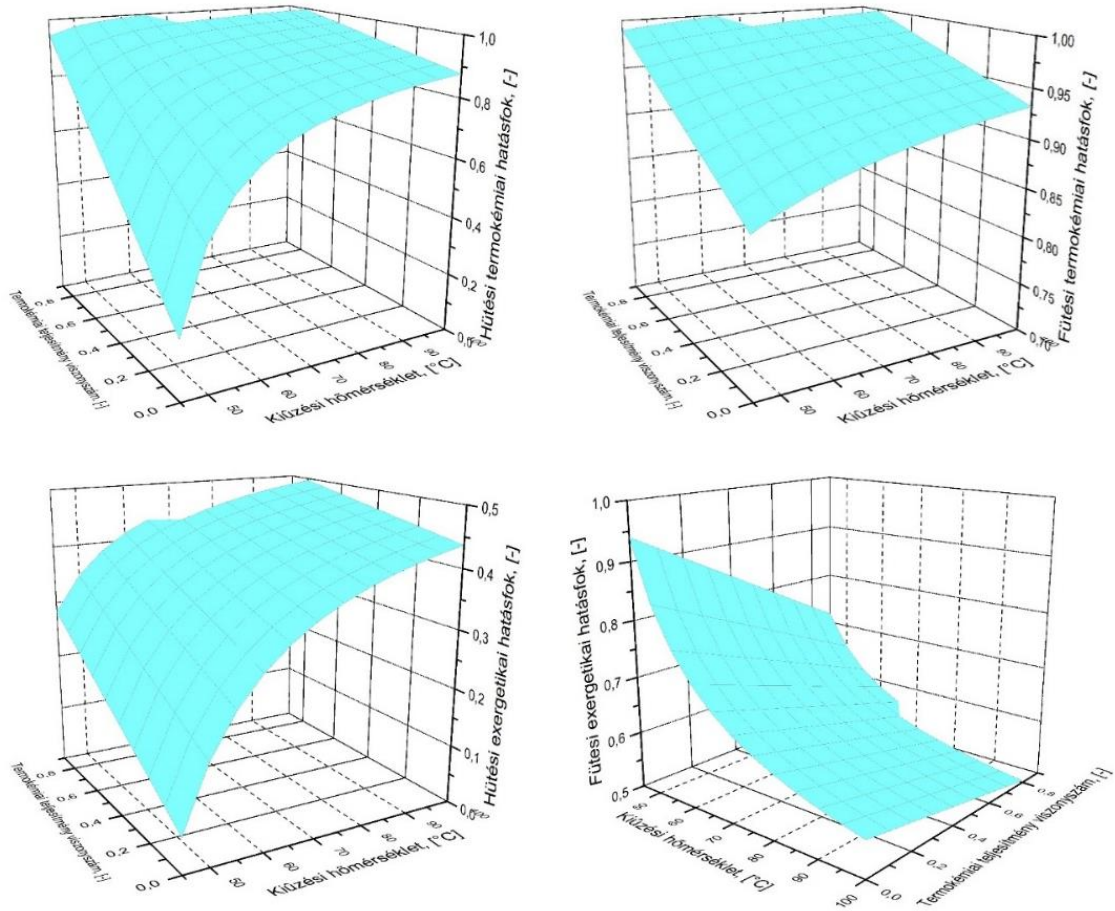
$$\zeta_K = \frac{T_0}{T_A} \cdot \frac{T_C - T_A}{T_C - T_0} \cdot \beta + \frac{T_0}{T_G} \cdot \frac{T_G - T_C}{T_C - T_0}$$

$$\eta_{KC} = \frac{T_G}{T_A} \cdot \frac{T_C - T_A}{T_G - T_A} \cdot \beta + \frac{T_G - T_C}{T_G - T_A}$$

$$\eta_{Ex,C} = \frac{T_G}{T_A} \cdot \frac{T_C - T_A}{T_C - T_0} \cdot \frac{T_X - T_0}{T_G - T_X} \cdot \beta + \frac{T_G - T_C}{T_C - T_0} \cdot \frac{T_X - T_0}{T_G - T_X}$$

Diagramok:





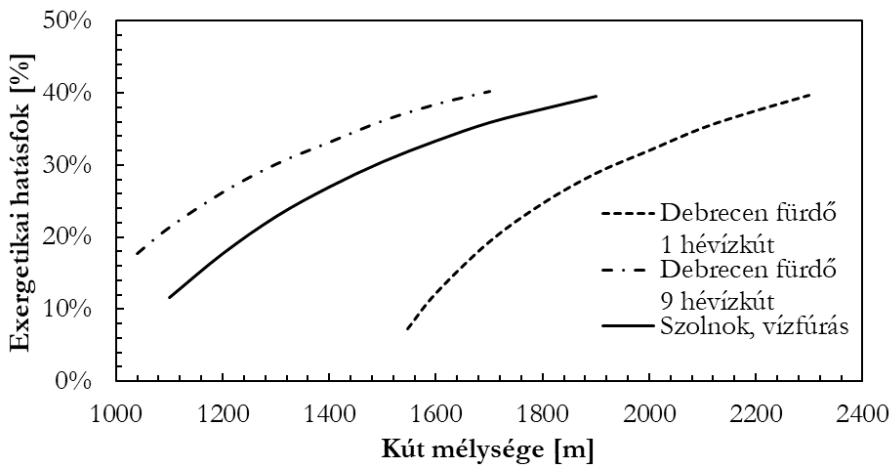
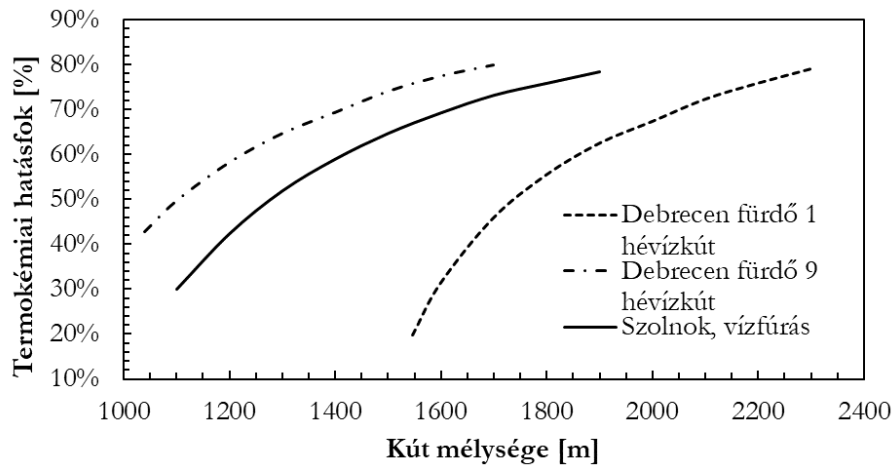
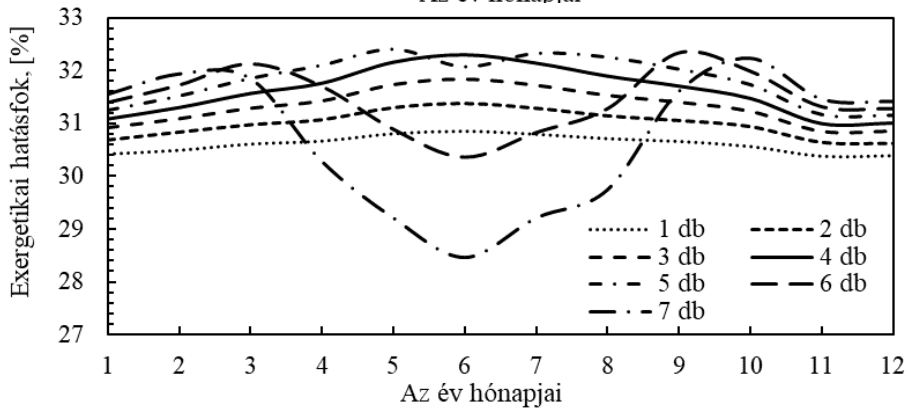
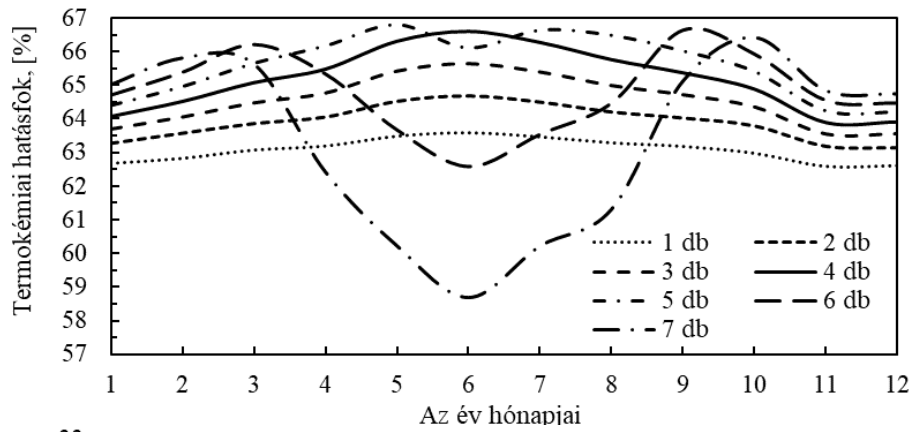
6. Meghatároztam a napenergiával működtetett abszorpciós hűtőgépek vonatkozásában, a termokémiai és az exergetikai hatásfok összefüggését, a napkollektorok számának függvényében. Összefüggést és diagramokat dolgoztam ki a termálvízzel működtetett abszorpciós hűtőgépek termokémiai és exergetikai hatásfokára vonatkozó, a kűtmélység függvényében, a hőfokgradienst figyelembe véve.

Összefüggések:

$$\eta_{KC} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \zeta_N \cdot \frac{T_C - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_G}{T_G - T_A}$$

$$\eta_{Ex,C} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \zeta_N \cdot \frac{T_G}{T_0} \cdot \frac{T_X - T_0}{T_G - T_X}$$

Diagramok:



AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ PUBLIKÁCIÓK

- 1) L. Szabó, G.: Egy irodahelyiség hőterhelésének meghatározása az MSZ-04-140-4:1978, az MSZ EN ISO 13790:2008 és az MSZ EN ISO 52016-1:2017 szerint. **Magyar Épületgépészet** 68:3, 2018, ISSN 1215-9913 (1.tézis)
- 2) L. Szabó, G.–Kalmár, F.: Parametric Analysis of Buildings' Heat Load Depending on Glazing : Hungarian Case Study. **Energies** 11:12, 2018, ISSN 1996-1073, **Q1, IF 2,707** (1. tézis)
- 3) L. Szabó, G.–Kalmár, F.: Investigation of subjective and objective thermal comfort in the case of ceiling and wall cooling systems, **International Review of Applied Sciences and Engineering** 8:2, 2017, Print ISSN: 2062-0810, **SCOPUS adatbázisú, jelenleg Q3** (2. tézis)
- 4) L. Szabó, G.-Kalmár, F.: Investigation of energy and exergy performances of radiant cooling systems in buildings : a design approach, **Energy** 185, 2019, ISSN 0360-5442, **D1, IF:5,537** (3. és 4. tézis)
- 5) L. Szabó, G.: Az abszorpciós gépek jelzőszámai és ezek kapcsolata, **Energiagazdálkodás** 59:1-2, 2018, **MTA besorolás: A** (5. tézis)
- 6) L. Szabó, G.: Parabolikus napkollektorral működtetett abszorpciós hűtőgép elemzése, **Magyar Épületgépészet** 67:12, 2018, ISSN1215-9913 (6. tézis)
- 7) Kalmár, F. – Szabó, G. : Analysis of thermal compressor efficiency in case of geothermal energy sources, **Building Services Engineering Research and Technology** 35:3, 2014, ISSN: 0143-6244 1477-0849, **Q2, IF: 0,727** (6. tézis)

A JELÖLT PÁLYÁZATI RÉSZVÉTELEI:

- 1) TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0017 Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának integrált modellezése
- 2) DenZero: 2013.01.01-2014.12.31 TÁMOP-4.2.2.A-11-1-KONV-2012-0041
- 3) Zenfe: TÁMOP 4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012
- 4) EFOP-3.6.1-16-2016-00022 Debrecen Venture Catapult Program
- 5) 20428-3/2018/FEKUTSTRAT, Felsőoktatási intézményi kiválósági program

**A JELÖLTNEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN SZÜLETETT
TOVÁBBI PUBLIKÁCIÓI**

- 1) L. Szabó, G. : Irodaház hűtési rendszerének és hőtechnikai felújításának összehasonlítása felújítás előtt és után különböző hőszigetelés méretek mellett; **Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources**, 10-11 October 2013, Debrecen, Hungary, pp: 228-232, ISBN 978-963-473-624-0
- 2) L. Szabó, G. : Az épület hőterhelési összetevőinek változása, különböző szintű hőtechnikai felújítások során; **Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III. konferencia**, MTA DAB Megújuló Energetikai munkabizottság, Debrecen, 2014, pp: 173-177, ISBN 978-963-7064-31-9
- 3) L. Szabó, G. – Kalmár, F. : Egy irodaépület hőterhelésének meghatározása az MSZ 04-140-4-78 és az MSZ EN ISO 13790 szerint, **Energiagazdálkodás** 58:3 (2017), p. 6-10. -, ISSN: 0021-0757
- 4) Szabó, G. : A gőz és melegvítámaszú abszorpciós hűtőgépek összehasonlítása a jósági fok szempontjából, **Debreceni Műszaki Közlemények Különszáma X. évfolyam**, 2011/2, pp: 61-69, ISSN 1587-9801
- 5) Szabó, G. : Napenergiát hasznosító abszorpciós hűtőgép elméleti modellezése, **Értékteremtő épületgépészet konferencia, Gödöllő 2012, 2012. május 24-25. pp: 11-26. ISBN 978-963-269-287-6**
- 6) Szabó, G. : A geotermikus hőforrás, az abszorpciós hűtőgépek és a termikus kompresszor hatásfokának kapcsolata, **16th „Building Services, Mechanical and Building Industry Days”, International Conference** 14-15 October 2010, pp: 138-147, ISBN 978-963-473-422-2
- 7) Szabó, G. : Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából, **Magyar Épületgépészet**, LX. évfolyam, 2011/9. szám, pp 8-11, ISSN 1215-9913
- 8) L. Szabó, G. : Geotermikus energiával működtetett abszorpciós hűtési rendszer modellezése, **III. Vidékfejlesztési konferencia**, Szolnok, 2014, Megjelent: *Economica*. - 7:3 (2014), p. 84-91. ISSN:1585-6216

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1) Schär, C. és mtsai., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*; 427. kötet, pp. 332-336.
- 2) Lin, B. és mtsai., 2016. Evaluation and comparison of thermal comfort of convective and radiant heating terminals in office buildings. *Building Environment*, 106. kötet, pp. 91-102.
- 3) Li, R., Yoshidomi, T., Ooka, R. & Olesen, B., 2015. Field evaluation of performance of radiant heating/cooling ceiling panel system. *Energy Building*, 86. kötet, pp. 58-65.
- 4) Kalmár, F., 2016. Interrelation between glazing and summer operative temperature in buildings. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 7(1), pp. 51-60.
- 5) Csáky, I., 2015. Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata - egyetemi doktori értekezés. Debreceni Egyetem
- 6) Csáky, I. & Kalmár, F., 2015. Effects of thermal mass, ventilation and glazing orientation on indoor air temperature in buildings. *Journal of Building Physics*, 39(2), pp. 189-204.
- 7) Csáky, I. & Kalmár, F., 2017. Investigation of the relationship between the allowable transparent area, thermal mass and air change rate in buildings. *Journal of Building Engineering*, 12. kötet, pp. 1-7.
- 8) Csáky, I. & Kalmár, K. T., 2014. Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(11), pp. 2765-2770.
- 9) Pogran, S. és mtsai., 2013. Verification of agro-production building structures affecting the quality of indoor environment in the summer season. *Research in Agricultural Engineering*, 59. kötet, pp. 54-59.
- 10) Zhou, J., Zhang, G., Lin, Y. & Li, Y., 2008. Coupling thermal mass and natural ventilation in buildings. *Energy and Buildings*, 40. kötet, pp. 979-986.
- 11) Yam, J., Li, Y. & Zheng, Z., 2003. Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings. *International Journal of Heat and mass transfer*, 46. kötet, pp. 1251-1264.
- 12) Yang, L. & Li, Y., 2008. cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation. *Energy and Buildings*, 40. kötet, pp. 2052-2058.
- 13) MSZ EN ISO 13790, 2008. Energy performance of buildings—Calculation of energy use for space heating and cooling.
- 14) MSZ EN ISO 52016-1, 2017. Energy performance of buildings—Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads—Part 1: Calculation procedures.



Nyilvántartási szám: DEENK/373/2019.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: L. Szabó Gábor
Neptun kód: CR9KZM
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10035597

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

- L. Szabó, G.:** Egy irodahelyiség hőterhelésének meghatározása az MSZ-04-140-4: 1978, az MSZ EN ISO 13790:2008 és az MSZ EN ISO 52016-1: 2017 szerint.
Magyar épületgépészet. 68 (3), 3-7, 2019. ISSN: 1215-9913.
- L. Szabó, G.:** Az abszorpciós gépek jelzőszámai és ezek kapcsolata.
Energiagazdálkodás. 59 (1-2.), 38-42, 2018. ISSN: 0021-0757.
- L. Szabó, G.:** Parabolikus napkollektorral működtetett abszorpciós hűtőgép elemzése.
Magyar épületgépészet. 67 (12), 11-16, 2018. ISSN: 1215-9913.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

- L. Szabó, G., Kalmár, F.:** Investigation of subjective and objective thermal comfort in the case of ceiling and wall cooling systems.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 8 (2), 135-140, 2017. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2017.8.2.8>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

- L. Szabó, G., Kalmár, F.:** Investigation of energy and exergy performances of radiant cooling systems in buildings: a design approach.
Energy. 185, 449-462, 2019. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.067>
IF: 5.537 (2018)
- L. Szabó, G., Kalmár, F.:** Parametric Analysis of Buildings' Heat Load Depending on Glazing Hungarian Case Study.
Energies. 11 (12), 1-17, 2018. EISSN: 1996-1073.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en1123291>
IF: 2.707





7. Kalmár, F., **L. Szabó, G.**: Analysis of thermal compressor efficiency in case of geothermal energy sources.

Building Serv. Eng. Res. Technol. 35 (3), 237-243, 2014. ISSN: 0143-6244.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0143624413484601>

IF: 0.727

További közlemények

Magyar nyelvű könyvek (1)

8. **L. Szabó, G.**: Energiahatékony áramlástechnikai gépek. Debreceni Egyetem, Debrecen, 128 p., 2014. ISBN: 9789634737902

Magyar nyelvű könyvrészek (2)

9. **L. Szabó, G.**: Az épület hőterhelési összetevőinek változása, különböző szintű hőtechnikai felújítások során.

In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III.. Szerk.: Szabó Valéria és Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 173-177, 2014. ISBN: 9789637064319

10. **L. Szabó, G.**: Abszorpciós hűtőgépek.

In: Korszerű gyakorlati épületgépészet. Szerk.: Bánhidi László, Meszléry Celisztin, Verlag Dashöfer Kft., Budapest, 1-10, 2012. ISBN: 9789639313743

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (11)

11. **L. Szabó, G.**, Sinka, M., Bodó, B.: Előkezelt és kezeletlen friss levegős szellőzés esetén a fan-coil hűtési rendszer viselkedése.

Magyar épületgépészet. 68 (4), 3-8, 2019. ISSN: 1215-9913.

12. **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A csőfektetési mélység hatása a padló- és mennyezetfűtés-hűtésre: 1. rész.

Magyar épületgépészet. 67 (4), 3-8, 2018. ISSN: 1215-9913.

13. **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A csőfektetési mélység hatása a padló- és mennyezetfűtés-hűtésre: 2. rész.

Magyar épületgépészet. 67 (5), 16-20, 2018. ISSN: 1215-9913.

14. **L. Szabó, G.**, Deák, D. P., Bodó, B.: A fan-coil-os hűtési fogyasztói rendszer alakulása eltérő munkaközegeknél tervezési és exergetikai szempontból.

Magyar épületgépészet. 67 (10), 8-12, 2018. ISSN: 1215-9913.

15. Bezzeg, P., **L. Szabó, G.**: Téli gyakorlati fa fűtőérték meghatározása házi mérés alapján.

Magyar épületgépészet. 67 (9), 20-25, 2018. ISSN: 1215-9913.





16. Rozgonyi, V., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A két- és négycsöves fan-coil rendszerek összehasonlítása.
Magyar épületgépészet. 66 (6), 9-11, 2017. ISSN: 1215-9913.
17. Reho, S., **L. Szabó, G.**: Egy irodaépület hőenergia igényeinek vizsgálata a hőfokgyakorisági görbe felhasználásával.
Magyar épületgépészet. 66 (9), 10-12, 2017. ISSN: 1215-9913.
18. **L. Szabó, G.**, Kalmár, F.: Egy irodaépület hőterhelésének meghatározása az MSZ 04-140-4-78 és az MSZ EN ISO 13790 szerint.
Energiagazdálkodás. 58 (3), 6-10, 2017. ISSN: 0021-0757.
19. **L. Szabó, G.**: A gőz és melegvítámaszú abszorpciós hűtőgépek összehasonlítása a jósági fok szempontjából.
Debreceni műszaki közl. 2011, 61-69, 2011. ISSN: 1587-9801.
20. **L. Szabó, G.**: Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából.
Magyar épületgépészet. 2011 (9), 8-11, 2011. ISSN: 1215-9913.
21. **L. Szabó, G.**, Mankovits, T.: Gumialkatrész Shore-féle keménységének kiértékelése az anyagvizsgálatok statisztikai módszerével = evaluation of Shore hardness of rubber parts with the method of statistics of material test.
Debreceni műszaki közl. 9 (1), 53-62, 2010. ISSN: 1587-9801.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (16)

22. Szanyi, S., **L. Szabó, G.**: Elterő csőanyagú hűtési elosztóhálózat energetikai és exergetikai vizsgálata = Energetic and Exergetic Examination of Distribution Network Made of Different Pipe Material.
In: Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2019. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 349-352, 2019. ISBN: 9789637064388
23. Deák, D. P., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A fan-coil-os hűtési fogyasztói rendszer vizsgálata eltérő munkaközegek esetén = The Investigation of Cooling Consumer Systems Based on Variant Refrigerants.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 16-24, 2018. ISBN: 9789637064371
24. Bezzeg, P., **L. Szabó, G.**: Egyensúlyi fanedvesség és fűtőérték télen = The Balance Between the Saturation of Wood and Its Heating Value.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 16-24, 2018. ISBN: 9789637064371





25. Rozgonyi, V., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: Fan-coil és a klímagerendás rendszerek összehasonlítása = Comparassion of Fan-Coil and Chiléled Beams.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 280-286, 2018. ISBN: 9789637064371
26. Rozgonyi, V., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A fűtés-hűtésre használt két és négycsöves fan-coil rendszerek összehasonlítása = The Comparison of Two- and Four-Pipe Fan-Coil System for Heating Cooling.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 470-475, 2017. ISBN: 9789637064357
27. Reho, S., **L. Szabó, G.**: Hőenergiaigény vizsgálata egy model épületnél hőfokgyakorisági görbével = Analysy of Thermal Energy Demand of a Sample Building by Temperature Frequency Graph.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 459-464, 2017. ISBN: 9789637064357
28. Németi, Z., **L. Szabó, G.**: Az Ebesi Polgármesteri Hivatal hűtési rendszereinek tervezése és összehasonlításának eredménye.
In: Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 470-474, 2016. ISBN: 9789637064333
29. **L. Szabó, G.**: Geotermikus energiával működtetett abszorpciós hűtési rendszer modellezése. *Economica*. 7 (3), 84-91, 2014. ISSN: 1585-6216.
30. **L. Szabó, G.**: Irodaház hűtési rendszerének és hőtechnikai felújításának összehasonlítása felújítás előtt és után különböző hőszigetelés méretek mellett.
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources: 10-11 october 2013, Debrecen, University of Debrecen, Debrecen, 228-232, 2013. ISBN: 9789634736240
31. **L. Szabó, G.**: Napenergiát felhasználó abszorpciós hűtési rendszerek elemzése.
In: XXXI. OTDK konferencia, Kecskeméti Főiskola GAMF Kar, Kecskemét, 1-39, 2013. ISBN: 9786155192173
32. **L. Szabó, G.**: Napenergiát hasznosító abszorpciós hűtőgép elméleti modellezése.
In: Kutatások, kísérletek, eredmények szekciók előadásai az Értéktérítő Épületgépészet Konferencia és Kiállítás Gödöllő 2012. május 24-25.. Közread.: a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Épületgépészet, Létesítmény- és Környezettechnika Tanszék, SZIE GK, Gödöllő, 11-26, 2012. ISBN: 9789632692876





33. **L. Szabó, G.:** Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából.
In: XVII. Épületgépészeti, Gépészeti és Építőipari Szakmai Napok : szakkiállítás és Nemzetközi Tudományos Konferencia 2011. október 13-14.. Szerk.: Kalmár Ferenc, Balla Tibor ; [közread. a] Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 1-8, 2011. ISBN: 9789634734642
34. **L. Szabó, G.:** A geotermikus hőforrás, az abszorpciós hűtőgépek és a termikus kompresszor hatásfokának kapcsolata.
In: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : 14-15 October 2010 Debrecen, Hungary. Szerk.: Kalmár Ferenc, Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 138-147, 2010. ISBN: 9789634734222
35. **L. Szabó, G., Mankovits, T.:** Gumialkatrészek alakoptimalizálásának elvi megközelítése = Shape optimization theory of rubber parts.
In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi Régióban, 2010 konferencia előadásai : Nyíregyháza, 2010. május 19.. Szerk.: Pokorádi László, MTA DAB Műsz. Szakbiz., Debrecen, 333-338, 2010.
36. **L. Szabó, G.:** Nyomott gumirugó összehasonlító vizsgálata laboratóriumi módszerekkel.
In: Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka, XV. : nemzetközi tudományos konferencia : Kolozsvár, 2010. március 25-26.. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 285-288, 2010.
37. **L. Szabó, G., Mankovits, T.:** A Shore-keménység és a gumialkatrészek végeeselemes vizsgálatának kapcsolata.
In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi Régióban, 2009 konferencia előadásai : Mezőtúr 2009. május 20.. Szerk.: Pokorádi László, MTA DAB Műsz. Szakbiz., Debrecen, 185-190, 2009. ISBN: 9789637064210

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

38. Mankovits, T., **L. Szabó, G.:** FEM analysis of rubber buffer.
In: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" : International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009. Szerk.: Kalmár Ferenc, Kocsis Imre, Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 33-38, 2009. ISBN: 9789634733157

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

39. **L. Szabó, G.:** Termikus kompresszor hatásfokának vizsgálata geotermikus hőforrás esetén
In: XXX. Jublieumi OTDK. Szerk.: Vincze Lászlóné, Eötvös József Főiskola Műszaki és Közgazdaságtudományi Kar, Baja, 179, 2011. ISBN: 9789637290855





A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 8,971

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
8,971**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2019.11.15.



THESES OF DOCTORAL DISSERTATION (PHD)

Energy and exery analysis of radiant cooling systems in buildings

by

Gábor L. Szabó

Supervisor: Dr. Ferenc Kalmár



UNIVERSITY OF DEBRECEN

DOCTORAL SCHOOL OF EARTH SCIENCES

DEBRECEN

2019

INTRODUCTION

According to the Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council, buildings are responsible for 40% of energy consumption in the European Union. This share may rise in the following years due to the continuous increase of demand for comfort by occupants. In the buildings energy balance the share of cooling will increase either. Therefore any measure, which mitigates the buildings' energy consumption and helps the use of renewable energy sources, strengthens the security and independence of the European Union's and our country's energy supplies.

The climate change in summer (and transitional as well) seasons affects the efforts in reducing energy consumption negatively. The European climate will increasingly vary year by year due to global warming (Schär, et al., 2004). The existing systems will be less effective due to the negative effects of climate change. If we wish to be energy efficient, the building services need to be designed accordingly. It is therefore essential to use the most accurate data during the design process of cooling systems. Accordingly, the heat load must be calculated as precisely as possible in order to choose the most appropriate cooling system.

Office buildings are in use both in winter and in summer seasons and have significant heating and cooling demands. In these buildings, persistent, high quality intellectual work is performed; however it is not a sufficient condition for a person to “feel comfortable”. The thermal comfort theory give the physical description of the suitable effective temperature. Four out of six parameters that are influencing the thermal comfort, can be influenced by the building service systems. For the comfort-focused building engineering design, it is required to have the most precise parameters of the examined building in regards of thermal comfort and heat-technological requirements, as well as the precise description of the external environmental parameters.

ISO 13790 and ISO 52016 standards provide internationally accepted algorithms to calculate the head-load (Lin, et al., 2016), (Li, et al., 2015). Using both algorithms the specific meteorological data of the location must be considered during the calculation. Furthermore, the conception of the building, the shape, the building materials used, the energy efficiency requirements set for a given region or country and the desired indoor temperature also need to be considered. (Kalmár, 2016), (Csáky, 2015), (Csáky & Kalmár, 2015), (Csáky & Kalmár, 2014), (Csáky & Kalmár, 2017) In my dissertation, the heat-load analysis was carried out by taking into consideration the registered solar radiation and temperature data of Debrecen, Hungary. During the research, I decided to focus on the transparent surface of the facades (e.g orientation, glazing and shading ratio).

Formerly, it was revealed, that the impact of the overall heat transfer coefficient of windows on the summer heat-load is negligible to its other physical properties. Furthermore, if the building is properly insulated, the heat flowing through opaque elements can be neglected, even if the aging process of the insulation must be considered. (MSZ EN ISO 52016-1, 2017). For calculating the heat-load, firstly the most important is to choose the proper calculation method. There are various possibilities (Pogran, et al., 2013), (Yang & Li, 2008), (Zhou, et al., 2008), (Yam, et al., 2003)). For my analysis, I investigated the two formerly used regulations in Hungary, which are still often used today, and are currently valid.

In comfort-circumstances, the heat loss of a person happens predominantly by radiation (42-44%), thus the technical solutions, which ensure the cooling through radiation, must be investigated; therefore I worked with surface cooling systems in my dissertation. The radiative cooling systems preferably demands continuous operation. These systems provide cooling using high temperature cooling water with low exergy-content. Thus, in case of high heat loads, it can happen that the radiative cooling system cannot neutralize the unnecessary heat quantity.. With surface cooling, the risk of local discomfort by draught in premises is less, than for other cooling solutions.

Since the European Union aims to increase the renewable energy ratio to 20% by 2020, compared to the 1990 levels, it is important to prefer those cooling solutions, where cold-energy is generated by using renewable energy sources. Therefore, to be environmentally conscious, the energy used by cooling systems ought to be gained from renewable sources.

Hence it is a major question, how these renewable energy sources can be integrated into these cooling systems. Using renewable energy sources, a heat can be produced directly, furthermore electrical energy indirectly and directly as well. The renewable sources potentially feasible for operating a cooling system are: solar-, geothermal-, water-, wind-energy and biomass. In the case of absorption chillers, primarily solar- and geothermal energy can be used efficiently.

Besides the quantitative (energy) analysis, from the perspective of optimal designing and operation of cooling systems, carrying out the calculations on the quality (exergy) is indispensable, so that the excessively complex question can be answered, as to which system is more effective, from heat-release, heat-transfer and heat-production point of view.

THE OBJECTIVES / HYPOTHESES OF THE RESEARCH

The main goal of my research work is to analyze radiant cooling systems from an energy and exergy point of view. The investigation goes from human and material protection needs to the source of energy production. Emphasized aspect of my analysis is that the results can be used in the short run in the designing of cooling systems. This is the reason why some steps focus on heat-load, cooling process, heat-transfer and cold heat-production in this scientific work.

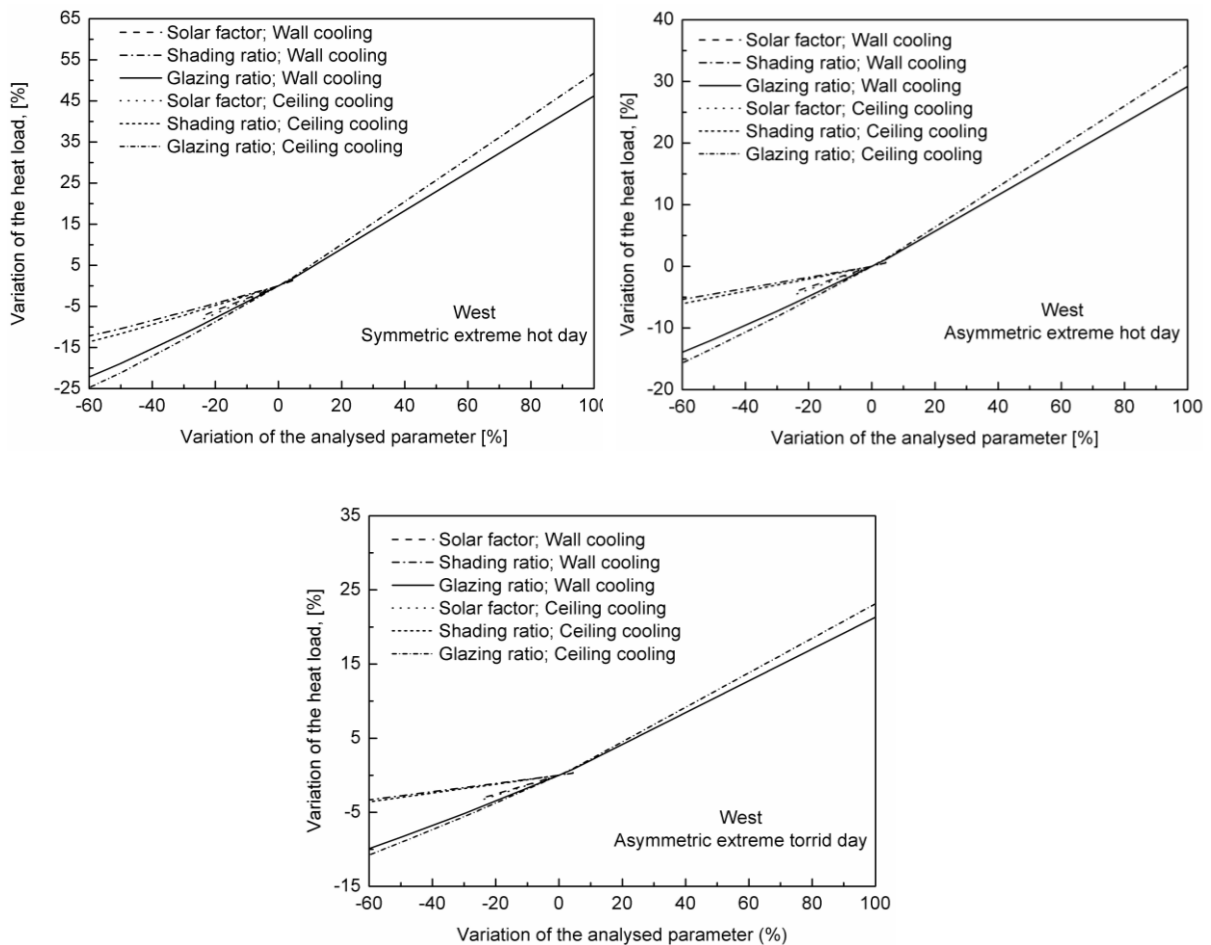
The main objectives and hypotheses of my research:

- 1) The comparison between the nationwide known and used calculation methods of heat-load value
- 2) The analysis of the sensibility of one particular heat-load calculation on architectural attributes, which can be affected during a building restoration. My assumption is, that the heat-load value will be mostly affected by the extent of shading.
- 3) Since the substance protection is high priority regarding surface cooling, I set a goal to work out correlations, on which the highest removable heat-load value can be determined using surface cooling. My assumption is, that the greatest removable specific heat flux can be achieved using wall cooling.
- 4) Furthermore, my goal is to analyze the two most frequently used surface cooling methods (wall- and ceiling cooling) from the thermal comfort point of view. My hypothesis, is that there will be no significant difference between PMV – predictive mean vote and subjective thermal comfort answers (AMV – actual mean vote), and that they will converge to 0 (neutral state regarding thermal comfort).
- 5) Regarding practical use, I feel it is important to compare the mechanical compressor operated and the absorption chiller systems. I assume that, the less widely used absorption chillers will be better both in energy and exergy standpoints.
- 6) Heat flux values specific to a given device will appear in the index numbers of energy and exergy of absorption machines along with different operating temperatures. My goal is to partly, or fully separate the heat flux values from the index numbers.
- 7) I find it important to analyze efficiency of the solar energy and geothermal energy in the case of absorption chillers.

NEW RESULTS, THESE S

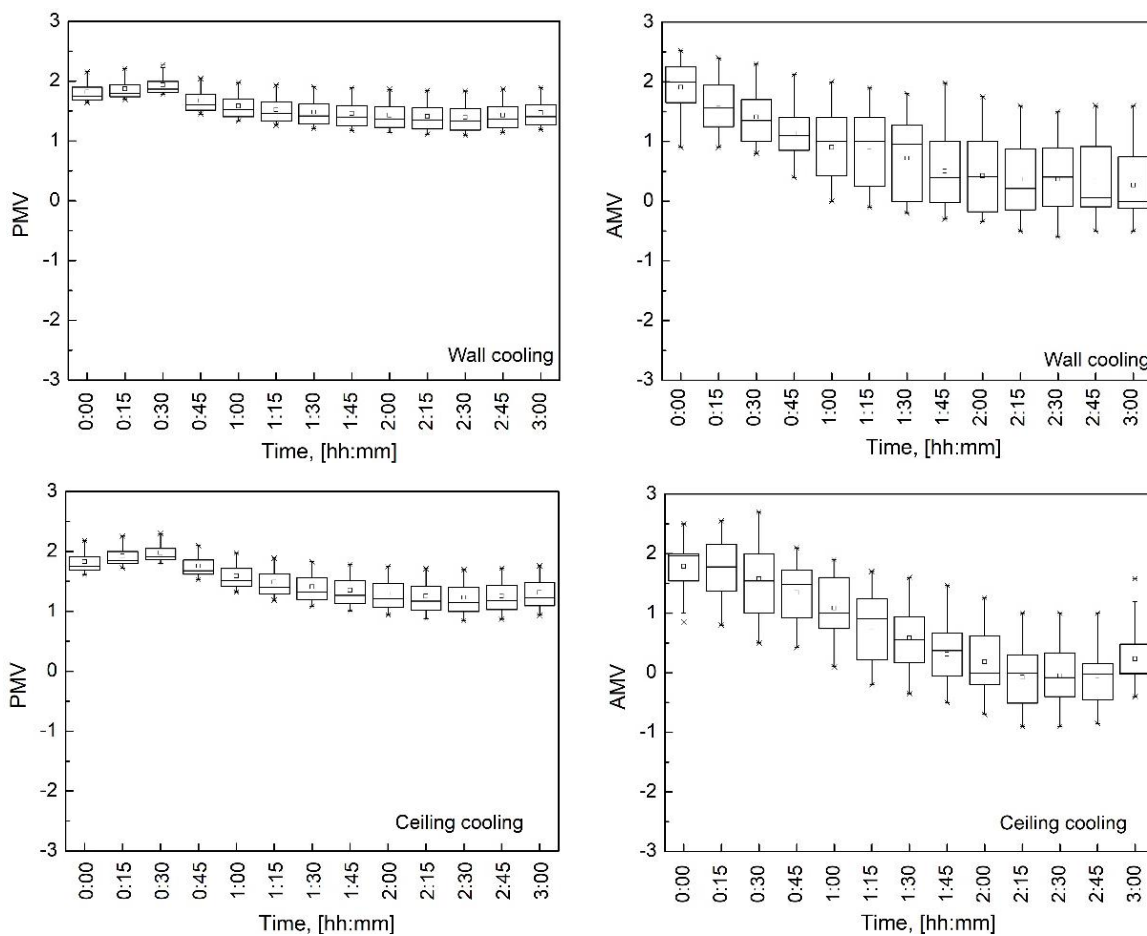
1. The heat-load of buildings were calculated using 3 different methods. In the case of the MSZ EN ISO 52016-1:2017 standard, the data of 3 sample-days were used to analyze the sensibility of heat-load in case of wall-cooling and ceiling-cooling, which was dependent on glazing ratio, building orientation, shading and the advanced emissive capability.

After calculating 648 cases, I established, that the variation of heat-load was different in the analyzed parameters, based on the results. Independently from the orientation, in order glazing ratio, solar factor and shading cause the biggest fluctuation in the heat-load values. Regarding the building orientation, the difference of heat-load was different in the analyzed parameters. The biggest difference of heat-load was caused by, in order, the western, southern, eastern and northern orientations.



2. Along with controlled interior environment parameters, a 3 hour laboratory thermal comfort measurement was established using 20 subjects (10 women, 10 men), and it was proven, that regarding wall- and ceiling cooling the value of PMV is bigger than the subjective assessment of the subjects on a 7-point heat-sense scale. Using the statistic method of ANOVA, it was proven along with a $p=0,05$ significance-level that the actual mean vote values varied significantly, regardless of gender.

According to the results of the measures on the subjects, I state, that after turning off the ceiling cooling, which ran continuously for 2 hours, the occupants felt the effects of the cooling system on the ceiling for longer than the wall.



3. Considering the surface condensation in a given closed space, I determined the correlation between the maximum cooling capacity in the case of both wall- and ceiling cooling. In both cases I worked out new energy and exergy index-numbers and defined the connection between.

Maximum of heat-load:

$$\dot{Q}_{HT,max} = \left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{HT,R} = \frac{(2 \cdot \bar{T}_{c,min} - 2 \cdot T_{a,0}) \cdot U_1 \cdot A \cdot L \cdot \tanh(0,5 \cdot m \cdot l)}{L \cdot m \cdot l + 2 \cdot U_1 \cdot A \cdot R_c \cdot \tanh(0,5 \cdot m \cdot l)}, \text{ ha } \dot{Q}_{HT,R} \geq \dot{Q}_{HT,RH} \\ \dot{Q}_{HT,RH} = A \cdot \alpha_1 \cdot \frac{(B_1 + T_{a,0} - 273,15)^2 \cdot \ln RH}{A_1 \cdot B_1 - (B_1 + T_{a,0} - 273,15) \cdot \ln RH}, \text{ ha } \dot{Q}_{HT,R} < \dot{Q}_{HT,RH} \end{array} \right.$$

New energy (3) and exergy (1) index-numbers:

$$\gamma_{ad,s} = \frac{\dot{Q}_{HT,max}}{\dot{Q}_{HT}} \quad [\%]$$

$$\gamma_{ad,w} = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{HT}} \quad [\%]$$

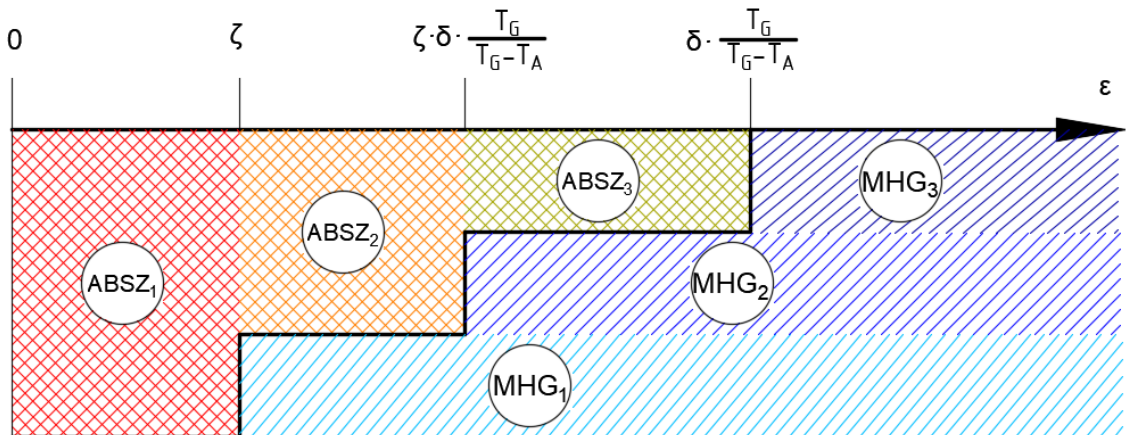
$$\gamma_{res} = 1 - \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{HT,max}} \quad [\%]$$

$$\eta_{ex} = \left[\frac{T_{c,1,0} \cdot T_{c,2,0} \cdot T_{H,0}}{T_{c,1} \cdot T_{c,2} \cdot T_H} \cdot \frac{T_a \cdot T_H - T_{c,1} \cdot T_{c,2}}{T_{a,0} \cdot T_{H,0} - T_{c,1,0} \cdot T_{c,2,0}} \right] \cdot \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{HT,max}} \quad [\%]$$

The connection between the index-numbers:

$$\eta_{ex} = (1 - \gamma_{res}) \cdot \gamma = \frac{\gamma_{ad,w}}{\gamma_{ad,s}} \cdot \gamma$$

4. Regarding energy and exergy, with differing temperature differential, I compared the efficiencies and demands of compressor operated and absorption chillers. Using the index-numbers I calculated, it is demonstrable by using simplified calculating methods, which mode of cold-energy production is the more advantageous.



MHG₁: Less energy demand; **MHG₂**: Less energy and exergy demand; higher exergy efficiency; **ABSZ₁** and **MHG₃**: Less energy and exergy demand; higher energy and exergy efficiency; **ABSZ₂**: Less exergy demand; higher energy and exergy efficiency; **ABSZ₃**: Higher energy efficiency

5. For absorption chillers using renewable energy sources I introduced the definition of thermochemical performance ratio and I worked out its relation. Using the thermochemical performance ratio and the operating temperatures of the chiller, the heat-ratio, thermochemical efficiency and the exergy efficiency can be defined. For the simplified calculation of heat-ratio, thermochemical efficiency and the exergy efficiency, I worked out diagrams based on the main characteristics of absorption chillers.

The thermochemical performance ratio:

$$\beta = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_G}$$

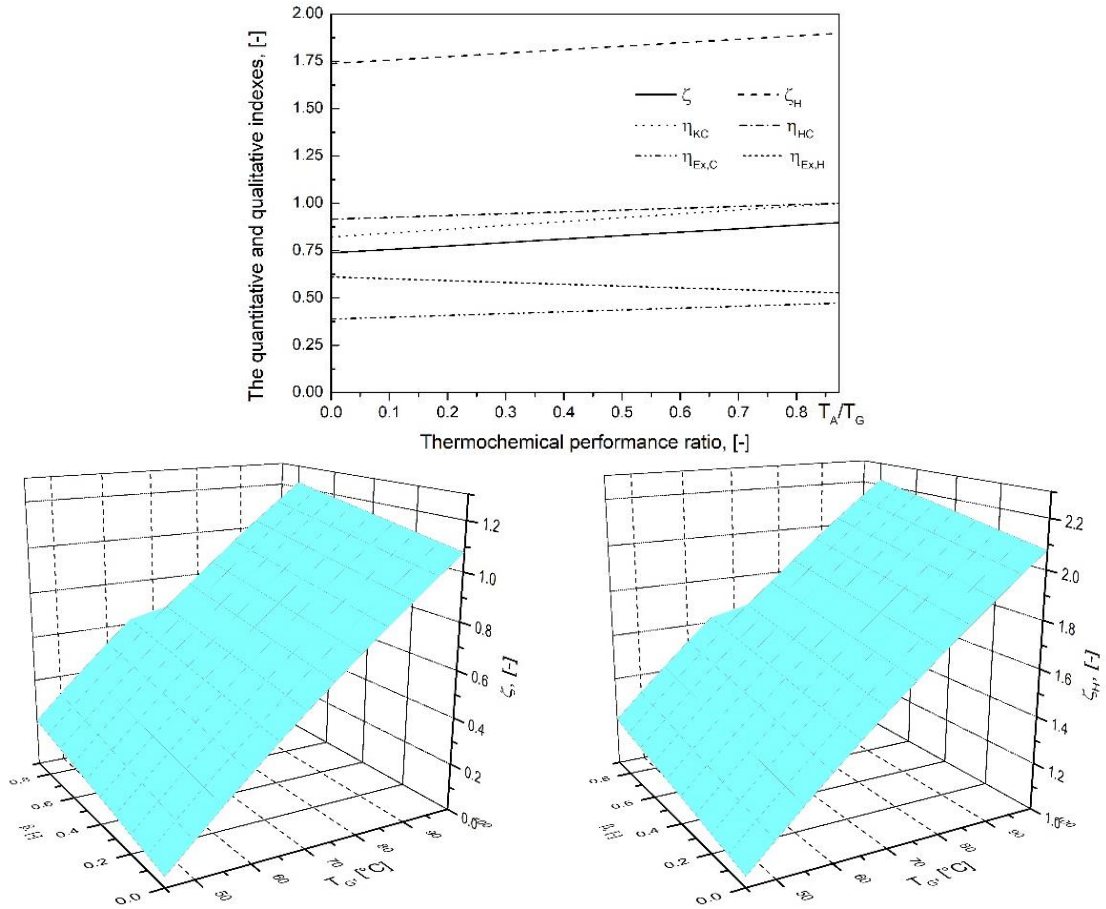
The heat-ratio, thermochemical efficiency and the exergy efficiency with the ratio-number:

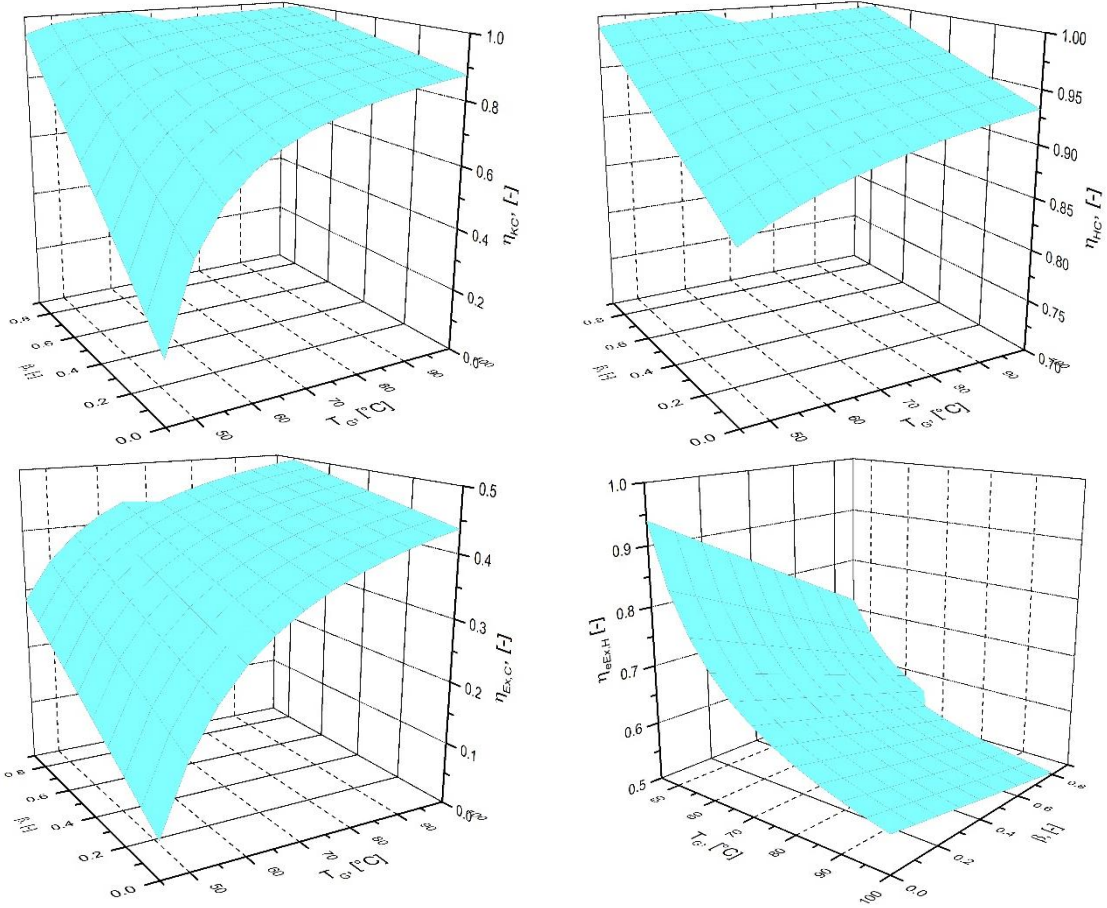
$$\zeta_K = \frac{T_0}{T_A} \cdot \frac{T_C - T_A}{T_C - T_0} \cdot \beta + \frac{T_0}{T_G} \cdot \frac{T_G - T_C}{T_C - T_0}$$

$$\eta_{KC} = \frac{T_G}{T_A} \cdot \frac{T_C - T_A}{T_G - T_A} \cdot \beta + \frac{T_G - T_C}{T_G - T_A}$$

$$\eta_{Ex,C} = \frac{T_G}{T_A} \cdot \frac{T_C - T_A}{T_C - T_0} \cdot \frac{T_X - T_0}{T_G - T_X} \cdot \beta + \frac{T_G - T_C}{T_C - T_0} \cdot \frac{T_X - T_0}{T_G - T_X}$$

Diagrams:





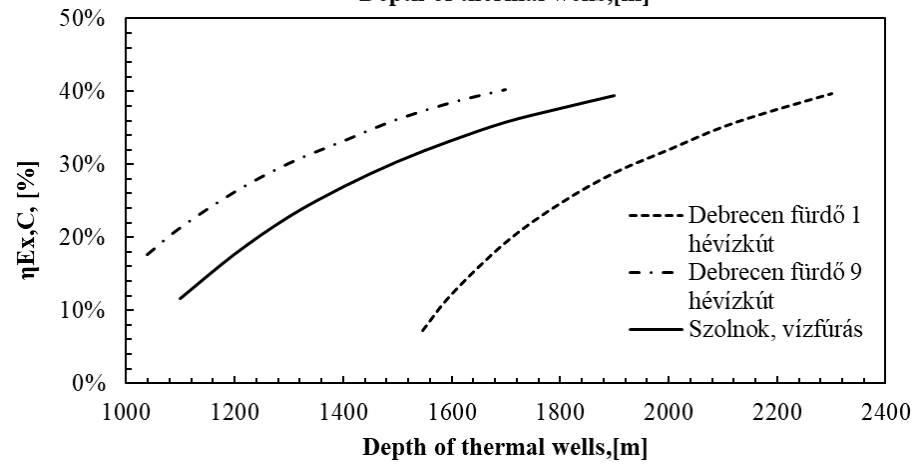
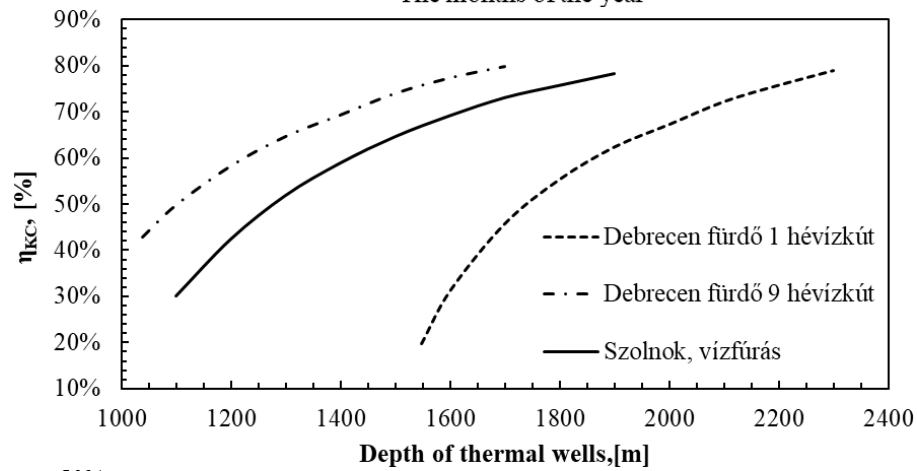
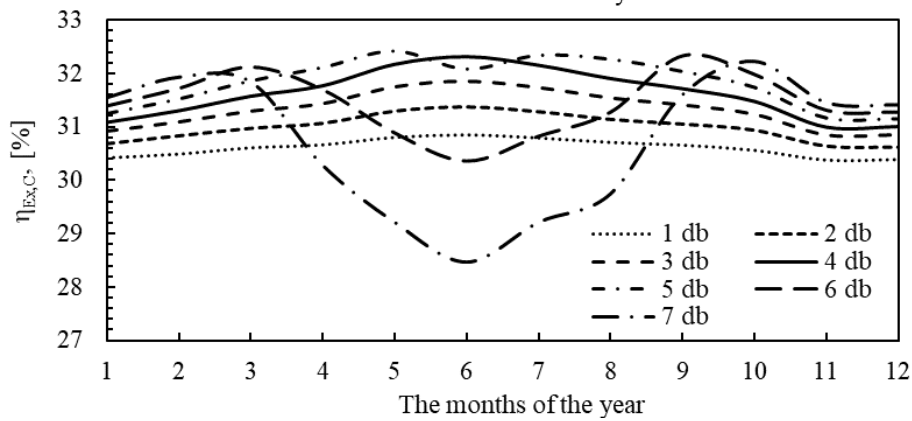
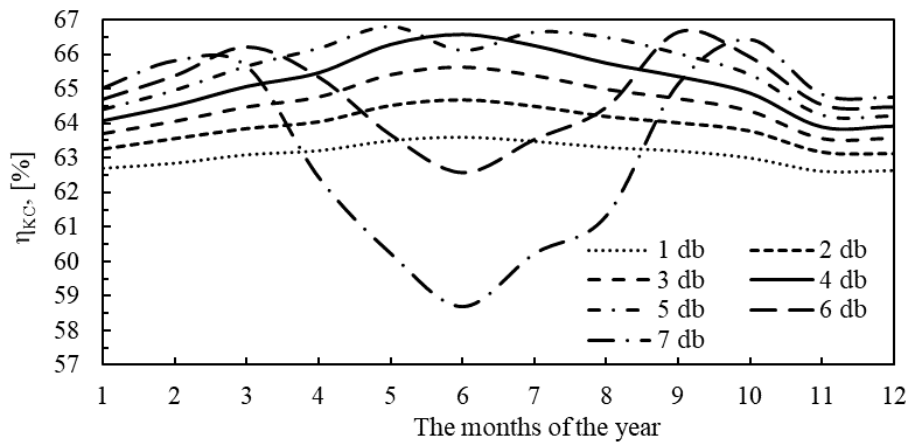
6. Regarding solar energy operated absorption chillers, with a variable number of solar collectors, I defined the correlation between the thermochemical efficiency and the exergy efficiency. In case of thermal water operated absorption chillers, considering the temperature gradient and the depth of the geothermal well, I worked out the coherency and diagrams regarding the thermochemical and exergy efficiency of absorption chillers.

Equations:

$$\eta_{KC} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \zeta_N \cdot \frac{T_C - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_G}{T_G - T_A}$$

$$\eta_{Ex,C} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \zeta_N \cdot \frac{T_G}{T_0} \cdot \frac{T_X - T_0}{T_G - T_X}$$

Diagrams:



**THE DISSERTATION WAS ELABORATED BASED ON THE FOLLOWING
PUBLICATIONS**

- 1) L. Szabó, G.: Egy irodahelyiség hőterhelésének meghatározása az MSZ-04-140-4:1978, az MSZ EN ISO 13790:2008 és az MSZ EN ISO 52016-1:2017 szerint. **Magyar Épületgépészet** 68:3, 2018, ISSN 1215-9913
- 2) L. Szabó, G.–Kalmár, F.: Parametric Analysis of Buildings' Heat Load Depending on Glazing : Hungarian Case Study. **Energies** 11:12, 2018, ISSN 1996-1073, **Q1, IF 2,707**
- 3) L. Szabó, G.–Kalmár, F.: Investigation of subjective and objective thermal comfort in the case of ceiling and wall cooling systems, **International Review of Applied Sciences and Engineering** 8:2, 2017, Print ISSN: 2062-0810, **Q3**
- 4) L. Szabó, G.-Kalmár, F.: Investigation of energy and exergy performances of radiant cooling systems in buildings : a design approach, **Energy** 185, 2019, ISSN 0360-5442, **D1, IF:5,537**
- 5) L. Szabó, G.: Az abszorpciós gépek jelzőszámai és ezek kapcsolata, **Energiagazdálkodás** 59:1-2, 2018,
- 6) L. Szabó, G.: Parabolikus napkollektorral működtetett abszorpciós hűtőgép elemzése, **Magyar Épületgépészet** 67:12, 2018, ISSN1215-9913
- 7) Kalmár, F. – Szabó, G. : Analysis of thermal compressor efficiency in case of geothermal energy sources, **Building Services Engineering Research and Technology** 35:3, 2014, ISSN: 0143-6244 1477-0849, **Q2, IF: 0,727**

PROJECT PARTICIPATIONS

- 1) TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0017
- 2) DenZero: 2013.01.01-2014.12.31 TÁMOP-4.2.2.A-11-1-KONV-2012-0041
- 3) Zenfe: TÁMOP 4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012
- 4) EFOP-3.6.1-16-2016-00022
- 5) 20428-3/2018/FEKUTSTRAT

FURTHER PUBLICATIONS

- 1) L. Szabó, G. : Irodaház hűtési rendszerének és hőtechnikai felújításának összehasonlítása felújítás előtt és után különböző hőszigetelés méretek mellett; **Proceedings of DENZERO International Conference** : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources, 10-11 October 2013, Debrecen, Hungary, pp: 228-232, ISBN 978-963-473-624-0
- 2) L. Szabó, G. : Az épület hőterhelési összetevőinek változása, különböző szintű hőtechnikai felújítások során; **Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III. konferencia**, MTA DAB Megújuló Energetikai munkabizottság, Debrecen, 2014, pp: 173-177, ISBN 978-963-7064-31-9
- 3) L. Szabó, G. – Kalmár, F. : Egy irodaépület hőterhelésének meghatározása az MSZ 04-140-4-78 és az MSZ EN ISO 13790 szerint, **Energiagazdálkodás** 58:3 (2017), p. 6-10. -, ISSN: 0021-0757
- 4) Szabó, G. : A gőz és melegvítámaszú abszorpciós hűtőgépek összehasonlítása a jósági fok szempontjából, **Debreceni Műszaki Közlemények Különszáma X. évfolyam**, 2011/2, pp: 61-69, ISSN 1587-9801
- 5) Szabó, G. : Napenergiát hasznosító abszorpciós hűtőgép elméleti modellezése, **Értékteremtő épületgépészet konferencia**, Gödöllő 2012, 2012. május 24-25. pp: 11-26. ISBN 978-963-269-287-6
- 6) Szabó, G. : A geotermikus hőforrás, az abszorpciós hűtőgépek és a termikus kompresszor hatásfokának kapcsolata, **16th „Building Services, Mechanical and Building Industry Days”, International Conference** 14-15 October 2010, pp: 138-147, ISBN 978-963-473-422-2
- 7) Szabó, G. : Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából, **Magyar Épületgépészet**, LX. évfolyam, 2011/9. szám, pp 8-11, ISSN 1215-9913
- 8) L. Szabó, G. : Geotermikus energiával működtetett abszorpciós hűtési rendszer modellezése, **III. Vidékfejlesztési konferencia**, Szolnok, 2014, Megjelent: *Economica*. - 7:3 (2014), p. 84-91. ISSN:1585-6216

REFERENCES

- 1) Schär, C. et al., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427. kötet, pp. 332-336.
- 2) Lin, B. et al., 2016. Evaluation and comparison of thermal comfort of convective and radiant heating terminals in office buildings. *Building Environment*, 106. kötet, pp. 91-102.
- 3) Li, R., Yoshidomi, T., Ooka, R. & Olesen, B., 2015. Field evaluation of performance of radiant heating/cooling ceiling panel system. *Energy Building*, 86. kötet, pp. 58-65.
- 4) Kalmár, F., 2016. Interrelation between glazing and summer operative temperature in buildings. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 7(1), pp. 51-60.
- 5) Csáky, I., 2015. Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata - egyetemi doktori értekezés. Debreceni Egyetem
- 6) Csáky, I. & Kalmár, F., 2015. Effects of thermal mass, ventilation and glazing orientation on indoor air temperature in buildings. *Journal of Building Physics*, 39(2), pp. 189-204.
- 7) Csáky, I. & Kalmár, F., 2017. Investigation of the relationship between the allowable transparent area, thermal mass and air change rate in buildings. *Journal of Building Engineering*, 12., pp. 1-7.
- 8) Csáky, I. & Kalmár, K. T., 2014. Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(11), pp. 2765-2770.
- 9) Pogran, S. et al., 2013. Verification of agro-production building structures affecting the quality of indoor environment in the summer season. *Research in Agricultural Engineering*, 59., pp. 54-59.
- 10) Zhou, J., Zhang, G., Lin, Y. & Li, Y., 2008. Coupling thermal mass and natural ventilation in buildings. *Energy and Buildings*, 40., pp. 979-986.
- 11) Yam, J., Li, Y. & Zheng, Z., 2003. Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings. *International Journal of Heat and mass transfer*, 46., pp. 1251-1264.
- 12) Yang, L. & Li, Y., 2008. cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation. *Energy and Buildings*, 40., pp. 2052-2058.
- 13) MSZ EN ISO 13790, 2008. Energy performance of buildings—Calculation of energy use for space heating and cooling.
- 14) MSZ EN ISO 52016-1, 2017. Energy performance of buildings—Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads—Part 1: Calculation procedures.



Registry number: DEENK/373/2019.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Gábor L. Szabó
Neptun ID: CR9KZM
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10035597

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (3)

1. **L. Szabó, G.:** Egy irodahelyiség hőterhelésének meghatározása az MSZ-04-140-4: 1978, az MSZ EN ISO 13790:2008 és az MSZ EN ISO 52016-1: 2017 szerint.
Magyar épületgépészet. 68 (3), 3-7, 2019. ISSN: 1215-9913.
2. **L. Szabó, G.:** Az abszorpciós gépek jelzőszámai és ezek kapcsolata.
Energiagazdálkodás. 59 (1-2.), 38-42, 2018. ISSN: 0021-0757.
3. **L. Szabó, G.:** Parabolikus napkollektorral működtetett abszorpciós hűtőgép elemzése.
Magyar épületgépészet. 67 (12), 11-16, 2018. ISSN: 1215-9913.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

4. **L. Szabó, G., Kalmár, F.:** Investigation of subjective and objective thermal comfort in the case of ceiling and wall cooling systems.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 8 (2), 135-140, 2017. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2017.8.2.8>

Foreign language scientific articles in international journals (3)

5. **L. Szabó, G., Kalmár, F.:** Investigation of energy and exergy performances of radiant cooling systems in buildings: a design approach.
Energy. 185, 449-462, 2019. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.067>
IF: 5.537 (2018)
6. **L. Szabó, G., Kalmár, F.:** Parametric Analysis of Buildings' Heat Load Depending on Glazing Hungarian Case Study.
Energies. 11 (12), 1-17, 2018. EISSN: 1996-1073.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en11123291>
IF: 2.707





7. Kalmár, F., **L. Szabó, G.**: Analysis of thermal compressor efficiency in case of geothermal energy sources.

Building Serv. Eng. Res. Technol. 35 (3), 237-243, 2014. ISSN: 0143-6244.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0143624413484601>

IF: 0.727

List of other publications

Hungarian books (1)

8. **L. Szabó, G.**: Energiahatékony áramlástechnikai gépek. Debreceni Egyetem, Debrecen, 128 p., 2014. ISBN: 9789634737902

Hungarian book chapters (2)

9. **L. Szabó, G.**: Az épület hőterhelési összetevőinek változása, különböző szintű hőtechnikai felújítások során.

In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III.. Szerk.: Szabó Valéria és Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 173-177, 2014. ISBN: 9789637064319

10. **L. Szabó, G.**: Abszorpciós hűtőgépek.

In: Korszerű gyakorlati épületgépészet. Szerk.: Bánhidi László, Meszléry Celisztin, Verlag Dashöfer Kft., Budapest, 1-10, 2012. ISBN: 9789639313743

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (11)

11. **L. Szabó, G.**, Sinka, M., Bodó, B.: Előkezelt és kezeletlen friss levegős szellőzés esetén a fan-coil hűtési rendszer viselkedése.

Magyar épületgépészet. 68 (4), 3-8, 2019. ISSN: 1215-9913.

12. **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A csőfektetési mélység hatása a padló- és mennyezetfűtés-hűtésre: 1. rész.

Magyar épületgépészet. 67 (4), 3-8, 2018. ISSN: 1215-9913.

13. **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A csőfektetési mélység hatása a padló- és mennyezetfűtés-hűtésre: 2. rész.

Magyar épületgépészet. 67 (5), 16-20, 2018. ISSN: 1215-9913.

14. **L. Szabó, G.**, Deák, D. P., Bodó, B.: A fan-coil-os hűtési fogyasztói rendszer alakulása eltérő munkaközegeknél tervezési és exergetikai szempontból.

Magyar épületgépészet. 67 (10), 8-12, 2018. ISSN: 1215-9913.

15. Bezzeg, P., **L. Szabó, G.**: Téli gyakorlati fa fűtőérték meghatározása házi mérés alapján.

Magyar épületgépészet. 67 (9), 20-25, 2018. ISSN: 1215-9913.





16. Rozgonyi, V., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A két- és négycsöves fan-coil rendszerek összehasonlítása.
Magyar épületgépészet. 66 (6), 9-11, 2017. ISSN: 1215-9913.
17. Reho, S., **L. Szabó, G.**: Egy irodaépület hőenergia igényeinek vizsgálata a hőfokgyakorisági görbe felhasználásával.
Magyar épületgépészet. 66 (9), 10-12, 2017. ISSN: 1215-9913.
18. **L. Szabó, G.**, Kalmár, F.: Egy irodaépület hőterhelésének meghatározása az MSZ 04-140-4-78 és az MSZ EN ISO 13790 szerint.
Energiagazdálkodás. 58 (3), 6-10, 2017. ISSN: 0021-0757.
19. **L. Szabó, G.**: A gőz és melegvítámaszú abszorpciós hűtőgépek összehasonlítása a jósági fok szempontjából.
Debreceni műszaki közl. 2011, 61-69, 2011. ISSN: 1587-9801.
20. **L. Szabó, G.**: Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából.
Magyar épületgépészet. 2011 (9), 8-11, 2011. ISSN: 1215-9913.
21. **L. Szabó, G.**, Mankovits, T.: Gumialkatrész Shore-féle keménységének kiértékelése az anyagvizsgálatok statisztikai módszerével = evaluation of Shore hardness of rubber parts with the method of statistics of material test.
Debreceni műszaki közl. 9 (1), 53-62, 2010. ISSN: 1587-9801.

Hungarian conference proceedings (16)

22. Szanyi, S., **L. Szabó, G.**: Elterő csőanyagú hűtési elosztóhálózat energetikai és exergetikai vizsgálata = Energetic and Exergetic Examination of Distribution Network Made of Different Pipe Material.
In: Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2019. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 349-352, 2019. ISBN: 9789637064388
23. Deák, D. P., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A fan-coil-os hűtési fogyasztói rendszer vizsgálata eltérő munkaközegek esetén = The Investigation of Cooling Consumer Systems Based on Variant Refrigerants.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 16-24, 2018. ISBN: 9789637064371
24. Bezzeg, P., **L. Szabó, G.**: Egyensúlyi fanedvesség és fűtőérték télen = The Balance Between the Saturation of Wood and Its Heating Value.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 16-24, 2018. ISBN: 9789637064371





25. Rozgonyi, V., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: Fan-coil és a klímagerendás rendszerek összehasonlítása = Comparassion of Fan-Coil and Chiléled Beams.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 280-286, 2018. ISBN: 9789637064371
26. Rozgonyi, V., **L. Szabó, G.**, Bodó, B.: A fűtés-hűtésre használt két és négycsöves fan-coil rendszerek összehasonlítása = The Comparision of Two- and Four-Pipe Fan-Coil System for Heating Cooling.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 470-475, 2017. ISBN: 9789637064357
27. Reho, S., **L. Szabó, G.**: Hőenergiaigény vizsgálata egy model épületnél hőfokgyakorisági görbével = Analysy of Thermal Energy Demand of a Sample Building by Temperature Frequency Graph.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 459-464, 2017. ISBN: 9789637064357
28. Németi, Z., **L. Szabó, G.**: Az Ebesi Polgármesteri Hivatal hűtési rendszereinek tervezése és összehasonlításának eredménye.
In: Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 470-474, 2016. ISBN: 9789637064333
29. **L. Szabó, G.**: Geotermikus energiával működtetett abszorpciós hűtési rendszer modellezése. *Economica*. 7 (3), 84-91, 2014. ISSN: 1585-6216.
30. **L. Szabó, G.**: Irodaház hűtési rendszerének és hőtechnikai felújításának összehasonlítása felújítás előtt és után különböző hőszigetelés méretek mellett.
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources: 10-11 october 2013, Debrecen, University of Debrecen, Debrecen, 228-232, 2013. ISBN: 9789634736240
31. **L. Szabó, G.**: Napenergiát felhasználó abszorpciós hűtési rendszerek elemzése.
In: XXXI. OTDK konferencia, Kecskeméti Főiskola GAMF Kar, Kecskemét, 1-39, 2013. ISBN: 9786155192173
32. **L. Szabó, G.**: Napenergiát hasznosító abszorpciós hűtőgép elméleti modellezése.
In: Kutatások, kísérletek, eredmények szekciók előadásai az Értéktérítő Épületgépészet Konferencia és Kiállítás Gödöllő 2012. május 24-25.. Közread.: a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Épületgépészet, Létesítmény- és Környezettechnika Tanszék, SZIE GK, Gödöllő, 11-26, 2012. ISBN: 9789632692876





33. **L. Szabó, G.:** Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából.
In: XVII. Épületgépészeti, Gépészeti és Építőipari Szakmai Napok : szakkiállítás és Nemzetközi Tudományos Konferencia 2011. október 13-14.. Szerk.: Kalmár Ferenc, Balla Tibor ; [közread. a] Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 1-8, 2011. ISBN: 9789634734642
34. **L. Szabó, G.:** A geotermikus hőforrás, az abszorpciós hűtőgépek és a termikus kompresszor határfokának kapcsolata.
In: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : 14-15 October 2010 Debrecen, Hungary. Szerk.: Kalmár Ferenc, Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 138-147, 2010. ISBN: 9789634734222
35. **L. Szabó, G., Mankovits, T.:** Gumialkatrészek alakoptimalizálásának elvi megközelítése = Shape optimization theory of rubber parts.
In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi Régióban, 2010 konferencia előadásai : Nyíregyháza, 2010. május 19.. Szerk.: Pokorádi László, MTA DAB Műsz. Szakbiz., Debrecen, 333-338, 2010.
36. **L. Szabó, G.:** Nyomott gumirugó összehasonlító vizsgálata laboratóriumi módszerekkel.
In: Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, XV. : nemzetközi tudományos konferencia : Kolozsvár, 2010. március 25-26.. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 285-288, 2010.
37. **L. Szabó, G., Mankovits, T.:** A Shore-keménység és a gumialkatrészek végeeselemes vizsgálatának kapcsolata.
In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi Régióban, 2009 konferencia előadásai : Mezőtúr 2009. május 20.. Szerk.: Pokorádi László, MTA DAB Műsz. Szakbiz., Debrecen, 185-190, 2009. ISBN: 9789637064210

Foreign language conference proceedings (1)

38. Mankovits, T., **L. Szabó, G.:** FEM analysis of rubber buffer.
In: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" : International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009. Szerk.: Kalmár Ferenc, Kocsis Imre, Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 33-38, 2009. ISBN: 9789634733157

Hungarian abstracts (1)

39. **L. Szabó, G.:** Termikus kompresszor határfokának vizsgálata geotermikus hőforrás esetén
In: XXX. Jublieumi OTDK. Szerk.: Vincze Lászlóné, Eötvös József Főiskola Műszaki és Közgazdaságtudományi Kar, Baja, 179, 2011. ISBN: 9789637290855





Total IF of journals (all publications): 8,971

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 8,971

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

15 November, 2019

