

MÓDSZERTAN HŐSZIVATTYÚ KÜLTÉRI EGYSÉGÉNEK HŐMÉRSÉKLETI VISZONYAINAK MÉRÉSÉRE

Hermanucz Péter – Holló Gábor

Abstract: A hőszivattyúk közül egyre nagyobb arányban terjednek el a környezeti levegőt, mint hőforrást hasznosító típusok. A levegő hőforrás energia sűrűsége rendkívül alacsony, így nagy mennyiséget kell belőle átáramoltatni a kültéri egység hőcserélőjén. Éppen ezért a kültéri egység felállításakor körültekintően kell eljárni, hogy a közelben levő építmények, tereptárgyak ne zavarják meg a levegő áramlását. Amennyiben nem megfelelőek a telepítési körülmények, úgy hidraulikai rövidzár jöhet létre a beszívó- és kifúvó oldal között, ami a beszívott levegő hőmérsékletének csökkenését eredményezi. Ez a jelenség közvetlen hatással van az elérhető COP-re. Tekintve, hogy a jelenség szabad szemmel nem figyelhető meg, mérési eljárást dolgoztunk ki a jelenség kimutatására és mértékének vizsgálatára. Célunk olyan módszer kidolgozása, mely a lehető legegyszerűbb mérési eljárással, a lehető legkevesebb érzékelővel megvalósítható, de a gyakorlat számára megfelelő pontosságú eredményt ad. Ezzel lehetővé válik a korábban telepített hőszivattyúk kültéri egységeinek környezeti paraméter vizsgálata, különös tekintettel a hőmérsékleti viszonyokra.

Abstract: Heat pumps are becoming increasingly widespread as a heat source for ambient air. The energy density of air as a heat source is extremely low, so a large amount of it has to be passed through the heat exchanger of the outdoor unit. For this reason, care must be taken when installing the outdoor unit to ensure that nearby buildings and structures do not interfere with the air flow. If the installation conditions are not suitable, a hydraulic short circuit may occur between the intake and exhaust sides, resulting in a drop in the temperature of the intake air. This phenomenon has a direct impact on the COP that can be achieved. Given that this phenomenon is not observable to the naked eye, a measurement procedure has been developed to detect and measure this phenomenon. Our aim is to develop a method that can be implemented with the simplest possible measurement procedure, with the fewest possible sensors, but which gives results of sufficient accuracy for practical applications. This will allow the environmental parameter analysis of previously installed outdoor units of heat pumps, with particular reference to temperature conditions.

Kulcsszavak: hőszivattyú, kültéri egység, hőmérsékleti viszonyok, belépő léghőmérséklet, COP

Keywords: heat pump, outdoor unit, temperature condition, inlet air temperature, COP

1. Bevezetés

A hőszivattyúk hatékonyságának mérése és optimalizálása szempontjából kritikus szerepet játszik a kültéri egység elhelyezése, valamint a környezeti hőmérsékleti viszonyok mérésének módszertana. A kültéri egység hatékonyságát nagymértékben befolyásolják a környezetében található tereptárgyak, építmények, amelyek befolyásolhatják a kifújt levegő visszaáramlását a beszívó oldalra, így módosítva a beszívott levegő hőmérsékletét. Kutatások során mérési eredményekkel bizonyították, hogy a hőszivattyús alkalmazások például az uszodatechnikában, az élelmiszeriparban vagy a haltenyésztésben is energiahatékony megoldást nyújtanak (Korzenszky–Géczi, 2012; Géczi et al., 2013; Géczi et al., 2014).

Monteleone és mtsai. 2023-ban egy homlokzatba integrált mini-split hőszivattyú rendszer tervezését és tesztelését végezték el. Az eredmények azt mutatták, hogy az egység elhelyezése és a külső hőmérsékleti viszonyok nagymértékben befolyásolják a hőszivattyú teljesítményét és hatékonyságát. Más kutatók a hőmérséklet mérő

szenzorok elhelyezésének hatását is vizsgálták munkájuk során. Liu (2023) kutatása az inverteres, levegő hőforrással rendelkező hőszivattyúk fagyásmentesítési tulajdonságainak modellezését és kísérleti vizsgálatát tárgyalja. Az eredmények rámutatnak, hogy a kültéri hőmérséklet érzékelők elhelyezése és a pontos hőmérsékletmérés kulcsfontosságú a hőszivattyúk hatékonyságának fenntartásában, különösen alacsony hőmérsékleti viszonyok esetén. Ebből következően további vizsgálatra érdemesnek találtuk a hőszivattyúk kültéri egységei körül kialakuló hőmérsékleti viszonyok vizsgálatát. Larsson és Ottosson 2023-as publikációjukban kimutatták, hogy kedvező hőmérsékleti viszonyok esetében a hőszivattyú hatékonysága javulhat, és ezzel akár 11,5%-os energia megtakarítás is elérhető. Zhu és mtsai 2024-es kutatásukban nagy kiterjedésű, szabadban elhelyezett berendezés hőmérsékleti viszonyai tanulmányozták. Munkájuk alapján elfogadható a 2 perces mintavételi frekvencia, melyet méréseink során alkalmaztunk is. Néhány paraméter – környezeti hőmérséklet, globálsugárzás, szélesebbesség stb. – a későbbiek során olyan modelleket eredményezhetnek, amely lehetőséget biztosít akár a hőszivattyús rendszerek optimalizálásához vagy tovább fejlesztéséhez (Patonai et al., 2022; Székely et al., 2021; Géczi et al., 2019; Páger et al., 2023).

A bemutatott kutatások rávilágítanak arra, hogy ezek a tényezők hogyan befolyásolják a hőszivattyúk működését különböző környezeti feltételek mellett. Ezek alapján fontosnak és időszerűnek találtuk a téma vizsgálatát egy valós körülmények között üzemelő hőszivattyú esetén. Célunk a különböző telepítési körülmények léghőmérsékletre, és ezen keresztül az energetikai hatékonyságra gyakorolt hatásának kimutatása.

2. Anyag és módszer

Munkánk során egy családi ház fűtésére szolgáló levegő-víz hőszivattyú vizsgálatát végeztük el összesen öt vizsgálati elrendezésben, melyek közül az első a referenciául szolgáló, ideálisnak tekinthető telepítési környezet volt. A négyféle mérési elrendezés a 2. ábrán látható. A léghőmérséklet méréseket összesen 6 db érzékelővel és kétféle műszerrel végeztük, melyek jellemzőit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat: A méréshez használt műszerek

Mért jellemző	Jelölés	Alkalmazott műszer	Mérési tartomány	Mérési felbontás
Külső léghőmérséklet	$T_{k\ddot{u}ls\ddot{o}1}; T_{k\ddot{u}ls\ddot{o}2}$	Ebro EBI300	-30...+60°C	0,1°C
Beszívott és kifúvott léghőmérséklet	$T_{BE1}; T_{BE2}; T_{KI1}; T_{KI2}$	Elitech RC4	-40...+85°C	0,1°C

Forrás: saját kutatás alapján a szerzők szerkesztése.

Mindkét műszer adatgyűjtési frekvenciáját 2 percre állítottuk, a kiértékelés során pedig az adatsorokat időben szinkronizáltuk. Az adatgyűjtők 16 000 adatpont rögzítésére alkalmasak, így lehetőségünk nyílt minden mérési elrendezést több

napon keresztül vizsgálni, majd az eredményeket átlagolni. Így lényegesen megbízhatóbb végeredményeket kaptunk, mintha rövid időtávon, vagy labor körülmények között végeztük volna a méréseket. A mérési adatsorokat Excel szoftverben értékeltük ki, és hasonlítottuk össze az egyes telepítési körülmények által adott eredményeket, különös tekintettel az üzem közben beszívott levegő hőmérséklet eltérésére a környezeti hőmérséklethez képest.

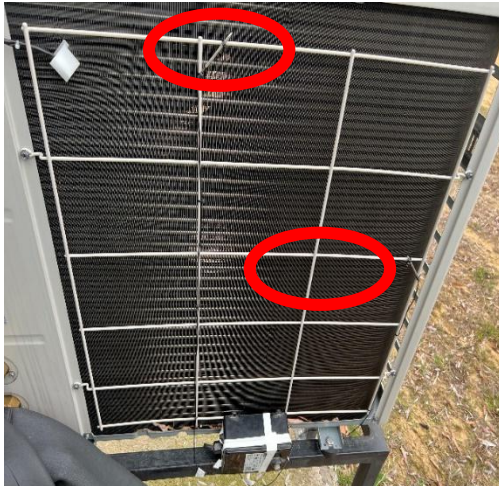
1. ábra: A kísérleti hűtőkör kapcsolása és a mérési helyek



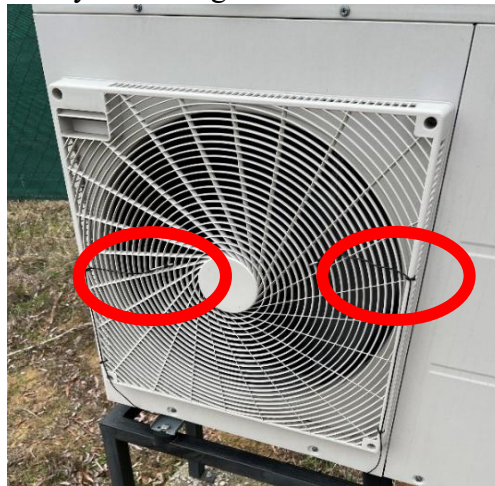
1. mérési elrendezés



Környezeti levegő hőmérséklet mérés



Beszívott levegő hőmérséklet mérés



Kifűvott levegő hőmérséklet mérés

Forrás: saját kutatás alapján a szerzők szerkesztése.

Az érzékelők elhelyezése az 1. ábrán látható módon történt: A hőszivattyútól távol került elhelyezésre két érzékelő az EBI műszerrel a referencia külső hőmérséklet mérésére. A hőszivattyú kültéri egységének beszívó- és kifűvő oldalán pedig 2-2 Elitech műszer szondáját helyeztük el. Megfigyelhető, hogy a referencia elrendezés esetén gyakorlatilag semmilyen zavaró tereptárgy, építmény, egyéb akadály nem kerül a légáramlás útjába.

A 2. ábrán láthatóak az egyes modellezett telepítési körülmények, melyek reprezentálják a gyakorlatban leginkább előforduló eseteket: a 2. elrendezés a fel elé

telepített hőszivattyúkra jellemző, a 3. elrendezés a külső negatív falsarokba történő elhelyezést mutatja. Ennek az elrendezésnek tapasztalataink szerint jelentős akusztikai hátránya is van. A 4. és 5. elrendezés az igen kedvezőtlen variációkat mutatja: Lépcsőforduló alatt, vagy kukatárolóban történő elhelyezéssel is gyakorta találkozni az újépítésű ingatlanok esetén is. Ezek a kedvezőtlen telepítési körülmények hipotézisünk szerint hátrányosan befolyásolják a beszívott levegő hőmérsékletét, ezen keresztül a szezonális hatékonyságot (SCOP).

2. ábra: A kísérleti hűtőkör kapcsolása és a mérési helyek



2. mérési elrendezés



3. mérési elrendezés



4. mérési elrendezés



5. mérési elrendezés

Forrás: saját kutatás alapján a szerzők szerkesztése.

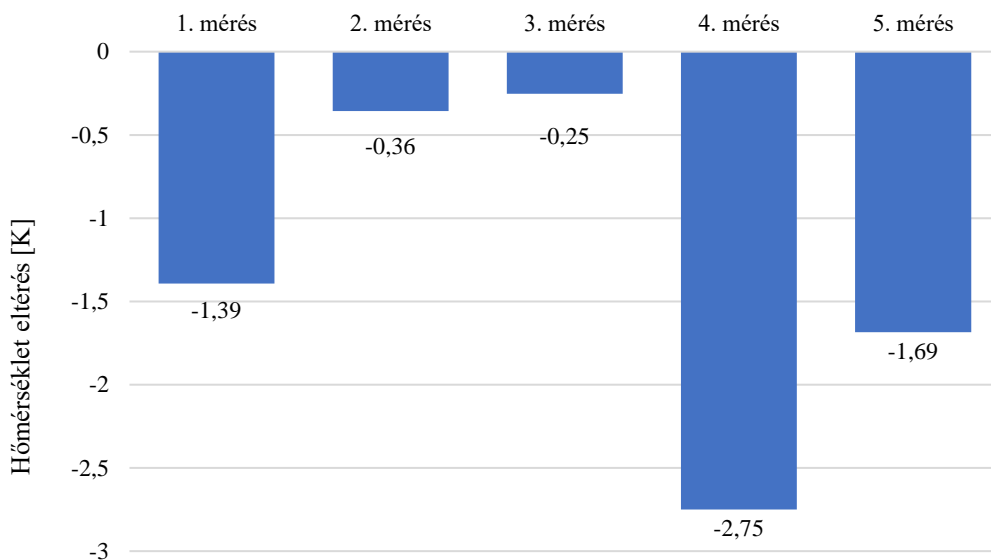
A teljes időszakban mért távoli külső hőmérsékletet igen jól reprezentálja az üzemen kívül mért beszívott-és kifűjt léghőmérsékletek átlaga. Így a kiértékelésnél észszerűnek mutatkozik csak az üzemben töltött időszakok hőmérsékleteinek átlagát figyelembe venni. Ez azt jelenti, hogy az üzem közben beszívott levegő és az üzemen

kívüli levegő hőmérsékletének különbségét képezzük, ezek átlagértékei adják a különbséget az egyes telepítési körülmények között.

3. Eredmények és értékelésük

A mérési eredmények kiértékelése során azt találtuk, hogy az egyes mérési elrendezések átlagosan 0,25...2,75 °K-nel csökkenti a beszívott levegő hőmérsékletét a távolban mért környezeti léghőmérsékletéhez képest. Az eredményeket a 3. ábra mutatja.

3. ábra: A beszívott- és a környezeti levegő hőmérsékletének különbsége



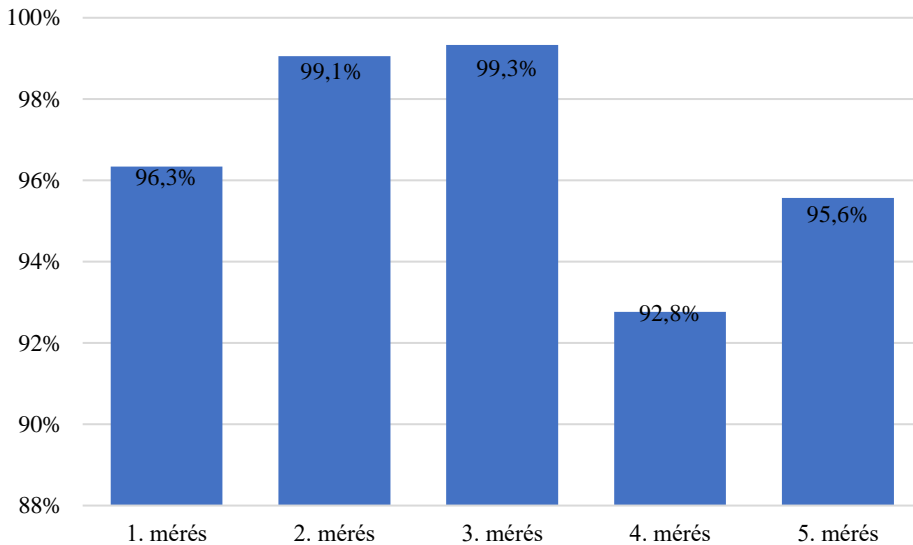
Forrás: saját kutatás alapján a szerzők szerkesztése.

A diagramról leolvasható, hogy minden mérési elrendezés esetén eltérés mutatkozott a távolban mért környezeti hőmérséklet és a beszívott levegő hőmérséklete között. A COP csökkenése természetesen ezekkel arányos lesz, de azok mértékét külön számítási módszerrel határoztuk meg, új energetikai paramétert definiálva ezáltal. Az egyes elrendezések során kapott eredmények nem egy bizonyos érték körül szóródnak, hiszen egy elrendezés mellett számtalan üzemiállapot fordult elő. A berendezés üzemelhetett kis- illetve nagy teljesítménnyel, a ventilátor fordulatszáma automatikusan szabályozott, tehát ebben is lehettek különbségek. Rendszeresen előfordult HMV termelés üzemi mód a fűtés mellett, mely szintén hatással van a teljesítményre, ezáltal a létrehozott hőmérséklet-különbségre. Feltételezésünk szerint a kellően hosszú mérések alatt ezek az üzemiállapotok egyforma arányban fordultak elő úgy a különböző elrendezések esetén, mint a fűtési idény során, ezért a kimért eltéréseket átlagoltuk (a szórás értékét nem vizsgáltuk), így kaptuk a fenti eredményeket.

A hőszivattyú hatékonyság-változását a telepítési elrendezések függvényében az úgynevezett relatív hatékonyság csökkenéssel definiáltuk. Ezt úgy határoztuk meg,

hogy a gyártó értékét 100%-nak véve, azt a mért hőmérséklet különbség arányában csökkentettük. Tehát a gyártó közli a COP értéket több külső hőmérséklet és más paraméterek esetére. A többi paramétereket fixálva a megadott COP értékek között lineáris interpolációval meghatározzuk az egyes telepítési elrendezések esetén mért beszívott levegő hőmérséklet csökkenéssel arányos COP változást. Ezt az értéket hasonlítva a kiindulási adathoz, megkaphatjuk a relatív hatékonyság csökkenést, ahol 100% a gyártó katalógus adata. A vizsgált elrendezések esetére az eredményeket a 4. ábra mutatja.

4. ábra: A hőszivattyú relatív hatékonysága



Forrás: saját kutatás alapján a szerzők szerkesztése.

Megfigyelhető, hogy paradox módon a leginkább kedvezőnek tűnő szabadon álló elrendezés nem a legjobb eredményt hozta, azonban minden elrendezés rosszabbul teljesített, mint ahogy a gyártó azt jelezte. Az eltérés a 2. és 3. elrendezések esetében csekély, ráadásul ez a két telepítési mód a leginkább elterjedt. Így az esetek többségében nem kell jelentős hatékonyság csökkenéssel számolnunk. A 4. és 5. elrendezés esetében azonban 4,4...7,2%-os COP romlással kalkulálhatunk, ami éves szinten már érzékelhető mértékben növelheti az energiateljesítést. Ezeknek a telepítési körülményeknek, és a mérési adatok alapján kialakuló hidraulikai rövidzárnak (ahol a kifúvott hideg levegő egy része visszakerül a beszívó oldalra) hatása lehet a leolvasztási ciklusokra is, ami a kritikus időszakban akár jelentős mértékben is képes befolyásolni a teljesítményt és a COP-t.

4. Összegzés

A hőszivattyúk hatékonyságának mérése és optimalizálása szempontjából kritikus szerepet játszik a kültéri egység elhelyezése, valamint a környezeti hőmérsékleti viszonyok mérésének módszertana. Az utóbbi években egyre nagyobb arányban

terjednek el a környezeti levegőt, mint hőforrást hasznosító hőszivattyúk. A levegő hőforrás energia sűrűsége rendkívül alacsony, ezért nagy mennyiséget kell belőle átáramoltatni a kültéri egység hőcserélőjén. Emiatt különös figyelmet kell fordítani a kültéri egység telepítési körülményeire, hogy a közeli építmények és tereptárgyak ne akadályozzák a levegő áramlását. Ha a telepítési feltételek nem megfelelőek, az eltérést hozhat létre a kültéri egység által beszívott- és a géptől távol mért levegő hőmérséklete között. Alapvető hipotézisünk szerint ez legtöbbször hidraulikai rövidzár formájában jelentkezik, ami a beszívott levegő hőmérsékletének csökkenését eredményezi. Elképzelhető azonban, hogy a telepítési körülmények kedvezően változtatják meg a beszívott levegő hőmérsékletét, például a napsugárzás passzív hasznosításán keresztül. Megfelelően kialakított abszorber felület (ami lehet akár egy épület szigetelt határoló szerkezete, ami fölmelegszik a napsütés hatására) és megfelelő légáramlási viszonyok esetén az említett hatás a beszívott levegő kismértékű felmelegedését eredményezheti. A jelenség mindenképpen hatással van a hőszivattyú teljesítményére és hatékonyságára (COP), de a mértéke eltérő lehet napos illetőleg felhős időben. Tekintettel arra, hogy a jelenség szabad szemmel nem figyelhető meg, egy mérési eljárást dolgoztunk ki a jelenség kimutatására és mértékének vizsgálatára. Méréseink során egyaránt vizsgáltunk napos és felhős, illetőleg éjszakai körülményeket is.

Kutatásunk célja egy olyan mérési módszer kidolgozása volt, amely a lehető legegyszerűbb eljárással és minimális számú érzékelővel is pontos eredményeket ad. A vizsgálatokat egy családi ház fűtésére szolgáló levegő-víz hőszivattyú kültéri egységén végeztük, összesen öt különböző telepítési elrendezésben. Az első elrendezés a referenciául szolgáló ideális telepítési környezet volt, míg a többi négy elrendezés különböző gyakorlati telepítési módokat reprezentált. A léghőmérséklet méréseket hat érzékelővel és kétféle műszerrel végeztük, 2 perces adatgyűjtési frekvenciával. Az adatgyűjtő eszközök 16 000 adatpont rögzítésére voltak alkalmasak, így lehetőségünk nyílt minden mérési elrendezést több napon keresztül vizsgálni, majd az eredményeket átlagolni.

A mérések során kiderült, hogy a különböző telepítési körülmények jelentős hatással vannak a beszívott levegő hőmérsékletére és ezáltal a hőszivattyú hatékonyságára. Az egyes mérési elrendezések átlagosan 0,25-2,75 °K-nel csökkentették a beszívott levegő hőmérsékletét a távolban mért környezeti léghőmérséklethez képest. Az adatok alapján megfigyelhető volt, hogy paradox módon a leginkább kedvezőnek tűnő szabadon álló elrendezés nem hozta a legjobb eredményt, míg a 2. és 3. elrendezések, amelyek a leginkább elterjedtek, csekélyebb hatékonyság csökkenést mutattak. Azonban a 4. és 5. elrendezések esetében 4,4-7,2%-os COP csökkenést tapasztaltunk, ami a teljes fűtési szezonra kivetítve jelentős energiafelhasználás növekedést eredményezhet. A hatás éves szinten ettől eltérő lehet: Nyáron a berendezés hűtési üzemben is működhet, amikor a kifűvott levegő melegebb, mint a beszívott, és ez megváltoztathatja a kültéri egység körüli légáramlást. Ezt a körülményt jelenlegi kutatásunkban nem vizsgáltuk, csak a fűtési szezonra terjesztettük ki a megállapításokat.

A kutatás során az eltérések mértékét úgynevezett relatív hatékonyság csökkenéssel definiáltuk, ahol a gyártó által megadott COP értékeket 100%-nak vettük, és az egyes telepítési elrendezések esetén mért hőmérséklet csökkenéssel arányosan csökkentettük. Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy a nem megfelelő telepítési körülmények hidraulikai rövidzárat okozhatnak, ahol a kifúvott hideg levegő egy része visszakerül a beszívó oldalra. Ez a jelenség különösen kedvezőtlenül befolyásolja a hőszivattyú teljesítményét és hatékonyságát, különösen alacsony hőmérsékleti viszonyok esetén.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 2021. évi Tematikus Kiválósági Programjának „A körforgásos gazdaság megvalósíthatósága a honvédelmi tevékenység során” című, TKP2021-NVA-22 számú projektje támogatta a Körforgásos Gazdaságelemző Központ vezetésével.

Irodalomjegyzék

- Géczi, G., Bense, L., Korzenszky, P. (2014): Water Tempering of Pools Using Air to Water Heat Pump Environmental Friendly Solution. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 16 (1): 115–128.
- Géczi, G., Kicsiny, R., Korzenszky, P. (2019): Modified effectiveness and linear regression based models for heat exchangers under heat gain/loss to the environment. *Heat and Mass Transfer*, 55: 1167–1179.
- Géczi G., Korzenszky P., Bense L. (2013): Ideális körülmények a levegő-víz hőszivattyú uszodatechnikai alkalmazása során. *Magyar Épületgépészet*, 62 (7-8): 7–10.
- Korzenszky, P., Géczi, G. (2012): Heat Pump Application in Food Technology. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 2 (2): 493–500.
- Larsson, S., Ottosson, F. (2023): Energy System Performance Investigation of Serneke Arena. Diplomadolgozat. Chalmers University of Technology. 13–58.
- Liu, S. (2022): Experimental and Modeling Studies on Developing a Condensing-Frosting Performance Map for a Variable Speed Air Source Heat Pump Unit for Frosting Suppression. Phd értekezés. The Hong Kong Polytechnic University. 30–160.
- Monteleone, W., Ochs, F., Dermentzis, G., Breuss, S. (2024): Simulation-assisted design of a silent façade integrated R290 mini-split heat pump. *Applied Thermal Engineering*, 243: 122520. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122520>
- Patonai, Z., Kicsiny, R., Géczi, G. (2022): Multiple linear regression based model for the indoor temperature of mobile containers. *Heliyon*, 8 (12): e12098. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12098>
- Páger, Sz., Földi, L., Géczi, G. (2023): Comparative temperature and consumption data measurement of model buildings with different thermal time constants. *Thermal Science*, 28 (2): 1881–1891. <https://doi.org/10.2298/tsci230604228p>
- Székely, L., Kicsiny, R., Hermanucz, P., Géczi, G. (2021): Explicit analytical solution of a differential equation model for solar heating systems. *Solar Energy*, 222 (1 July 2021): 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.007>
- Zhu, J., Xu, H., Li, Y., Zhao, J. (2024): A field study of temperature field distribution characteristics of flat steel box girder and its influential environmental factors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 251 (August 2024): 105800. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105800>