

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A Hajdú-Bihar vármegyei lakóépületállomány fűtési széndioxid
kibocsátásának elemzése és az alacsony hőmérsékletű
felületfűtések energiahatékonyságának egyes kérdései**

Bodó Béla

Témavezető: Prof. Dr. Kalmár Ferenc



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományi Doktori Iskola

Debrecen, 2025

1. Bevezetés

Az épületek energiahatékonyságának növelését, illetve az építőipar széndioxid kibocsátásának csökkentését már a 93/76 EGK Tanács Irányelve is előírja [1]. Tíz év után, a 2002/91/EC Irányelv, már a kedvező hatásokat említi, ugyanakkor rögzíti, hogy a lakás- és szolgáltatói ágazat a Közösség végső energiafelhasználásának 40%-át teszi ki és folyamatosan bővül [2]. Az energiafogyasztás szempontjából megfigyelhető tehát a szektorban az energiamegtakarítás és a bővülés. E két folyamat hatása a végső energiafogyasztásra ellentétes. Ez is eredményezheti azt, hogy a 2024/1275 Irányelv továbbra is azt rögzíti, hogy az épületek felelősek az Únió energiafogyasztásának 40%-áért, vagyis úgy tűnik, mintha az elmúlt 22 évben nem történt volna semmi változás. Természetesen számtalan épületfelújítási program valósult meg és az épületek energetikai követelményeit többször is szigorították. A szektor folyamatos bővülése, illetve a komfortigények növekedése, azonban úgy tűnik ellentételezte az energiamegtakarítási törekvéseket. Jelenleg az épületek az Unió teljes üvegházhatású gáz kibocsátásának a 36%-áért felelősek és a Tanács szerint az uniós épületek 75 %-a még mindig nem energiahatékony [3]. Az épületek fűtésében a földgáz játssza a legnagyobb szerepet: a lakóépületekben a helyiségfűtésre felhasznált energia mintegy 39 %-át teszi ki. Az olaj 11 %-kal a második legfontosabb fűtési célú fosszilis tüzelőanyag, a szén pedig körülbelül 3 %-ot tesz ki [3]. A 2024/1275 Irányelv szerint a jelenlegi 1 %-os súlyozott éves felújítási arány mellett nem érhetők el a kitűzött energiamegtakarítási és dekarbonizációs célok, ezért a tagállamokban energiahatékonysági minimumszabályok bevezetését sürgetik [3]. Az energiahatékonysági minimumszabályok célja a legrosszabbul teljesítő épületek kivezetése, illetve a nemzeti épületállomány energetikai állapotának folyamatos erőteljes javulása. Az Irányelv szerint a tagállamoknak nemzeti felújítási tervet kell készíteniük melyben, érvényesül az energiahatékonyság elsődlegességének elve [3]. A nemzeti felújítási terv elkészítéséhez elengedhetetlen a meglévő nemzeti épületállomány adatainak pontos ismerete. Az adatokat (épületek száma, alapterülete) épülettípusonként kell meghatározni. Kötelező mutató az energiahatékonyság szempontjából legrosszabb 43% lakóépület, míg az épületek életkora opcionális paraméterként jelenik meg. Ezek az adatok elengedhetetlenek az optimális energiapolitikai döntések meghozatala során. Hasonló céllal hozták létre 2016-ban a BSO (Building Stock Observatory) adatbázist, mely számos hozzáférhető épületenergetikai jellegű adatot tartalmaz, lehetővé teszi, a döntéshozók számára az épületenergetikai stratégiák kidolgozását. ugyanis ez egy olyan adatbázis, melyben nyomon követhető az EU27, illetve a tagállamok épületállományának energiahatékonysága [4].

Az Európai Parlament és Tanács 2018/844 Irányelve már előírja, a 2024/1275 Irányelv pedig továbbra is hangsúlyozza az Unió elkötelezettségét az energetikai rendszerek hatékonyságának növelése és dekarbonizálása mellett. Az üveghatású gázok kibocsátását 2030-ig legalább 40%-al kell csökkenteni az 1990 évhez viszonyítva. Az Európai Unióban a végső energiafogyasztás csaknem felét fűtésre és hűtésre fordítják. Ennek az energiamennyiségnek közel 80%-a épületen belül jelentkezik [5]. A Bizottság szerint a célok költséghatékony elérése érdekében évente az épületállomány 3%-t kellene felújítani. Elvárás, hogy a tagállamok, új épületek építése estében, illetve a meglévő épületek felújítása esetében, ösztönözzék a megújuló energiaforrások felhasználását. További elvárás az épületek energetikai rendszereinek intelligens szabályozása, az adatgyűjtés lehetővé tétele, a megbízható mérés és adatáramlás biztosítása [5].

A közel nulla energiaigényű épületek (NZEB) fogalma megjelenik a 2010-es energiairányelv szövegében [6]. Ezek az épületek jelentik az első lépést a dekarbonizált lakásállomány felé. Több kutató tett kísérletet az NZEB fogalmának meghatározására. Meghatározták azokat az energiaáramokat, melyeket figyelembe kell venni, definiálták a primerenergia átalakítási tényezők fogalmát [7]; számítási példákat mutattak be [8]; feltárták a nemzeti szabályozások közötti különbségeket [9]; valamint az Európai Unió tagállamaiban új, meglévő, lakó- és nem lakáscélú épületek energiateljesítmény-értékeit tárgyalták [10]. D'Agostino et al. kimutatták, hogy a példaértékű közel nulla energiaigényű épületekben hőszivattyúkkal fedezik a fűtési és használati melegvíz előállítás energiaigényét [5].

A 2024/1275 Irányelv elsősorban az energiamegtakarítási törekvésekre fókuszál, azonban hangsúlyozza, hogy a belső környezeti komfortfeltételeket biztosítani kell az épületekben tartózkodók számára. Az emberek ugyanis az idő túlnyomó részét épületekben, illetve zárt terekben töltik [11]. Ezért az épületek létrehozása során elsőrendű célkitűzés az, hogy komfortos és egészséges belső környezetet biztosítsunk az épületben tartózkodók számára.

Az operatív hőmérséklet magában foglalja a léghőmérséklet mellett a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletét is, és tekintettel arra, hogy az ember nem csak konvekcióval, hanem jelentős mértékben sugárzással is hőt cserél a környezetével az operatív hőmérséklet az, melyet a komfortvizsgálatok során figyelembe kell venni. A fűtési folyamat során a szükséges hőmennyiséget egy hőleadón keresztül juttatjuk el a belső térbe, ami a technológiától függően konvekcióval, sugárzással vagy mindkét lehetséges módon adja le a hőt. Még ha ugyanazt a hőmennyiséget is adja le a kétféle hőleadó, a hőleadási mód jelentősen befolyásolja a térben tartózkodó ember hőérzetét. A hőszivattyús rendszerekhez is kiválóan illeszkednek az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések, melyek ráadásul megfelelő hőkomfortot biztosítanak a fűtött térben [12].

Rhee et al. szerint Koreában szinte minden lakóépületben, Észak-Kínában a vidéki házak 85%-ában, Németországban, Ausztriában és Dániában pedig az új lakóépületek 30%-50%-ában telepítenek sugárzó padlófűtési rendszereket [13].

Bojic et al. elvégezték a padló-, a fal-, a mennyezet- és a kombinált padló- és mennyezetfűtés energetikai, környezeti és gazdaságossági vizsgálatát [14]. Megállapítást nyert, hogy a kombinált padló- és mennyezetfűtési rendszer a legalacsonyabb exergetikai hatásfokkal, de a legjobb teljesítményt nyújtja. Az összehasonlított rendszerek közül ennek a legalacsonyabb az energiafogyasztása, az üzemeltetési költsége és a kazán névleges teljesítménye. Meg kell említeni, hogy a beágyazott fűtőrétegek az adott épületszerkezeten megakadályozzák, hogy a fűtött légtérből a hő a szomszédos belső vagy külső térbe jusson. Ennek oka az, hogy a szerkezetben lesz egy réteg, melynek hőmérséklete nagyobb, mint a belső hőmérséklet így ez áthatolhatatlan réteg lesz a hőáram számára (hőgát). Krajcík et al. áttekintették a hőgát (thermal barrier) rétegek energiahatékonyásával kapcsolatos tanulmányokat [15]. A szerzők óvatos összegzést fogalmaztak meg az energiamegtakarítással kapcsolatban, és hangsúlyozták a mérések szükségességét. Azonban Li et al. kimutatták, hogy sugárzó mennyezeti panelek esetén a panelek felfelé irányuló hőárama elérheti a fűtővíz kapacitásának a 30%-40%-át [16]. Üzemeltetés közben ez hőveszteségeket okoz a fűtési rendszerben. Ezek nem az épület, hanem a fűtési rendszer hőveszteségei. A sugárzó fűtési rendszerekkel kapcsolatos tanulmányokban kevés információ áll rendelkezésre a sugárzó fűtési rendszerek által egy fűtési szezonban felhasznált teljes hőmennyiségről. Mindazonáltal ez az információ rendkívül fontos, mivel az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtési rendszereket széles körben használják, különösen a közel nulla energiaigényű épületekben.

2. A kutatás célja

A szakirodalom alapján levont következtetésekből kiindulva az alábbi kutatási célokat fogalmaztam meg:

- a fűtési energiafelhasználás és a széndioxid kibocsátás szempontjából elemezni Debrecen városban a családi házak jellemzőit;
- a fűtési energiafelhasználás és a széndioxid kibocsátás szempontjából elemezni Hajdú Bihar vármegyében (kivéve Debrecen) a családi házak jellemzőit;
- Debrecen városban vizsgálni a panelépületek és az 1950-2020 időszakban épült többlakásos téglafalazatú társasházak energetikai jellemzőit és széndioxid kibocsátását
- vizsgálni a fűtési energiafogyasztást jelentősen befolyásoló külső hőmérséklet, napsugárzás és hasznosítási fok alakulását Debrecen városban mért adatok alapján;

- elemezni az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések hőveszteségeit hagyományos radiátoros fűtési móddal összehasonlításban, azonos léghőmérsékletek mellett;
- elemezni az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések hőveszteségeit hagyományos radiátoros fűtési móddal összehasonlításban, azonos operatív hőmérsékletek mellett, különböző geometriával rendelkező helyiségek esetében.

3. Alkalmazott kutatási módszerek

A lakóépületek többségének energetikai elemzését magam készítettem az elmúlt évek során, illetve a TÉ jogosultsággal rendelkező mérnökök által - kizárólag a PhD dolgozatomhoz - adatgyűjtés céljából rendelkezésemre bocsátott energetikai tanúsítványokból határoztam meg. Összesen 1200 Hajdú Bihar vármegyei épület energetikai tanúsítványa állt rendelkezésemre, melyek 2017-2023 időszakban WinWatt szoftverrel készültek. A főbb kigyűjtött adatok az alábbiak voltak:

- építés éve;
- fűtött alapterület;
- fűtött térfogat;
- felület/térfogat (A/V) tényező;
- fajlagos hőveszteségtényező;
- fajlagos fűtési primerenergia fogyasztás;
- széndioxid kibocsátás.

Ezek mellett kigyűjtésre került a fűtési rendszer típusa, a felhasznált energiahordozó, az épületszerkezet típusa, és a kutatás szempontjából kevésbé fontos használati melegvíz termelésre vonatkozó adat. Amennyiben az épület rendelkezett fotovoltaiikus rendszerrel, kigyűjtésre kerültek a rendszer fontosabb energetikai jellemzői. Az épület címe, a tulajdonos, illetve megrendelő a GDPR adatkezelési előírásoknak megfelelően nem kerülhetett rögzítésre. A Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszékén hozzáférhető az ORIGIN LAB 9.55 szoftver, melyet a statisztikai elemzésekhez használtam. Az adatok többségét dobozdiagramban ábrázoltam (boxplot), hiszen így leolvasható a medián, az alsó és a felső kvartilis.

Az eredmények alapján az épületeket az építési időszak függvényében kategorizáltam. Épületenergetikai felújítási javaslatokat (csomagokat) dolgoztam ki, melyek különböző épületkategóriák számára alkalmazhatók, annak érdekében, hogy minimalizálható legyen a fűtési széndioxid kibocsátás. Az épületeknél csak a racionális és technikailag jelenleg megvalósítható megoldásokat vettem figyelembe. Összehasonlítottam a debreceni családi

házak, a Hajdú-Bihar vármegyei családi házak és a debreceni téglaeépítésű társasházak energetikai tulajdonságait és széndioxid kibocsátását. Az egyes csoportok közötti különbségeket páros t -próba módszerrel $p=0,05$ szignifikancia szint mellett értékeltem. Különböző paraméterek hatását a teljes energiaigényre az egyutas független mintás ANOVA varianciánanalízis módszerrel vizsgáltam (*Tukey* teszt). A variancia homogenitást *Levene* módszerrel vizsgáltam.

A Magyar Meteorológiai Szolgáltató adattára nyújtott lehetőséget a napi átlaghőmérsékletek vizsgálatára 1930-2020 között. Az 1990-2020 időszak mért órai külső hőmérséklet adatai alapján kidolgoztam a fűtési idényre alkalmazható hőfokgyakorisági görbét. A rendelkezésemre bocsátott Debreceni Meteorológiai állomáson a 2009-2013 időszakban mért órai sugárzási adatok alapján meghatároztam a fő égtájakra vonatkozó a függőleges felületre érkező fajlagos sugárzási értékeket. A hőveszteségek, a hőnyereségek ismeretében meghatároztam az energianyereségek hasznosítási fokának napi értékeit.

A felületfűtésekre alkalmazott analitikus alapösszefüggések alapján az Excel szoftver alkalmazásával meghatároztam az alacsony hőmérsékletű felületfűtések hőveszteségeit egy fűtési idényre vonatkozóan. Az összefüggések ellenőrzése és validálása céljából méréseket végeztem a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékének Belső Környezet Minősége laboratóriumában. A validálást a saját mérésemen kívül a szakirodalomból gyűjtött adatok és az általam számolt adatok összevetésével is elvégeztem.

Különböző geometriai paraméterekkel, üvegezési aránnyal és szerkezetekkel rendelkező helyiségekre megvizsgáltam hogyan alakulnak az alacsony hőmérsékletű felületfűtési rendszerek hőveszteségei. A kapott eredmények közötti eltérést páros t -próba módszerrel $p=0,05$ szignifikancia szint mellett vizsgáltam.

4. Új eredmények, tézisek

Az elvégzett kutatás során több megállapítást tettem, melyek új eredménynek tekinthetők és segíthetik a dekarbonizációs célok elérésén munkálkodó szakemberek és döntéshozók munkáját, valamint az építész-épületgépész tervezők és üzemeltetők munkáját.

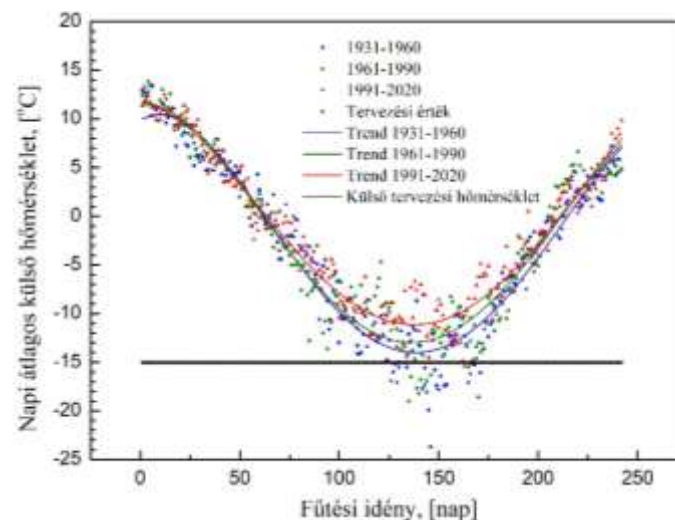
4.1 Külső léghőmérsékletek Debrecenben a fűtési idény során

Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisában elérhető napi átlaghőmérsékleteket elemeztem 1931-2020 időintervallumban, melyet három 30 éves időszakra bontottam. Szeptember 1 és Április 30 közötti időszakot vizsgálva felrajzoltam a minimum hőmérséklet görbéket és megállapítottam, hogy a minimum értékek esetében a legkisebb hőmérséklet is

nagyobb, mint a jelenleg érvényben lévő -15 °C méretezési hőmérséklet, azonban a -15 °C méretezési értékhez viszonyítva a különbségek a három 30 éves időszakra vonatkozóan növekednek.

1. tézis (S3)

$p=0,05$ szignifikancia szint mellett Debrecenben a szeptember 1 és április 30 időszakban mért napi átlaghőmérsékletek minimum értékei az 1961-1990 évekre vonatkozóan szignifikánsan nagyobbak, mint 1931-1960 években voltak, továbbá az 1991-2020 években ismét szignifikánsan nagyobbak, mint az 1961-1990 években voltak. A napi átlaghőmérsékletek fűtési idényre vonatkozó minimum értéke 1961-1990 évekre vonatkozóan $1,04\text{ °C}$ -al nagyobb, mint az 1931-1960 években volt, az 1991-2020 években pedig a napi átlaghőmérsékletek fűtési idényre vonatkozó minimum értéke $1,82\text{ °C}$ -al volt nagyobb, mint az 1961-1990 években volt.



T1. ábra: A napi átlaghőmérsékletek minimumértékei Debrecenben (Szeptember 1 – Április 30 időszak).

4.2 Lakóépületek energetikai elemzése Hajdú-Bihar vármegyében

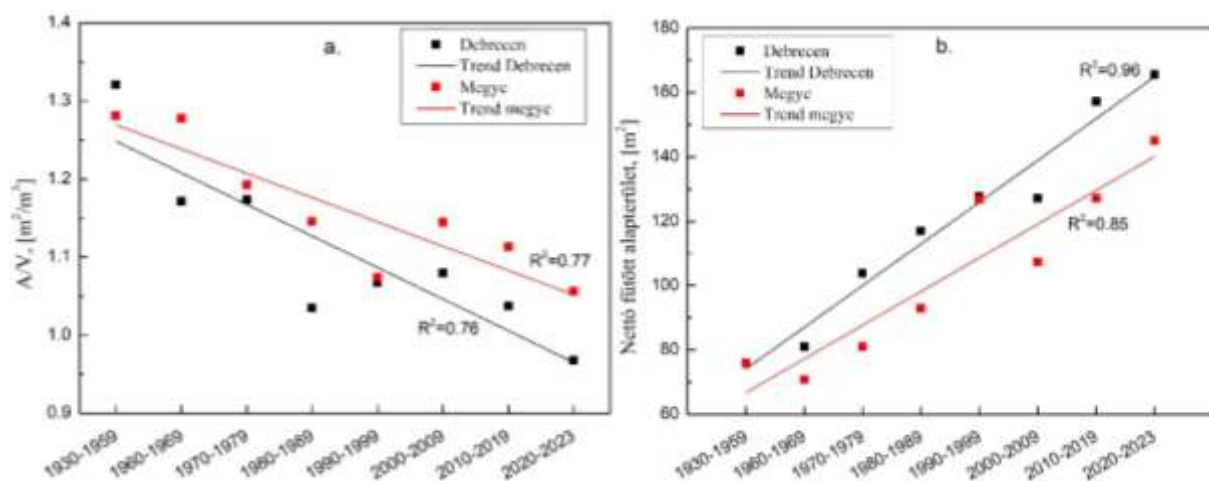
Rendelkezésemre állt 1200 épületenergetikai elemzés, melyeknek adatait feldolgoztam és Debrecenben 236 családi ház, 115 panellakás és 118 téglafalazatú társasházi lakás, továbbá Hajdú-Bihar vármegyében (kivéve Debrecen) 372 családi ház energetikai adatai álltak rendelkezésemre. Az energetikai számítások a WinWatt 32 7.63 szoftverrel készültek, melynek alapja a 7/2006 épületenergetikai rendelet számítási módszere volt. Az épületenergetikai számítási módszer 2023. novemberben változott, de a kutatási munkám során a 2023. júliusig elvégzett energetikai számításokat vettem figyelembe.

A 2.-6. Tézisek alapjául szolgáló adatbázis olyan épületek energetikai adatai alapján készült, melyeknél épületenergetikai tanúsítvány készült. Ez némileg torzítja a teljes épületállományra vonatkozó képet, de a torzítás nem jelentős és az eredmények a gyakorlatban jól alkalmazhatók.

Debrecenben a 236 családi ház adatai alapján megállapítottam, hogy az új épületek fajlagos hőveszteségtényezője, valamint a fajlagos fűtési energiaigény az elmúlt 90 év során (2020-as évekre az 1959 előtti évekhez viszonyítva) 15,2%-ra, illetve 18,5%-ra csökkent. A régi épületek hőszükséglete az elméleti értéknél 27,6-41,4%-al alacsonyabb.

2. tézis (S3, S5)

Hajdú-Bihar vármegyében úgy a nagyvárosi, mint a vidéki környezetben a családi házak A/V tényezője csökken az évtizedek során, viszont Debrecenben a csökkenés nagyobb mértékű. A nettó fűtött alapterület úgy Debrecenben, mint a vidéki településeken növekszik, azonban a növekedés jelentősebb a nagyvárosban. **$p=0,05$ szignifikancia szinten a debreceni családi házak A/V tényezője szignifikánsan alacsonyabb, mint a Hajdú-Bihar vármegyei vidéki családi házakat jellemző A/V tényező, ugyanakkor a debreceni családi házak nettó fűtött alapterülete szignifikánsan nagyobb, mint a vidéki családi házak nettó fűtött alapterülete.**

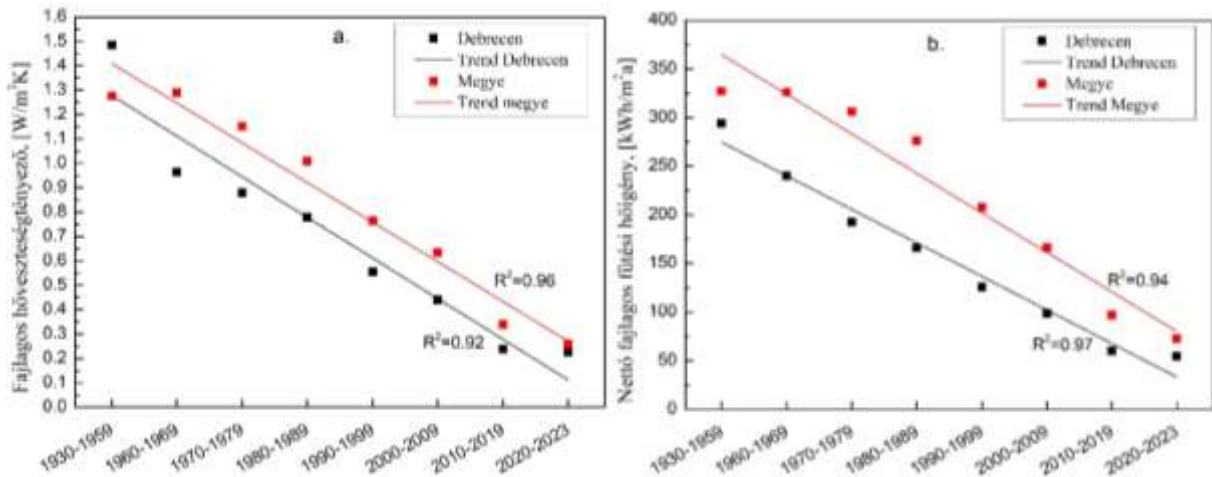


T2. ábra: Az A/V tényező (a) és a nettó fűtött alapterület (b) trendvonalai, illetve a korrigált R^2 érték debreceni és vidéki családi házakra vonatkozóan (a diagramban egy pont az adott időszakra vonatkozó átlagértéket jelenti).

3. tézis (S3, S5)

Hajdú-Bihar vármegyében a vidéki családi házak esetében az 1959 előtt, illetve a 2020 után épült épületek fajlagos hőveszteségtényezői közötti arány 6,7 Debrecenben, és 5,4 vidéki

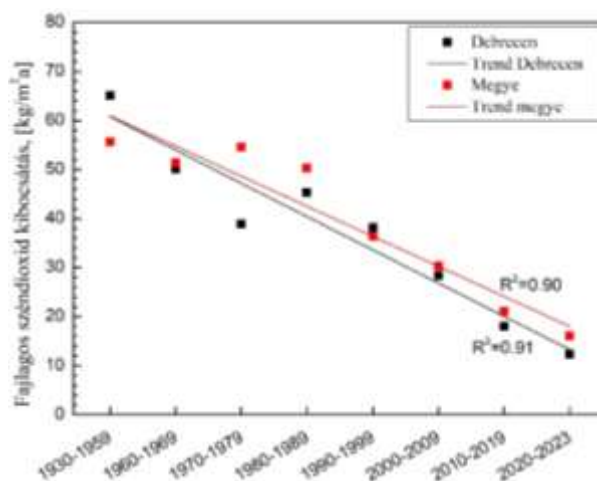
épületekben. Ugyanez az arány a nettó fajlagos fűtési hőigény esetében 5,4 a debreceni családi házak esetében és 4,5 a vidéki családi házak esetében. $p=0,05$ szignifikancia szint mellett, úgy a fajlagos hővesztésgtényező, mint a fajlagos nettó fűtési hőigény is szignifikánsan nagyobb a vidéki, mint a debreceni családi házak esetében.



T3. ábra: A fajlagos hővesztésgtényező (a) és a nettó fűtési hőigény (b) trendvonalai, illetve a korrigált R^2 érték debreceni és vidéki családi házakra vonatkozóan.

4. tézis (S3, S5)

Hajdú-Bihar vármegyében az 1959 előtt, illetve a 2020 után épült épületek fajlagos széndioxid kibocsátásainak aránya 5,3 Debrecenben és 3,5 vidéki családi házak esetében. $p=0,05$ szignifikancia szinten a debreceni és a vidéki családi házak fajlagos széndioxid kibocsátásai között a különbség nem szignifikáns.

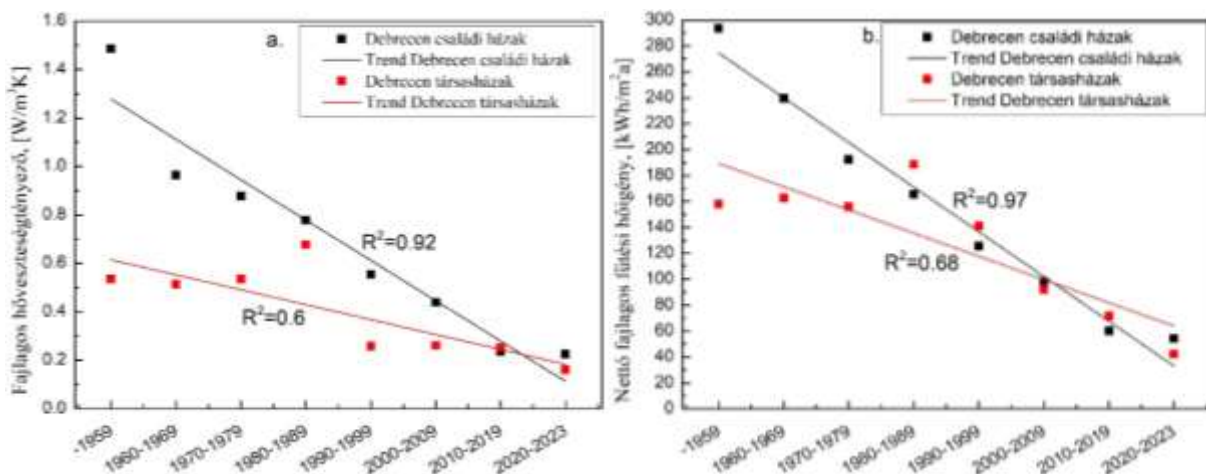


T4. ábra: A fajlagos CO₂ kibocsátás trendvonala, illetve a korrigált R^2 érték debreceni családi házak és debreceni téglafalazatú társasházak esetében.

A városi és vidéki családi házak közötti csekély eltérés indoka az lehet, hogy a vidéki családi házakban széles körben alkalmaznak tüzfát vagy egyéb biomasszát, amit a földgáznál kisebb fajlagos CO₂ kibocsátás jellemez. Azonban a nagyvárosban a legelterjedtebb energiahordozó a földgáz. A nagyobb fajlagos hővesztésgtényezőt, illetve a nagyobb nettó fűtési hőigényt kompenzálja a kisebb fajlagos CO₂ kibocsátással rendelkező energiahordozó.

5. tézis (S3, S5)

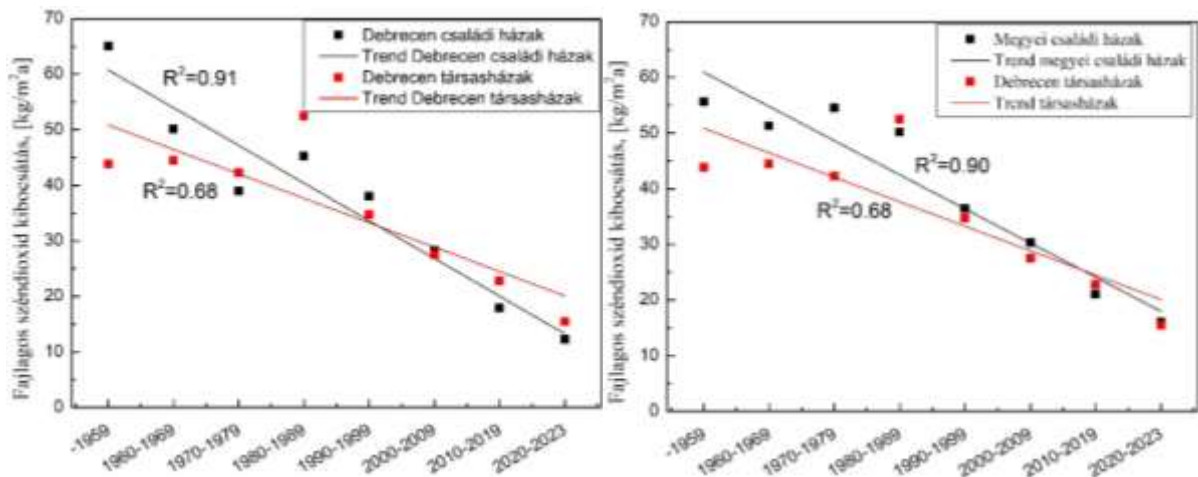
Debrecenben az 1930-1959 időszakban épült, illetve a 2020 után épült téglafalazattal rendelkező többlakásos társasházak esetében a fajlagos hővesztésgtényező aránya 3,5, a nettó fűtési hőigény aránya 3,7, a fajlagos széndioxid kibocsátás aránya pedig 2,8. **p=0,05 szignifikancia szinten a debreceni családi házak hővesztésgtényezői szignifikánsan nagyobbak, mint a debreceni téglaeépítésű társasházak fajlagos hővesztésgtényezői. A vidéki családi házak esetében, p=0,05 szignifikancia szinten, úgy a fajlagos hővesztésgtényezők mint a fajlagos nettó fűtési energiaigények is szignifikánsan nagyobbak, mint a debreceni téglaeépítésű társasházakat jellemző fajlagos hővesztésgtényezők és fajlagos nettó fűtési energiaigények.**



T5. ábra: A fajlagos hővesztésgtényező trendvonalai, illetve a korrigált R² érték családi házak és debreceni téglafalazatú társasházak esetében.

6. tézis (S5)

Hajdú-Bihar vármegyei családi házak illetve a debreceni téglafalazatú társasházak széndioxid kibocsátásai közötti eltérések **p=0,05 szinten nem szignifikánsak.**



T6. ábra: A fajlagos CO₂ kibocsátás trendvonalai, illetve a korrigált R² érték Hajdú-Bihar vármegyei családi házak és debreceni téglafalazatú társasházak esetében.

A Debrecen városi családi házak és téglafalazatú társasházak esetében a kis eltérésre az lehet a magyarázat, hogy bár mindkét épülettípusban többnyire földgázt alkalmaznak energiahordozóként, a családi házak esetében a hőtermelés és a hőleadás nagyobb hatékonysággal történik (pl. kondenzációs kazán és radiator vs. gázkonvektor a társasházakban). A megyei családi házak esetében elterjedt a biomassza felhasználása ez vezethet az alacsonyabb széndioxid kibocsátáshoz, a nagyobb fajlagos energiaigény ellenére.

4.3 Radiátoros és alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtési módok energetikai összehasonlítása

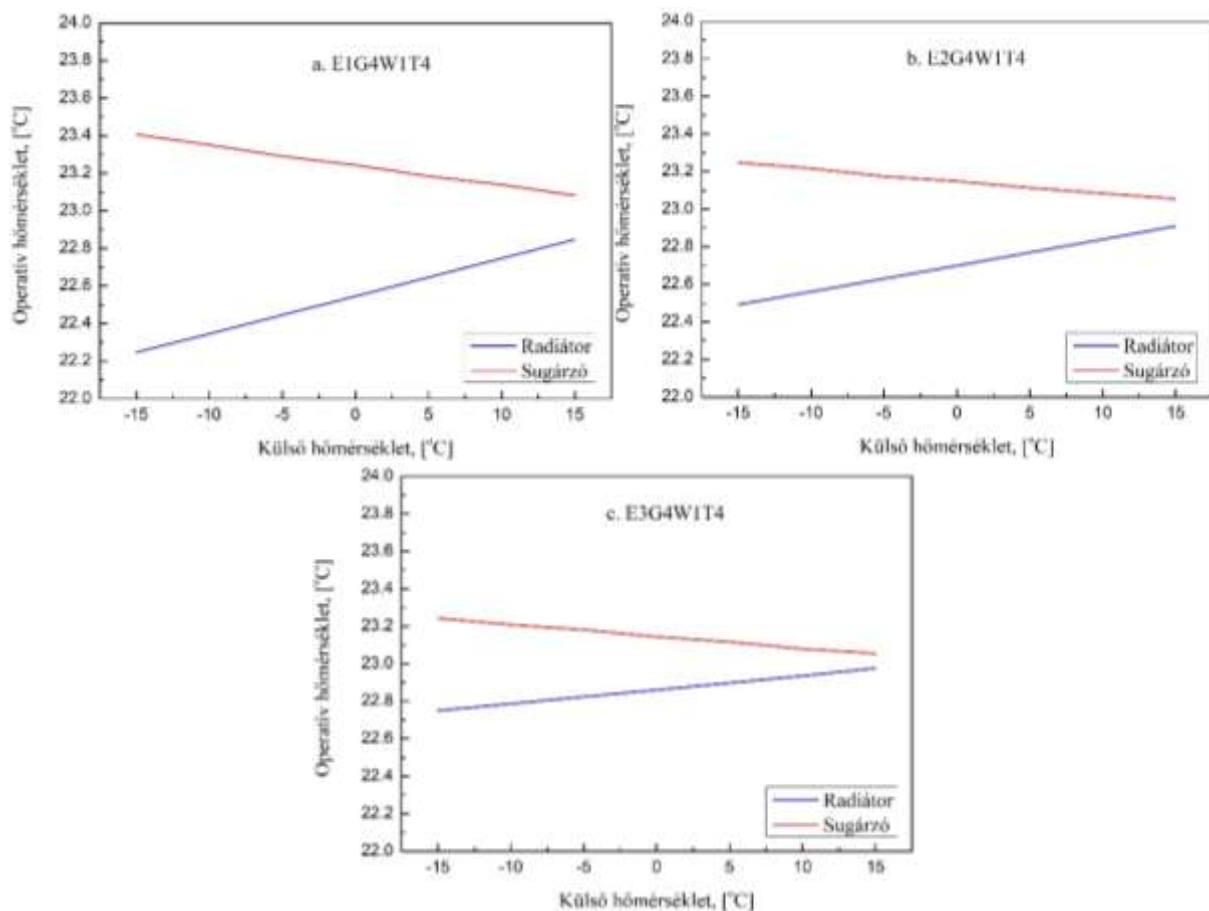
Napjainkban, úgy az új építésű, mint felújított épületek esetében is széles körben alkalmazzák az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtési megoldásokat. Ezek a szakirodalom szerint számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos radiátoros fűtésekkel szemben, így jobb hőérzetet biztosítanak alacsonyabb energiafelhasználás mellett.

Radiátoros fűtés esetében a fűtőtestet minden esetben a nyílászáró alatt helyeztem el, a fűtőtest hosszúságát pedig úgy választottam ki a gyártókatalógusból, hogy egyenlő (vagy csaknem egyenlő) legyen az ablak szélességével. Így a fűtőtest mérete adott volt és ezt, illetve a helyiség hőszükségletét figyelembe véve, meghatároztam a logaritmikus hőmérsékletkülönbségeket, valamint a szükséges előremenő és visszatérő hőmérsékleteket (20 °C tervezési hőfoklépcsőt feltételezve). Az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtés esetében a kombinált padló- és mennyezetfűtés mellett döntöttem, mivel a szakirodalom szerint ez a fűtési mód biztosítja a megfelelő hőérzetet a legkevesebb energiafogyasztás mellett. A szükséges felületi hőmérsékleteket, illetve az előremenő és visszatérő hőmérsékleteket a helyiségek hőigénye

alapján határoztam meg figyelembe véve a szakirodalomban megadott felületi hőátadási tényezőket.

7. tézis (S1, S2, S4)

7.1 Ha azonos a helyiségbe leadott hőmennyiség, az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések esetében az operatív hőmérséklet magasabb, mint a radiátoros fűtések esetében. **Az operatív hőmérséklet magasabb külső hőmérsékletek mellett a radiátoros fűtés esetében növekszik, az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések esetében pedig csökken.**



T7. ábra: Operatív hőmérsékletek a G4 geometria (4.0m×4.0m×2.7m), W1 (20%) üvegezési arány és T4 (23 °C) belső léghőmérséklet mellett (E1; E2 és E3 – határolószerkezetek hőátbocsátási tényezői 2002-ben, 2012-ben és 2022-ben érvényes követelmények szerint).

7.2 432 különböző eset elemzése alapján megállapítottam, hogy a kombinált padló-mennyezetfűtési mód összes hővesztesége a rendszer teljes hőigényének 40,71%-a (SD=5,3).

7.3 432 különböző eset elemzése alapján megállapítottam, hogy azonos operatív hőmérséklet mellett a kombinált padló-mennyezet fűtési mód esetében a teljes hőigény átlagosan 4,71%-al (SD=1,25) haladja meg a radiátoros fűtési mód teljes hőigényét.

7.4. A fűtési határhőmérséklet nem azonos bekapcsoláskor és kikapcsoláskor. Az eltérő külső hőmérséklet-sugárzási energiahozamok miatt a kikapcsolási hőmérséklet alacsonyabb, mint a bekapcsolási hőmérséklet.

Ha a felületfűtést egy külső határolószerkezetre helyezük el, akkor egyrészt az adott szerkezeten nem lép fel hagyományos módon értelmezett (a belső levegőből a külső levegőbe jutó) hőveszteség (mivel a belső levegőnél magasabb a felület hőmérséklete), másrészt viszont a szerkezet nagyobb hőmérséklete miatt a külső felületről a külső térbe leadott hő nagyobb lesz. Ezt nem az épület, hanem a rendszer hőveszteségének tekintetem, ami a hőleadási mód eredménye. Annak érdekében, hogy a helyiség középpontjában azonos operatív hőmérsékletet biztosítsunk a radiátoros fűtés esetében többlet hőbevitelt kell biztosítani. A kutatásban vizsgált kombinált padló- és mennyezetfűtés összes energiaigénye (helyiségbe leadott hő és a hőveszteség összege) minden esetben nagyobb mértékű volt, mint a radiátoros fűtés esetében a helyiségbe leadott hő és a többlet hőbevitel összege.

5. Az eredmények alkalmazási lehetőségei

A külső hőmérséklet változásával kapcsolatos eredmények alkalmasak lehetnek új méretezési külső hőmérsékletek meghatározásához, a vonatkozó szabványok átdolgozásához. Továbbá a hőmérsékletnövekedés pontos ismerete hasznos lehet meglévő rendszerek esetében a túlméretezés mértékének meghatározásához, ezáltal pedig a szabályozási rendszer pontosabb méretezéséhez és beállításához, ami végeredményben az energiahatékonyság növelését eredményezi.

A Hajdú Bihari lakóépület állomány felmérése, az alkalmazott módszerek alapot biztosítanak más kutatók és energetikai elemzők számára ahhoz, hogy Magyarország más megyéiben is hasonló kimutatásokat készítsenek. Ezek az eredmények alapot szolgáltatnak a pontosabb energiastratégia kialakításához. Az egyes épületenergetikai jellemzők lineáris változása az évek során lehetőséget biztosít arra, hogy egy adott lakóépület főbb energetikai adatai diagramok segítségével azonnal meghatározásra kerüljenek.

A felületfűtésekkel kapcsolatos eredmények a megrendelők, a tervezők és az üzemeltetők számára kiemelt fontosságúak mivel rámutatnak arra, hogy a felületfűtések számos előnye mellett előfordulhat, hogy az energiafogyasztás nagyobb lesz.

6. Jövőbeni kutatások

A napi átlaghőmérsékletek minimum értékeit Magyarország más megyéire is szükséges meghatározni. Az épületállomány felmérését folytatni szükséges más megyék adatainak a feldolgozásával. A felületfűtések esetében a kombinált padló-mennyezetfűtést vizsgáltam. Szükséges más felületfűtések vizsgálata is annak érdekében, hogy pontos kép alakuljon ki a felületfűtések energiafogyasztását illetően.

7. Felhasznált szakirodalom

1. A Tanács 93/76/EGK irányelve (1993. szeptember 13.) a széndioxid-kibocsátásának az energiahatékonyság fejlesztése által való korlátozásáról (SAVE), HL L 237, 1993, 9.22, 28-30.
2. AZ Európai Parlament és a Tanács (EU) 2002/91/EK Irányelve (2002. december 16.) az épületek energiateljesítményéről, Off. J. Eur. Union 2003, 12, 2.
3. Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/1275 Irányelve (2024. április 24.) az épületek energiahatékonyságáról, Off. J. Eur. Union 2024, 5, 8.
4. <https://building-stock-observatory.energy.ec.europa.eu/database/>(Letöltés: 2025.09.11)
5. Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/844 Irányelve az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010/31/EU irányelv és az energiahatékonyságról szóló 2012/27/EU irányelv módosításáról, Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 2018.
6. Recast . EPBD Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Off. J. Eur. Union 2010, 18, 6.
7. Kurnitski, J.; Allard, F.; Braham, D.; Goeders, G.; Heiselberg, P.; Jagemar, L.; Kosonen, R.; Lebrun, J.; Mazzarella, L.; Railio, J.; et al. How to define nearly net zero energy buildings nZEB: REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast. REHVA J. 2011, 48, 6–12.
8. Kurnitski, J. Technical definition for nearly zero energy buildings. REHVA J. 2013, 50, 22–28.
9. Annunziata, E.; Frey, M.; Rizzi, F. Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. Energy 2013, 57, 125–133.
10. D'Agostino, D.; Tsemekidi Tzeiranaki, S.; Zangheri, P.; Bertoldi, P. Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe. Energy Strategy Rev. 2021, 36, 100680.

11. Jenkins, P.L.; Phillips, Th.J.; Mulberg, E.J.; P Hui, S.P. Activity patterns of californians: use of and proximity to indoor pollutant sources, *Atmospheric Environment*, 26:12, 1992, 2141-2148.
12. Rhee KN, Kim KW, A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment, *Building and Environment* 91 (2015) 166-190.
13. Rhee KN, Olesen BW, Kim KW, Ten questions about radiant heating and cooling systems, *Building and Environment* 112 (2017) 367-381.
14. Bojic M, Cvetkovic D, Marjanovic V, Blagojevic M, Djordjevic Z, Performances of low temperature radiant heating systems, *Energy and Buildings* 61 (2013) 233–238.
15. Krajčík M, Arıcı M, Šikula O, Šimko M, Review of water-based wall systems: Heating, cooling, and thermal barriers, *Energy & Buildings* 253 (2021) 111476.
16. Li R, Yoshidomi T, Ooka R, Olesen BW, Field evaluation of performance of radiant heating/cooling ceiling panel system, *Energy and Buildings* 86 (2015) 58–65.

8. Részvételek a disszertációhoz kapcsolódó publikációkban

- S1. **Bodó, B.; Kalmár, F. Analysis of primary energy use of typical buildings in Hungary, *EEMJ*. 13 (11), 2014, 2725-2731.**
- S2. **Kalmár, T.; Bodó, B.; Kalmár, F. Heat losses of low-temperature radiant heating systems. *Energy Rep.* 2023, 10, 1982–1995.**
- S3. **Kalmár, F.; Bodó, B.; Li, B.; Kalmár, T. Decarbonization Potential of Energy Used in Detached Houses – Case Study, *Buildings* 2024, 14, 1824.**
- S4. **Kalmár, T.; Bodó, B.; Han, S.; Li, B.; Kalmár, F.: Comparative analysis of energy demand at an equal operative temperature in the case of radiator and low-temperature radiant heating, *Journal of Building Engineering*, 2025, 100, 111792.**
- S5. **Kalmár, F.; Bodó, B.; Kalmár T.: Comparison of Energy Demand for Heating and CO2 Emissions in Urban and Rural Areas, the Case of Hajdú-Bihar County, Hungary, *Buildings* 2025, 15, 1625.**



Nyilvántartási szám: DEENK/591/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Bodó Béla
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10036370

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

1. Kalmár, T., **Bodó, B.**, Han, S., Li, B., Kalmár, F.: Comparative analysis of energy demand at an equal operative temperature in the case of radiator and low-temperature radiant heating. *Journal of Building Engineering*. 100, 1-24, 2025. ISSN: 2352-7102.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2025.111792>
IF: 7.4 (2024)
2. Kalmár, F., **Bodó, B.**, Kalmár, T.: Comparison of Energy Demand for Heating and CO2 Emissions in Urban and Rural Areas, the Case of Hajdú-Bihar County, Hungary. *Buildings*. 15 (10), 1-24, 2025. ISSN: 2075-5309.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings15101625>
IF: 3.1 (2024)
3. Kalmár, F., **Bodó, B.**, Li, B., Kalmár, T.: Decarbonization Potential of Energy Used in Detached Houses-Case Study. *Buildings*. 14 (6), 1-19, 2024. EISSN: 2075-5309.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings14061824>
IF: 3.1
4. Kalmár, T., **Bodó, B.**, Kalmár, F.: Heat losses of low-temperature radiant heating systems. *Energy Rep*. 10, 1982-1995, 2023. ISSN: 2352-4847.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egy.2023.08.090>
IF: 4.7
5. **Bodó, B.**, Kalmár, F.: Analysis of primary energy use of typical buildings in Hungary. *EEMJ*. 13 (11), 2725-2731, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF: 1.065





További közlemények

Magyar nyelvű könyvek (1)

6. **Bodó, B.:** Hőenergia-ellátás. Debreceni Egyetem, Debrecen, 134 p., 2014. ISBN: 9789634737896

Magyar nyelvű könyvrészletek (2)

7. Szöllősy, Z., **Bodó, B.:** Offszet nyomógépek belső légállapotának befolyása a papírra = Offset Printing Machines Inner Air Conditions Affect on Paper.

In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 338-343, 2018. ISBN: 9789637064371

8. **Bodó, B.:** ITSH irodaház gépészete és energetikai bemutatása.

In: Kutatások, kísérletek, eredmények szekciók előadásai az Értékteremtő Épületgépészet Konferencia és Kiállítás Gödöllő 2012. május 24-25.. Írták: Verbai Zoltán, Szabó Gábor, Dani Rusirawan, Farkas István, Ördögné Miklós Mária, Bodó Béla, Kocsány Ivett, Seres István, Jasper Andor, Csöppenszky Gábor, Demeter Viktória, Barótfi István, Dodog Zoltán, [S.n.], Gödöllő, 52-61, 2012. ISBN: 9789632692876

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (6)

9. 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.

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

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

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

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

12. 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.

13. 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.

14. **Bodó, B., Verbai, Z.:** Nagyméretű napkollektoros rendszerek tervezésével és üzemeltetésével kapcsolatos kérdések.

Magyar épületgépészet. 63 (7-8), 12-15, 2014. ISSN: 1215-9913.





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

15. **Bodó, B.**, Béni, E., L. Szabó, G.: A Facility's Energy Demand Analysis for Different Building Functions.
Buildings. 13 (8), 1-18, 2023. EISSN: 2075-5309.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings13081905>
IF: 3.1

Egyéb folyóiratközlemények (2)

16. **Bodó, B.**: Oktatási épületek energetikai vizsgálata.
Magyar épületgépészet. 2012 (5), 3-7, 2012. ISSN: 1215-9913.
17. **Bodó, B.**, Tóth, G.: Pneumatikus csőpostahálózat a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum területén.
Magyar épületgépészet. 12, 14-16, 2012. ISSN: 1215-9913.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (5)

18. **Bodó, B.**: Napkollektoros rendszerek létjogosultsága napjainkban energetikai szempontból.
In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2024: Konferencia előadások kivonatai. Szerk.: Dömötör Csaba, MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, Miskolc, 74-74, 2024. ISBN: 9789637064456
19. **Bodó, B.**, Kalmár, F.: Geotermikus távfűtés egy alföldi kisvárosban.
In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2023 : Konferencia előadások kivonatai. Szerk.: Békési Bertold, MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, Szolnok, 15-15, 2023. ISBN: 9789637064449
20. 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, 66-76, 2018. ISBN: 9789637064371
21. 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





22. 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

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 22,465

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
19,365**

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

Debrecen, 2025.11.14.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Study of CO₂ emissions from heating of residential buildings in
Hajdú-Bihar county and contributions to of the energy
performance analysis of low-temperature radiant heating systems**

by Béla Bodó

Supervisor: Prof. Dr. Ferenc Kalmár



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2025

1. Introduction

The increase of energy efficiency in buildings and the mitigation of carbon dioxide emissions in the building sector were already prescribed by the 933/76/EEC Directive [1]. After ten years, the 2002/91/EC Directive mentions important results in this area. Still, it emphasises the fact that in the Union, 40% of the total energy is consumed in the building sector, and this share is continuously increasing [2]. The growth of the building sector and energy saving can be observed simultaneously. Nevertheless, the effects of these two vectors on the final energy consumption are opposite. This can be the main reason why the 2024/1275 Directive still records that in the Union, the building sector is responsible for 40% of the final energy consumption. It's as if nothing has happened in this area in the last two decades. In reality, numerous building refurbishment programs had been implemented, and the energy requirements of buildings had been tightened several times. The growth of the building sector and the increase in occupants' comfort needs balanced the energy-saving efforts. Currently, the building sector is responsible for 36% of the total greenhouse gas emissions in the Union and, according to the Committee, 75% of the building stock is not efficient from an energy point of view [3]. Regarding the heating of buildings, natural gas is the main energy carrier used, with a share of 39% of the total energy consumed. Oil is the second most used energy carrier with 11%, while coal represents about 3% [3]. According to the 2024/1275 Directive, the energy saving and decarbonisation goals cannot be met with the current 1% annual renewal rate of the building stock. Therefore, implementation of minimum energy performance standards is recommended to Member States [3]. The introduction of minimum energy performance standards should lead to a gradual phasing out of the worst-performing buildings and a continuous improvement of the national building stock. The Directive recommends that Member States develop their own national building renovation plan, which focuses on the increase of energy efficiency [3]. To develop the national building renovation plan, knowledge of the existing building stock is indispensable. The renovation plan should refer to the number of buildings which has to be renovated yearly, providing data on the floor area of the 43% worst-performing residential buildings (or residential building units). These data are crucial for developing an energy strategy and making optimal energy policy decisions. The Building Stock Observatory database was developed in 2016 with a similar purpose [4]. In this database, energy efficiency data can be found related to the EU27's building stock.

The EU's commitment to increasing efficiency and decarbonisation of energy systems is mentioned both by 2018/844 and 2024/1275 Directives. Compared to 1990, greenhouse gas emissions have to be reduced by 40% by 2030. In the European Union, about half of the final energy is used for heating and cooling purposes. Around 80% of this energy quantity is related to buildings [5]. According to the Committee, the cost-effective meeting of the goals can be realised by refurbishing 3% of the building stock annually. It is expected that Member States encourage the use of renewable energy sources both for new and refurbished buildings. Another expectation is the intelligent control of energy systems in buildings, reliable measurement of energy used and accurate data acquisition [5].

The concept of nearly zero energy buildings (NZEB) was introduced in the 2010/31 EU Directive on the energy performance of buildings [6]. NZEBs represent the first step towards decarbonised buildings. Scholars tried to define NZEB. The energy flows which should be taken into account have been identified, and the primary energy transformation factors have been determined [7]. Calculation examples were presented [8], and the differences between national methodologies have been shown [9]. Moreover, the energy quality of residential and non-residential buildings in the EU Member States has been discussed [10]. D'Agostino et al. demonstrated that heating and hot water preparation are provided by heat pumps in exemplary NZEBs [5].

Directive 2024/1275 primarily focuses on energy-saving purposes, but emphasises that a healthy and comfortable indoor environment should be provided for occupants. People are spending most of their lives indoors [11]. Operative temperature is one of the main factors influencing the thermal sensation of occupants in a room. This depends on the indoor air temperature and internal surface temperatures of building elements. Heat exchange of humans with the environment can be realised through convection and radiation, so when thermal comfort is analysed, the operative temperature should be taken into account. During the heating process, heat is released to the indoor environment by the heating surface partially through convection and partially through radiation. The heat transfer process substantially influences the thermal sensation of occupants. In the case of low-temperature surface heating, the heating layer is embedded in a building element (wall, floor, ceiling). Decreasing the supply and return temperatures of the heating system, larger heating areas are needed. Heat pumps are ideal heat sources for these low-temperature heating systems [12].

According to Rhee et al. floor heating is installed in almost all residential buildings in South Korea, in about 85% of residential buildings in North China, in Germany, Austria and Denmark 30%-50% of new buildings have floor heating [13].

Bojic et al. analysed the floor-, wall-, ceiling-, and the combined floor-ceiling low-temperature radiant heating from cost and environmental aspects [14]. It was found that the combined floor-ceiling heating showed the best exergy efficiency and provided the best performance. This solution had the lowest energy consumption and operational costs and needed the lowest nominal output of the boiler. It should be mentioned here that the embedded heating layers avoid the heat losses through the building element. The reason is that in the building structure a layer with a higher temperature than the internal air is placed. So, the heat cannot pass through the building element from the internal air to the external air (thermal barrier). Krajčík et al. reviewed the available publications related to thermal barrier [15]. The authors concluded circumspectly on the energy savings and recommended taking measurements. At the same time, Li et al. have shown that in the case of ceiling heating, heat losses can reach as high as 30%-40% of the total heat released by the heating layer [16]. These are the heat losses of the heating system. Publications related to radiant heating systems do not provide information on total energy consumption during the heating season. However, this information is extremely important since different low-temperature radiant heating systems are widely used in NZEBs.

2 Research goals

Based on the conclusions drawn from the literature analysis, the following research goals were formulated:

- analysis of residential single-family houses in Debrecen from energy consumption and CO₂ emissions points of view;
- analysis of residential single-family houses in Hajdú-Bihar county (except Debrecen) from energy consumption and CO₂ emissions points of view;
- analysis of panel buildings and masonry-structured multifamily buildings from energy consumption and CO₂ emissions points of view;
- analysis of the outdoor temperature, solar radiation and utilisation factor of heat gains during the heating season in Debrecen;
- comparison of heat losses of radiator heating and low-temperature radiant heating in the case of equal indoor air temperature;
- comparison of heat losses of radiator heating and low-temperature radiant heating in the case of equal operative air temperature in rooms with different geometries and thermal properties of the envelope.

3. Research methods

In the last years, I have performed the energy analysis of lots of residential buildings (single-family houses and flats), so I obtained energy data of hundreds of buildings and flats. Besides, I got several energy certificates elaborated by engineers with the required qualification, so eventually I had the energy data of 1200 residential buildings. All energy calculations were done between 2017 and 2023 with Winwatt software. The following data were collected:

- construction year;
- heated area;
- envelope/heated volume ratio (A/V);
- specific heat loss coefficient;
- specific primary energy consumption for heating;
- carbon dioxide emission.

Besides these data, the heating system type, the used energy carrier, the structure of external walls, and data on the hot water preparation. Data of the photovoltaic system were collected either, in case such system was installed on the building. The address of the building and the name of the owner were not registered, taking into account the GDPR prescriptions.

The ORIGIN LAB 9.55 software available at the Department of Building Services and Building Engineering of the University of Debrecen was used for statistical analysis of energy data. Most of the obtained results were presented in boxplot diagrams, because this representation type shows the statistical distribution: the average, the median, and the upper and lower quartiles of the dataset are available.

Buildings were categorised depending on the construction year. Different refurbishment packages were developed for each building category to minimise the carbon dioxide emissions. Rational and cost-effective solutions were taken into account only. The energy performance and carbon dioxide emissions of single-family houses in Debrecen (urban) and Hajdú-Bihar county (except Debrecen), single-family houses and masonry-structured multifamily buildings were compared. The differences between groups were analysed statistically using the paired *t*-test method at a $p=0.05$ significance level. The effects on the energy performance of different factors were analysed using the one-way analysis of variance (ANOVA) with the Tukey test. The homogeneity of variance was analysed using Levene's method.

Using the database of the Hungarian Meteorological Service, the daily mean temperatures between 1930 and 2020 were analysed. Using the hourly mean temperatures measured between 1990 and 2020, the degree-day curve specific to this period was drawn. The specific solar radiation gains on vertical surfaces for four cardinal orientations were determined using the

hourly data measured by the meteorological station of the University of Debrecen (2009-2013). Having the heat losses and heat gains, the daily values of the utilisation factor were calculated. Developing a calculation table in Excel based on the analytical relations of radiant heating, the system heat losses were determined for a heating season. In order to validate the analytical relations, measurements were carried out in the Indoor Environment Quality laboratory of the University of Debrecen. Besides these measurements, the data from previously published measurements were identified and taken into account for the validation process. Thereafter, the heat losses of a low-temperature radiant heating system (combined floor and ceiling) were determined for 432 cases (different room geometry, windows-to-wall ratio, indoor temperatures and thermal properties of the envelope). The differences between groups were analysed statistically using the paired t -test method at a $p=0.05$ significance level.

4. Results

Some statements made in the framework of the performed research, can be considered new contributions to the current knowledge. These statements can be useful for stakeholders, investors, designers, and policymakers either in their work to achieve the EU decarbonisation goals.

4.1 Outdoor temperatures in Debrecen during the heating season

I have analysed the data available in the Hungarian Meteorological Service database between 1931 and 2020, which was split into three 30-year subintervals. The trend curves of minimum daily temperatures were drawn, and I have stated that the minimum temperature of the heating season is higher than the design temperature in each case. Moreover the minimum temperatures of the heating seasons are increasing.

Thesis 1. (S3)

The minimum values of daily mean temperatures in Debrecen for the 1961-1990 period, at a 0.05 significance level, are significantly higher than those for the 1931-1960 period. Furthermore, the minimum values of daily mean temperatures in Debrecen for the 1991-2000 period, at a 0.5 significance level, are significantly higher than those for the 1961-1990 period. The minimum temperature of the heating season registered for the 1961-1990 period is higher by 1.04 °C in comparison to the minimum temperature of the heating season registered for the 1931-1960 period. The minimum temperature of the

heating season registered for the 1991-2000 period is higher by 1.82 °C than the minimum temperature of the heating season registered for the 1961-1990 period.

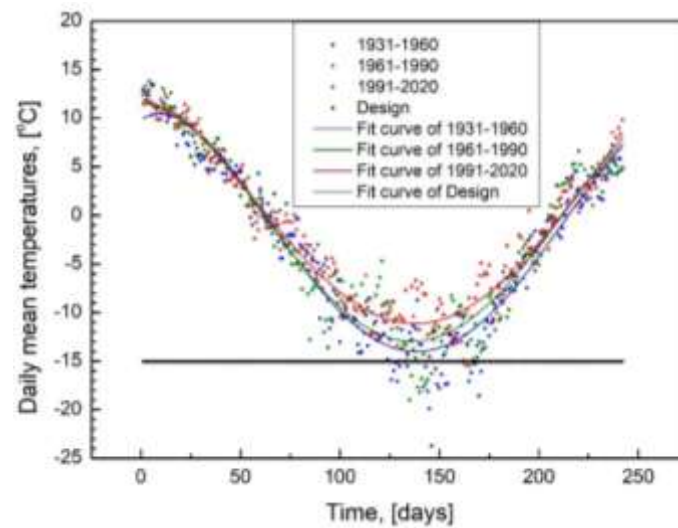


Fig. T1: Minimum values of the daily mean temperatures in Debrecen (01.09. – 04.30 period).

4.2 Energy analysis of residential buildings in Hajdú-Bihar county

Energy data of 1200 residential building assessments have been analysed. Eventually, 236 single-family houses in Debrecen, 372 single-family houses in Hajdú-Bihar county (except Debrecen), 115 flats in panel buildings and 118 flats in multifamily buildings with masonry structures of the external walls were used. The energy assessments have been carried out using Winwatt 32 7.63 software. This software integrates the calculation methodology provided by the 7/2006 Decree. The calculation method was updated in November 2023; therefore, only the assessments performed before this date have been taken into account.

Theses 2.-6. have been formulated on the energy data of buildings which have an energy performance certificate. This somewhat distorts the picture of the entire building stock, but the distortion is not significant, and the results are well applicable in practice.

Based on the energy data of 236 single-family houses, I have stated that the specific heat loss coefficient and the specific heating demand decrease to 15.2% and 18.5% respectively, in 90 years (buildings built between 2020 and 2023, compared to buildings built between 1931 and 1960. Moreover, the heat demand of old buildings is 27.6%-41.4% lower than the theoretically calculated value.

Thesis 2. (S3, S5)

In Hajdú-Bihar county, the A/V ratio of single-family houses decreased in the last decades, but the decrease is greater in Debrecen. The net heated area, both of urban and rural single-family houses, is increasing, but the increase is greater in Debrecen.

The A/V ratio of single-family houses in Debrecen is significantly lower than the A/V ratio of single-family houses in Hajdú-Bihar county (except Debrecen). At the same time, the neat heated area of single-family houses in Debrecen is significantly higher than the net heated area of single-family houses in Hajdú-Bihar county (except Debrecen).

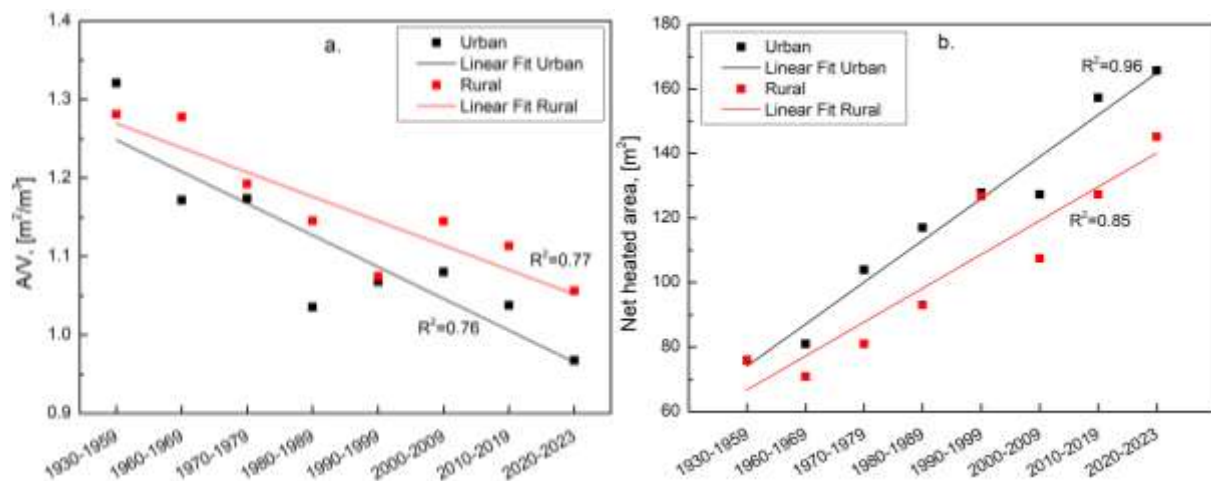


Fig. T2: Trends of A/V ratio (a) and net heated area (b) of the analysed urban-rural single-family buildings (R^2 – adjusted R-squared).

Thesis 3. (S3, S5)

The specific heat loss coefficient of single-family houses built in Debrecen between 1931 and 1959 is 6.7 times higher than the specific heat loss coefficient of single-family houses built after 2020. In the case of rural single-family houses in Hajdú-Bihar county, this ratio is 5.4. The net specific heat demand of single-family houses built in Debrecen between 1931 and 1959 is 5.4 times higher than the specific heat loss coefficient of single-family houses built after 2020. In the case of rural single-family houses in Hajdú-Bihar county, this ratio is 4.5.

At a 0.05 significance level, the specific heat loss coefficient and the specific net heat demand of rural single-family houses built in Hajdú-Bihar county are significantly higher than the specific heat loss coefficient and the specific net heat demand of single-family houses built in Debrecen.

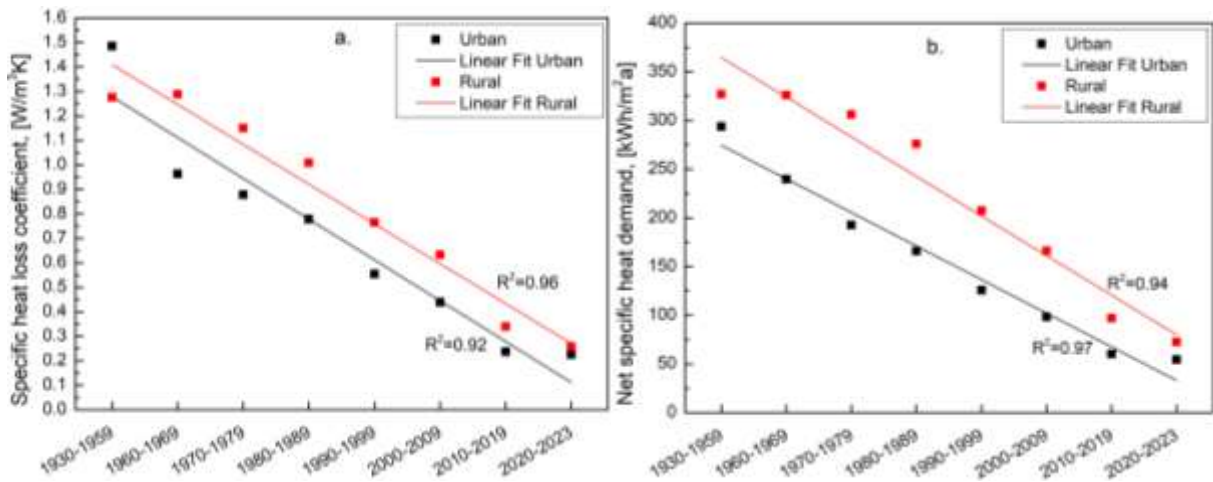


Fig. T3: Trends of specific heat loss coefficient (a) and net specific heat demand (b) of the analysed urban-rural single-family buildings (R^2 – adjusted R-squared).

Thesis 4. (S3, S5)

In Hajdú-Bihar county, the carbon dioxide emissions of single-family houses in Debrecen decreased by a ratio of 5.3. The same ratio is 3.5 in the case of rural single-family houses in the county.

At a 0.05 significance level, the difference in carbon dioxide emissions between single-family houses built in Debrecen and those built in rural regions of Hajdú-Bihar county is not statistically significant.

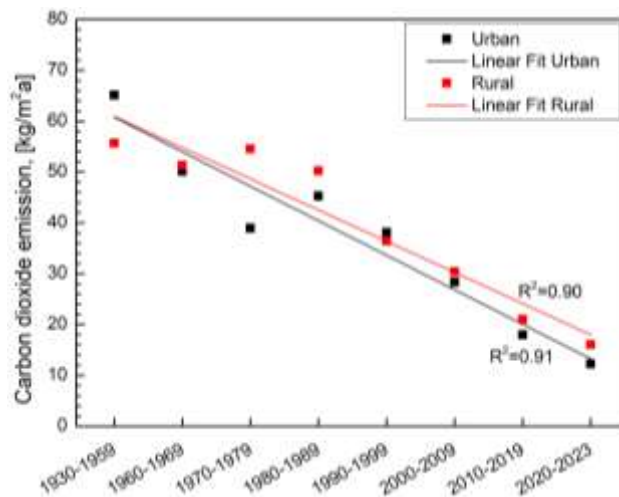


Fig. T4: Trends of specific CO₂ emissions of the analysed urban-rural single-family buildings (R^2 – adjusted R-squared).

The small differences between carbon dioxide emissions can be explained by the fact that in Debrecen, mostly natural gas is used for heating. In contrast, in rural settlements, wood and

biomass are used largely. Wood and biomass are characterized by a lower specific CO₂ emission than natural gas. Consequently, the higher heat demand is compensated by lower specific CO₂ emissions of heat carrier used.

Thesis 5. (S3, S5)

For masonry structured multi-family buildings built in Debrecen between 1930 and 1959 and those built after 2020, the specific heat loss ratio is 3.5, the specific net heat demand ratio is 3.7, and the specific carbon dioxide emission ratio is 2.8.

At a 0.05 significance level, the specific heat loss coefficient of single-family houses built in Debrecen is statistically higher than that of multifamily buildings with masonry structures built in Debrecen. In the case of single-family houses built in Hajdú-Bihar county (except Debrecen), at a 0.05 significance level, both the specific heat loss coefficient and the net specific heat demand are statistically higher than those of multifamily buildings with masonry structures built in Debrecen.

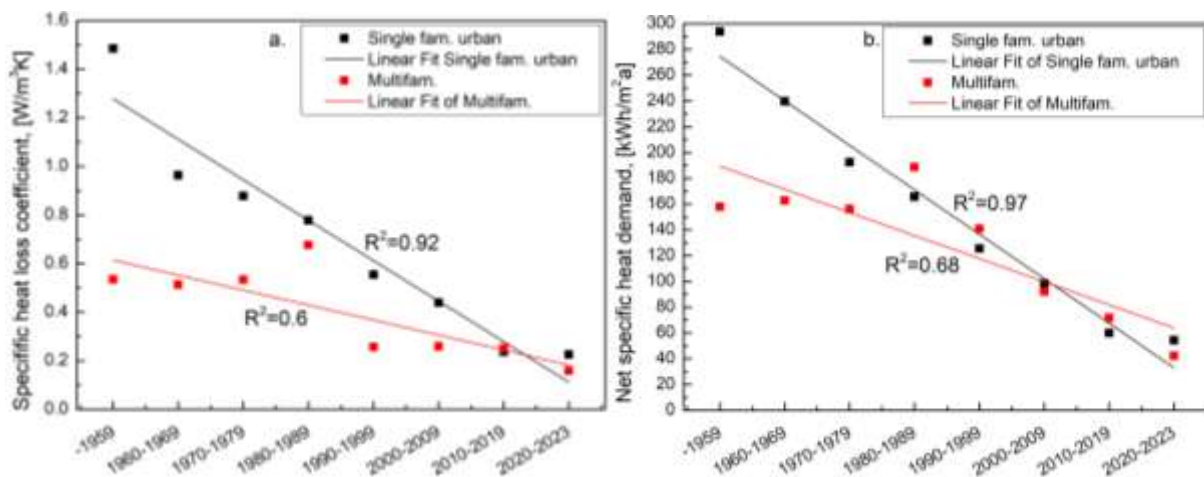


Fig. T5: Trends of specific heat loss coefficient (a) and net specific heat demand (b) of the analysed urban single-family and urban masonry structured multifamily buildings (R^2 – adjusted R-squared).

Thesis 6. (S5)

At a 0.05 significance level, the difference in carbon dioxide emissions between single-family houses built in Hajdú-Bihar county and those of multifamily buildings with masonry structures built in Debrecen. is not statistically significant.

In Debrecen, both in single-family houses and in multifamily buildings, mostly natural gas is used, but in single-family houses, the energy efficiency of equipment (low temperature boiler or condensing boiler) is higher than that of gas convectors used mainly in multifamily buildings

(so the higher heat demand is compensated by better boiler efficiency). In the case of single-family houses built in the rural region of Hajdú-Bihar county, wood and biomass are largely used, which have a lower specific carbon dioxide emission than natural gas, used in multifamily buildings in Debrecen (so the higher heat demand is compensated by a heat carrier with lower specific emission).

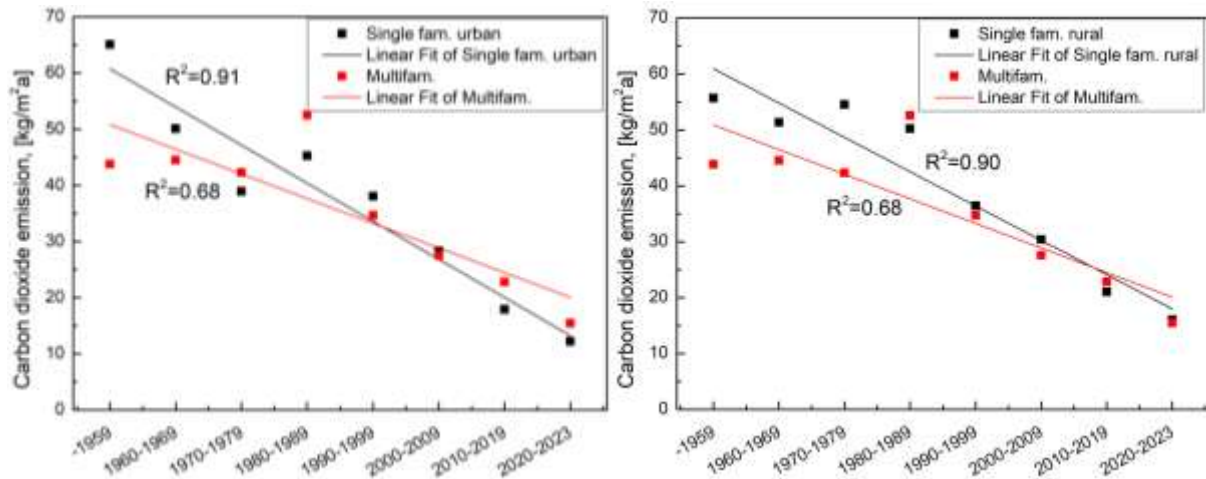


Fig. T6: Trends of specific CO₂ emissions of the analysed single-family buildings in Hajdú-Bihar county and multifamily buildings with masonry structure in Debrecen (R^2 – adjusted R-squared).

4.3 Energy comparison of radiator and low-temperature radiant heating

Nowadays, low-temperature radiant heating is widely used both in newly built and refurbished buildings. According to the literature, in comparison to radiator heating this heating mode has numerous advantages, providing better thermal comfort at lower energy consumption.

In the case of radiator heating, the radiator is always placed under the window, and the length of the radiator is chosen to be equal to or almost equal to the width of the window. Having the heat loss values at the external design temperature ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$), the heat loss coefficients of the rooms have been calculated. In the case of convective heating mode, the type (22K) and the height of the radiators were set to 600 mm, and the radiators were chosen from the product catalogue. The logarithmic temperature difference needed to provide the required heat demand was calculated for external design temperature ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) and, using the heat loss coefficients for $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$; $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ external temperatures. A qualitative control of the heating system was considered (the mass flow of warm water is constant during the heating season, and the heating capacity is controlled by adjusting the supply and return temperatures of the warm water).

In the case of low-temperature radiant heating, the combined ceiling-floor surface heating was taken into consideration. Angle factors have been determined considering a sitting person in the middle of the room. Mean radiant temperatures were determined for all 432+432 room models. In the case of floor and ceiling heating the inner surface temperatures of building elements were determined from the heat demand of the rooms as well as considering the surface heat transfer coefficients given in the literature.

Thesis 7. (S1, S2, S4)

7.1 For a certain heat quantity released in the room, the operative temperature is higher in the case of low-temperature radiant heating than in the case of radiator heating. **At increasing outdoor temperatures, the operative temperature in the room will increase in the case of radiator heating and will decrease in the case of low temperature radiant heating.**

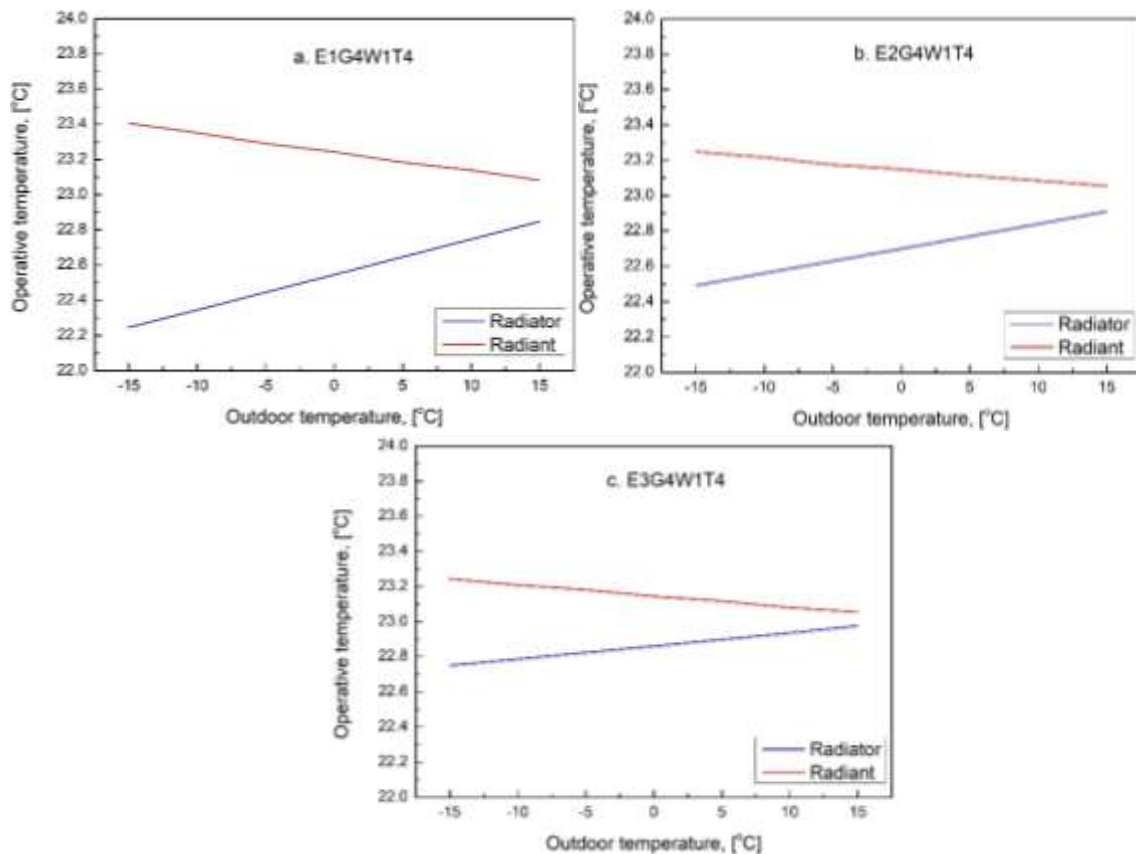


Fig. T7: Operative temperatures in rooms with geometry G4 (4.0m×4.0m×2.7m), WWR ratio W1 (20%) and indoor set-point temperature T4 (23 °C).
(a. envelope E1, b. envelope E2, c. envelope E3).

7.2 Based on the analysis of 432 different cases, I have proven that the heat loss of the combined ceiling-floor low-temperature radiant heating represents 40.71% of the total heat demand of the system (SD=5.3).

7.3 Based on the analysis of 432 different cases, I have proven that at similar operative temperatures in the middle of the room the total energy demand of combined ceiling-floor low-temperature radiant heating is 4.71% higher (=SD=1.25) than the total energy consumption of radiator heating.

7.4 The balance point temperature is not equal when the heating is switched on and when the heating is switched off. Because of different solar energy gains in autumn and in spring the switched off temperature is lower than the switched on temperature.

If the radiant surface heating is embedded in an external structure, then on the one hand, the conventional heat loss (from the internal air to the external air) does not occur on the given structure (since the surface temperature is higher than the internal air), and on the other hand, due to the higher temperature of the structure, the heat released from the external surface to the external space will be greater. I considered this not as a heat loss of the building, but as a result of the heat transfer method. In order to ensure the same operational temperature in the middle of the room, in the case of radiator heating, additional heat input must be provided. The total energy demand of the combined floor and ceiling heating examined in the research (the sum of the heat delivered to the room and the heat loss) was in all cases greater than the sum of the heat delivered to the room and the excess heat input in the case of radiator heating.

5. Possible utilisation of the results

The results of the change in external temperature may be suitable for determining new design external temperatures and revising the relevant standards. Furthermore, accurate knowledge of the temperature increase may be useful for determining the degree of oversizing in existing systems, and thus for more accurate sizing and adjustment of the control system, which ultimately results in increased energy efficiency.

The survey of the Hajdú-Bihar county's residential building stock and the applied methods provide a basis for other researchers and energy analysts to prepare similar reports in other counties of Hungary. These results provide a basis for the development of a more accurate energy strategy. The linear change of individual building energy characteristics over the years provides the opportunity for the main energy data of a given residential building to be immediately determined with the help of diagrams.

The results related to surface heating are of paramount importance for customers, designers and operators as they point out that, despite the many advantages of surface heating, energy consumption may be higher.

6. Further research

The minimum values of the daily average temperatures need to be determined for other counties of Hungary as well. The survey of the building stock needs to be continued by processing the data of other counties as well. In the case of surface heating, I examined the combined floor-ceiling heating. It is also necessary to examine other surface heating systems in order to obtain an accurate picture of the energy consumption of surface heating systems.

7. References

1. A Tanács 93/76/EGK irányelve (1993. szeptember 13.) a széndioxid-kibocsátásának az energiahatékonyság fejlesztése által való korlátozásáról (SAVE), HL L 237, 1993, 9.22, 28-30.
2. AZ Európai Parlament és a Tanács (EU) 2002/91/EK Irányelve (2002. december 16.) az épületek energiateljesítményéről, Off. J. Eur. Union 2003, 12, 2.
3. Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/1275 Irányelve (2024. április 24.) az épületek energiahatékonyságáról, Off. J. Eur. Union 2024, 5, 8.
4. <https://building-stock-observatory.energy.ec.europa.eu/database/>(Letöltés: 2025.09.11)
5. Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/844 Irányelve az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010/31/EU irányelv és az energiahatékonyságról szóló 2012/27/EU irányelv módosításáról, Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 2018.
6. Recast. EPBD Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Off. J. Eur. Union 2010, 18, 6.
7. Kurnitski, J.; Allard, F.; Braham, D.; Goeders, G.; Heiselberg, P.; Jagemar, L.; Kosonen, R.; Lebrun, J.; Mazzarella, L.; Railio, J.; et al. How to define nearly net zero energy buildings nZEB: REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast. REHVA J. 2011, 48, 6–12.
8. Kurnitski, J. Technical definition for nearly zero energy buildings. REHVA J. 2013, 50, 22–28.
9. Annunziata, E.; Frey, M.; Rizzi, F. Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. Energy 2013, 57, 125–133.
10. D'Agostino, D.; Tsemekidi Tzeiranaki, S.; Zangheri, P.; Bertoldi, P. Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe. Energy Strategy Rev. 2021, 36, 100680.

11. Jenkins, P.L.; Phillips, Th.J.; Mulberg, E.J.; P Hui, S.P. Activity patterns of californians: use of and proximity to indoor pollutant sources, *Atmospheric Environment*, 26:12, 1992, 2141-2148.
12. Rhee KN, Kim KW, A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment, *Building and Environment* 91 (2015) 166-190.
13. Rhee KN, Olesen BW, Kim KW, Ten questions about radiant heating and cooling systems, *Building and Environment* 112 (2017) 367-381.
14. Bojic M, Cvetkovic D, Marjanovic V, Blagojevic M, Djordjevic Z, Performances of low temperature radiant heating systems, *Energy and Buildings* 61 (2013) 233–238.
15. Krajčík M, Arıcı M, Šikula O, Šimko M, Review of water-based wall systems: Heating, cooling, and thermal barriers, *Energy & Buildings* 253 (2021) 111476.
16. Li R, Yoshidomi T, Ooka R, Olesen BW, Field evaluation of performance of radiant heating/cooling ceiling panel system, *Energy and Buildings* 86 (2015) 58–65.

8. Publications related to the PhD thesis I have contributed to

- S1. **Bodó, B.; Kalmár, F. Analysis of primary energy use of typical buildings in Hungary, *EEMJ*. 13 (11), 2014, 2725-2731.**
- S2. **Kalmár, T.; Bodó, B.; Kalmár, F. Heat losses of low-temperature radiant heating systems. *Energy Rep.* 2023, 10, 1982–1995.**
- S3. **Kalmár, F.; Bodó, B.; Li, B.; Kalmár, T. Decarbonization Potential of Energy Used in Detached Houses – Case Study, *Buildings* 2024, 14, 1824.**
- S4. **Kalmár, T.; Bodó, B.; Han, S.; Li, B.; Kalmár, F.: Comparative analysis of energy demand at an equal operative temperature in the case of radiator and low-temperature radiant heating, *Journal of Building Engineering*, 2025, 100, 111792.**
- S5. **Kalmár, F.; Bodó, B.; Kalmár T.: Comparison of Energy Demand for Heating and CO2 Emissions in Urban and Rural Areas, the Case of Hajdú-Bihar County, Hungary, *Buildings* 2025, 15, 1625.**



Registry number: DEENK/591/2025.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Béla Bodó
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10036370

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (5)

1. Kalmár, T., **Bodó, B.**, Han, S., Li, B., Kalmár, F.: Comparative analysis of energy demand at an equal operative temperature in the case of radiator and low-temperature radiant heating. *Journal of Building Engineering*. 100, 1-24, 2025. ISSN: 2352-7102.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2025.111792>
IF: 7.4 (2024)
2. Kalmár, F., **Bodó, B.**, Kalmár, T.: Comparison of Energy Demand for Heating and CO2 Emissions in Urban and Rural Areas, the Case of Hajdú-Bihar County, Hungary. *Buildings*. 15 (10), 1-24, 2025. ISSN: 2075-5309.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings15101625>
IF: 3.1 (2024)
3. Kalmár, F., **Bodó, B.**, Li, B., Kalmár, T.: Decarbonization Potential of Energy Used in Detached Houses-Case Study. *Buildings*. 14 (6), 1-19, 2024. EISSN: 2075-5309.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings14061824>
IF: 3.1
4. Kalmár, T., **Bodó, B.**, Kalmár, F.: Heat losses of low-temperature radiant heating systems. *Energy Rep*. 10, 1982-1995, 2023. ISSN: 2352-4847.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egy.2023.08.090>
IF: 4.7
5. **Bodó, B.**, Kalmár, F.: Analysis of primary energy use of typical buildings in Hungary. *EEMJ*. 13 (11), 2725-2731, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF: 1.065





List of other publications

Hungarian books (1)

6. **Bodó, B.:** Hőenergia-ellátás. Debreceni Egyetem, Debrecen, 134 p., 2014. ISBN: 9789634737896

Hungarian book chapters (2)

7. Szöllősy, Z., **Bodó, B.:** Offszet nyomógépek belső légállapotának befolyása a papírra = Offset Printing Machines Inner Air Conditions Affect on Paper.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 338-343, 2018. ISBN: 9789637064371
8. **Bodó, B.:** ITSH irodaház gépészete és energetikai bemutatása.
In: Kutatások, kísérletek, eredmények szekciók előadásai az Értékkeremtő Épületgépészet Konferencia és Kiállítás Gödöllő 2012. május 24-25.. Írták: Verbai Zoltán, Szabó Gábor, Dani Rusirawan, Farkas István, Ördögné Miklós Mária, Bodó Béla, Kocsány Ivett, Seres István, Jasper Andor, Csöppenszky Gábor, Demeter Viktória, Barótfi István, Dodog Zoltán, [S.n.], Gödöllő, 52-61, 2012. ISBN: 9789632692876

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (6)

9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. **Bodó, B., Verbai, Z.:** Nagyméretű napkollektoros rendszerek tervezésével és üzemeltetésével kapcsolatos kérdések.
Magyar épületgépészet. 63 (7-8), 12-15, 2014. ISSN: 1215-9913.





Foreign language scientific articles in international journals (1)

15. **Bodó, B.**, Béni, E., L. Szabó, G.: A Facility's Energy Demand Analysis for Different Building Functions.
Buildings. 13 (8), 1-18, 2023. EISSN: 2075-5309.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings13081905>
IF: 3.1

Other journal articles (2)

16. **Bodó, B.**: Oktatási épületek energetikai vizsgálata.
Magyar épületgépészet. 2012 (5), 3-7, 2012. ISSN: 1215-9913.
17. **Bodó, B.**, Tóth, G.: Pneumatikus csőpostahálózat a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum területén.
Magyar épületgépészet. 12, 14-16, 2012. ISSN: 1215-9913.

Hungarian abstracts (5)

18. **Bodó, B.**: Napkollektoros rendszerek létjogosultsága napjainkban energetikai szempontból.
In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2024: Konferencia előadások kivonatai. Szerk.: Dömötör Csaba, MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, Miskolc, 74-74, 2024. ISBN: 9789637064456
19. **Bodó, B.**, Kalmár, F.: Geotermikus távfűtés egy alföldi kisvárosban.
In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2023 : Konferencia előadások kivonatai. Szerk.: Békési Bertold, MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, Szolnok, 15-15, 2023. ISBN: 9789637064449
20. 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, 66-76, 2018. ISBN: 9789637064371
21. 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





22. 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

Total IF of journals (all publications): 22,465

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 19,365

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

14 November, 2025

