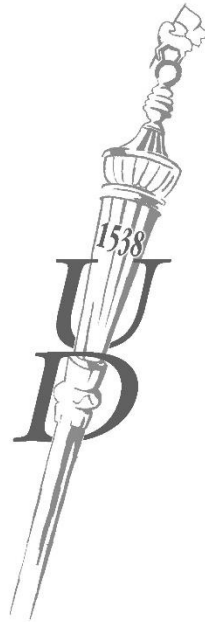


Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**ÉPÜLETEK FŰTÉSI ENERGIAIGÉNYÉNEK VIZSGÁLATA
ANALYSIS OF BUILDING'S HEATING ENERGY DEMAND**

Verbai Zoltán

Témavezető: Dr. Kalmár Ferenc



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományi Doktori Iskola
Debrecen, 2016

1. Bevezetés

Ma a Magyarországon felhasznált összes energia 40 százalékát az épületeinkben használjuk el, melynek mintegy kétharmada a fűtést és hűtést szolgálja. A közel 4,3 millió lakást kitevő lakóépület állomány 70 százaléka nem felel meg a korszerű funkcionális műszaki, illetve hőtechnikai követelményeknek, az arány a középületek esetében is hasonló, (Nemzeti Energiastratégia 2030).

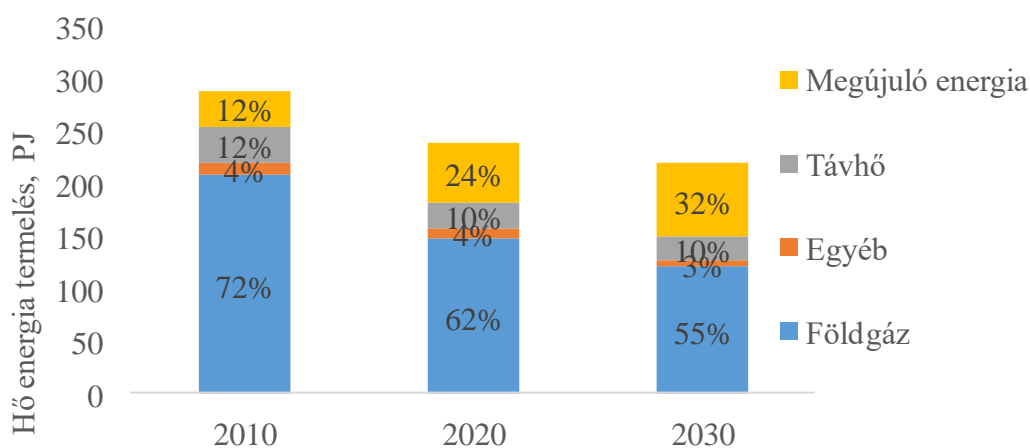
A háztartások energiafelhasználásának közelítőleg 80%-a a hőcélú felhasználás (fűtés, használati melegvíz illetve főzés), amely nagyrészt vezetékes földgázzal üzemelő egyéni fűtőkészülékekkel, tűzifa használaton, illetve közösségi távhő rendszereken keresztül kerül kielégítésre

A Nemzeti Energiastratégia alkotói a hőenergia felhasználás szempontjából a háztartási és tercier szektor esetében az épületenergetikai programok függvényében három forgatókönyvet vizsgáltak:

1. *BAU*: nincsenek energiahatékonysági programok, így a teljes hő célú energiafelhasználás kismértékű növekedése várható 2030-ig;
2. *Referencia*: 84 PJ megtakarítás 2030-ra;
3. *Policy*: 111 PJ megtakarítás 2030-ra.

A „Referencia” lakossági és tercier hő felhasználás esetén a megújuló energiaforrás aránya ebben a szegmensben 32%, ami a teljes hőfelhasználásra nézve 25%-ot jelent. Az olaj és szén alapú fűtés gyakorlatilag megszűnik (1.1 ábra).

A „Zöld forgatókönyv” ambiciózusabb megtakarításokkal és megújuló energiaforrás aránnyal számol, amelyek jelen költségvetési politika mellett inkább tükröznek potenciált, mint megvalósítható opciót.



1.1 ábra: Magyarország várható lakossági és tercier hőfelhasználása a referencia épületenergetikai forgatókönyv alapján
Forrás: REKK (Nemzeti Energiastratégia 2030)

Ebbe az irányvonalba illeszkedik a 7/2006 TNM Rendeletben rögzített követelmények 40/2012 BM Rendelettel, valamint 20/2014 BM Rendelettel történő módosítása is, (7/2006 TNM Rendelet; 40/2012 BM Rendelet; 20/2014 BM Rendelet). A Rendeletek egyre alacsonyabb értékeket rögzítenek követelményként az új, vagy felújított épületekre vonatkozóan. Úgy a tanúsítás, mint az esetleges energetikai auditok során viszont továbbra is kiemelt fontosságú a fűtési energiafogyasztás lehető legpontosabb meghatározása. Ez természetesen csak a meteorológiai adatok pontos ismeretében lehetséges. Bonyolult számítógépes szimulációs programok segítségével (TRNSYS, EnergyPlus, IDA...) hosszadalmas adatbeviteli procedúra

után nagyon pontos adatokat is kaphatnánk, ha megfelelő meteorológiai adatok is állnának rendelkezésre (külső száraz és nedves léghőmérséklet, napsugárzás). A felsorolt programok esetében egy referencia évet alkalmaznak, ami egy adott meteorológiai állomáson mért adatokból kerül meghatározásra. Ez természetesen befolyásolja a számított adatok pontosságát. Előfordulhat, hogy a legnagyobb pontossággal elvégzett számítások is olyan eredményekhez vezetnek, melyeknek a valóságtól távol állnak. A hőfokhíd alkalmazása egy egyszerűsített viszonylag jó pontosságú számítási lehetőség kínál a fűtési energiafogyasztás meghatározására. A felsorolt rendeletek is ezt a módszert alkalmazzák, így ez a módszer érvényesül a rendeletek számítási módszere alapján készült számítógépes programokban is (Winwatt, Archiphysics, Auricon, Belső udvar, stb). Ennek megfelelően a hőfokhíd alapú számítási módszer jelenleg a legelterjedtebb Magyarországon.

A doktori tanulmányaim kezdetén felmerült a kérdés, hogy mennyire pontos a jelenleg alkalmazott hőfokgyakorisági görbe, mely alapján készülnek a hőfokhíd számítások? Ez az a kérdés, amely kutatásaim vezérfonalát képezte az elmúlt öt évben. A kérdés fontosságát alátámasztja az a tény is, hogy a tényleges fogyasztási adatok alapján meghatározott hőfokhíd és fűtési határhőmérséklet értékek számos esetben eltérnek az elméleti úton meghatározott hőfokhíd és fűtési határhőmérséklet értékektől (Csoknyai és Csoknyai, 2013; Csoknyai és Csoknyai, 2014a; Csoknyai és Csoknyai, 2014b).

A legfontosabb és egyben legnehezebb feladat a lehető legtöbb évre összegyűjteni a hőmérsékletértékeket, ezekből olyan adatbázist készíteni, amiből az ismert matematikai módszerek segítségével hőfokgyakorisági görbét lehet készíteni, illetve ez alapján hőfokhidat számolni.

2. A kutatás célkitűzései

- egy adott meteorológiai állomáson mért adatok alapján különböző időintervallumokra meghatározni a hőfokgyakorisági görbét és azt összehasonlítani a jelenleg alkalmazott hőfokgyakorisági görbével;
- Magyarország területén több nagyvárosra vonatkozóan meghatározni a fűtési hőfokhidak értékét és megvizsgálni az eltéréseket a jelenleg alkalmazott hőfokhíd értékektől;
- megvizsgálni a hőfokhidak éves változásának hatását a fűtési energiafogyasztásra;
- számítások és mérések alapján megvizsgálni a fűtési határhőmérséklet alakulását különböző hőtároló tömeggel rendelkező épület esetében;
- a rendelkezésre álló adatbázis alapján meghatározni különböző biztonsági szinten a méretezési külső hőmérséklet értékét.

Vizsgálataimhoz a Debrecen-Kismacs Agrometeorológiai állomás 1964-2012 közötti külső léghőmérséklet adatait használtam, illetve a CARPATHClim adatbázis adatait dolgoztam fel. Az adatfeldolgozás Microsoft Excel és Origin 8 szoftver segítségével történt. A hőveszteség és energetikai számítások egy részét Bausoft Winwatt program segítségével végeztem. Alkalmaztam az MSZ EN ISO 13790, MSZ EN 15251 szabványok előírásait. A méréseimet a Debreceni Egyetem PASSOL Laboratóriumában végeztem. A hőmérsékletméréshez KIMO adatgyűjtőt alkalmaztam.

3. Új eredmények

1. Tézis

Magyarország 24 településére vonatkozóan a rendelkezésemre álló külső léghőmérséklet adatok alapján meghatároztam a hőfokhíd értékeit. A 20 °C belső referencia és 12 °C határhőmérsékletek mellett számított hőfokhíd értékek -14,09 - +2,96%-al eltérnek a jelenleg alkalmazott hőfokhíd értéktől.

A CarpathClim adatbázis adatai alapján számított hőfokhíd értéket összevettem a Debreceni Egyetem Agro-Meteorológiai állomáson mért órai átlaghőmérsékletek alapján meghatározott hőfokhíd értékkel és 3,37% eltérést állapítottam meg.

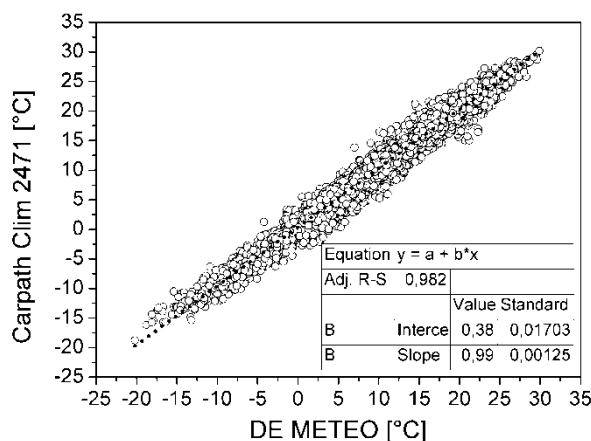
Elvégeztem az alapstatisztikákat a két adatbázis összehasonlítására. Mint két adatbázisból az 1981-2010 közötti intervallumot vizsgáltam. A 3.1 táblázat a két mérőállomás napi középhőmérséklet értékeire elvégzett alapstatisztikák eredményeit mutatja.

3.1 táblázat DE METEO CarpathClim-2471

	DE METEO-2471 ABS	DE METEO-2471
Min	0,00	-6,82
Max	6,82	6,17
Átlag	0,93	-0,33

A táblázatban látható, hogy a DE METEO és a 2371 mérőpont abszolút értékének minimum és maximum értékekben 6,82 °C eltérés tapasztalható. Továbbá látható az is, hogy az átlag eltérés 0,93 °C. Ez az eltérés a két mérőállomás nem azonos földrajzi helyének vagy a különböző napi átlag hőmérséklet meghatározásnak tudható be.

A 3.1 ábrából jól látható, hogy a pontthalmaz homogenitást mutat. Az ábrán látható továbbá a trend vonal és a vonalat leíró függvény.



3.1 ábra DE METEO Carpath Clim-2471 pontdiagramja

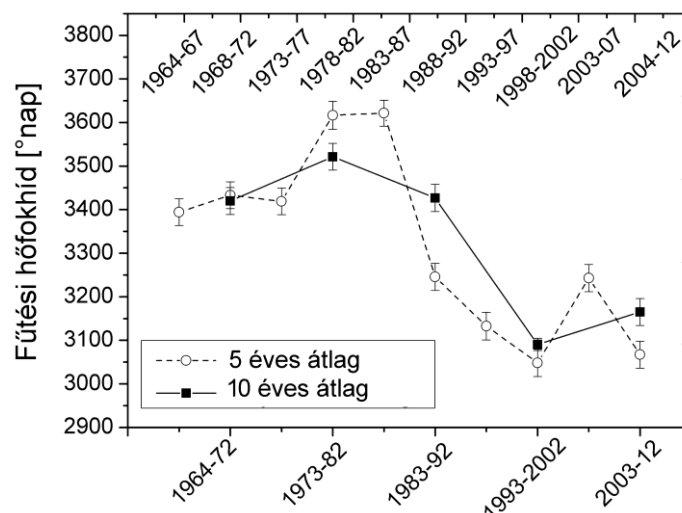
2. Tézis

Megállapítottam, hogy a fűtési energiafogyasztást célzó energetikai befektetések megtérülési idejének számításánál, az állandó hőfokhíddal történő számítás, jelentős eltérést okoz a valós és a számított megtérülési idő értékei között.

Megvizsgáltam 1964-2012 évek adatai alapján a hőfokhíd változást pentádokra és dekádokra vonatkozóan. megállapítottam, hogy a hőfokhíd változás az energetikai felújítások megtérülési idejének számításánál. Debrecen város esetében akár 22% eltérést is eredményezhet, az állandó hőfokhíddal történő számításhoz viszonyítva.

Debrecen város esetében kimutattam a városi hősziget hatását a fűtési hőfokhídra és megállapítottam, hogy a városi hősziget miatt a fűtési energiafogyasztás csökken és ezzel szignifikánsan növekszik a felújításra fordított befektetési költségek megtérülési ideje.

Egy épületfelújítás befektetési költségeinek a megtérülési ideje (a felújítás mélységétől függően) akár 20-40 év is lehet. Véleményem szerint ez az időszak túl hosszú ahhoz, hogy egyetlen hőfokhíd értékkel számoljunk.



3.2 ábra Hőfokhíd változása 1964-2012 között

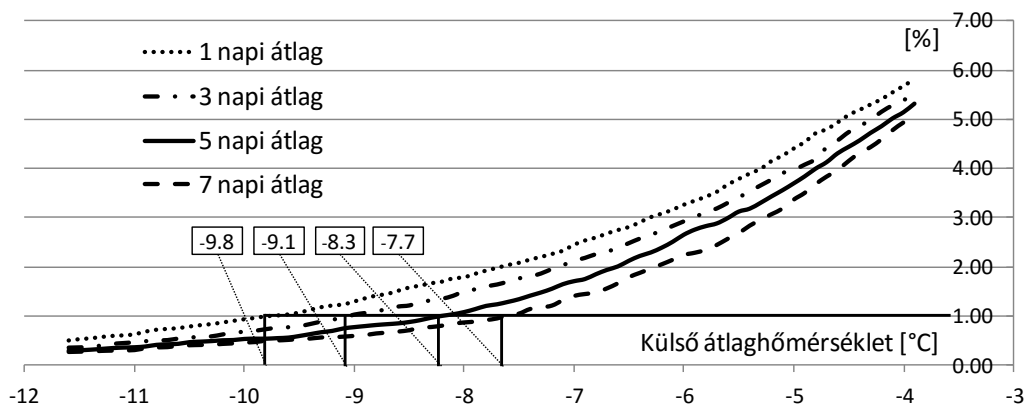
Az ábra alapján megállapítható, hogy az épületenergetikai felújítások megtérülési idejének számításánál, amikor több évet (akár több mint egy évtizedet) kell figyelembe venni, ha egy hőfokhíd értéket alkalmaznak a számított és a valós megtérülési idő között eltérések léphetnek fel. A számítások során tehát elemezni kell az adott településre jellemző hőfokhíd változást és ezt a változást figyelembe kell venni a megtérülési idő meghatározásánál.

3. Tézis

$p=0,5\%$, illetve $p=1\%$ mellett, 23 magyarországi településre vonatkozóan meghatároztam a fűtési hőszükséglet számításnál alkalmazható tervezési külső hőmérséklet értékét különböző időszakok átlaghőmérsékletei alapján.

Statisztikai módszert dolgoztam ki a fűtési rendszerek méretezési külső hőmérsékletének meghatározására az épületek időállandóját és a kockázati szintet figyelembe véve és azt alkalmaztam 23 magyarországi település tervezési adatainak meghatározására.

A külső napi átlaghőmérsékletek hosszú távú elemzése megbízható és a költségek szempontjából gazdaságos tervezési hőmérséklet értékek meghatározását teszi lehetővé. A javasolt tervezési hőmérsékletet a sűrűségfüggvény alapján határozhatjuk meg p megbízhatósági szinten. A p értékét az előírások szerint kell felvenni. Az elemzés során 24 cella esetében meghatároztuk a hőmérsékletek gyakoriságának eloszlását 1-nap, 3-nap, 5-nap és 7-nap átlaghőmérsékleteire vonatkozóan. A függvények lehetővé teszik a külső méretezési hőmérséklet meghatározását bármilyen p érték mellett 0% és 100% között. Az 3.3 ábrában például láthatóak a kumulált átlaghőmérséklet gyakoriságának eloszlásai és az $p=1\%$ -nak megfelelő hőmérséklet értékek a „2572” (Debrecen) cella esetében.



3.3 ábra Tervezési hőmérsékletek $p=1\%$ mellett 1-nap, 3-nap, 5-nap, és 7-nap időintervallumra meghatározott átlaghőmérsékletek alapján a „2572” cellában

4. Tézis

Az épületek időállandóját és a kockázati szintet figyelembe véve megállapítottam, hogy tipikus családi házak, illetve társasházak esetében a pontatlan méretezési hőmérséklet a

- a kazán szezonális hatásfokában 0,55-1,25%,
- a fűtési rendszer beruházási költségeiben 4-14% eltéréshez vezet

A szakaszosan üzemeltetett fűtési rendszerek esetében, magasabb külső méretezési hőmérsékletek mellett, a megtakarítható energiamennyiség csökken. A megtakarított energiamennyiség csökkenésének mértéke a használati idő függvénye.

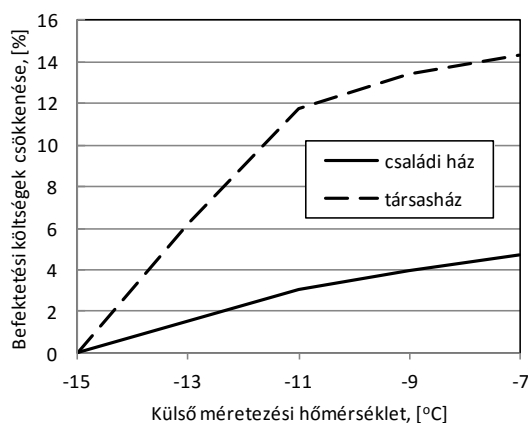
Ha megvizsgáljuk a külső napi átlaghőmérsékletek gyakoriságának eloszlását a téli időszakban, akkor megállapíthatjuk, hogy a fűtési idény 80%-ban a beépített kazán névleges teljesítményének kevesebb, mint 50%-ra van szükség. Ennek megfelelően, ha a fűtési energiafogyasztás vonatkozásába gazdaságossági számításokhoz szükséges a kazán hatásfok, akkor nem a névleges terhelés melletti értéket kell figyelembe venni, hanem a teljes fűtési idényre kell meghatározni a berendezés hatásfokát. A fűtési idényre vonatkozó kazánhatásfok

értékeit, különböző kazántípusok és külső méretezési hőmérsékletek mellett az 3.2 táblázat tartalmazza.

3.2 táblázat Kazánhatásfok a fűtési idényben, [%]

t_e , [°C]	családi ház			társasház		
	hagyományos	alacsony hőm.	kondenzációs	hagyományos	alacsony hőm.	kondenzációs
-15	87,22	93,82	101,25	87,06	93,80	101,39
-14	87,33	93,77	101,06	87,21	93,75	101,17
-13	87,43	93,74	100,87	87,32	93,70	100,98
-12	87,55	93,64	100,63	87,43	93,61	100,74
-11	87,66	93,58	100,42	87,55	93,55	100,52
-10	87,77	93,47	100,11	87,66	93,46	100,23

A -15 °C külső hőmérsékletre méretezett rendszert véve viszonyítási alapnak, az 3.4 ábrában bemutatásra kerül a fűtési rendszer befektetési költségeinek a csökkenése nagyobb külső hőmérsékletek mellett (két fokként növelve a méretezési külső hőmérséklet értékét).



3.4 ábra Befektetési költségek csökkenése a vizsgált két épületnél különböző külső tervezési hőmérsékletek mellett

5. Tézis

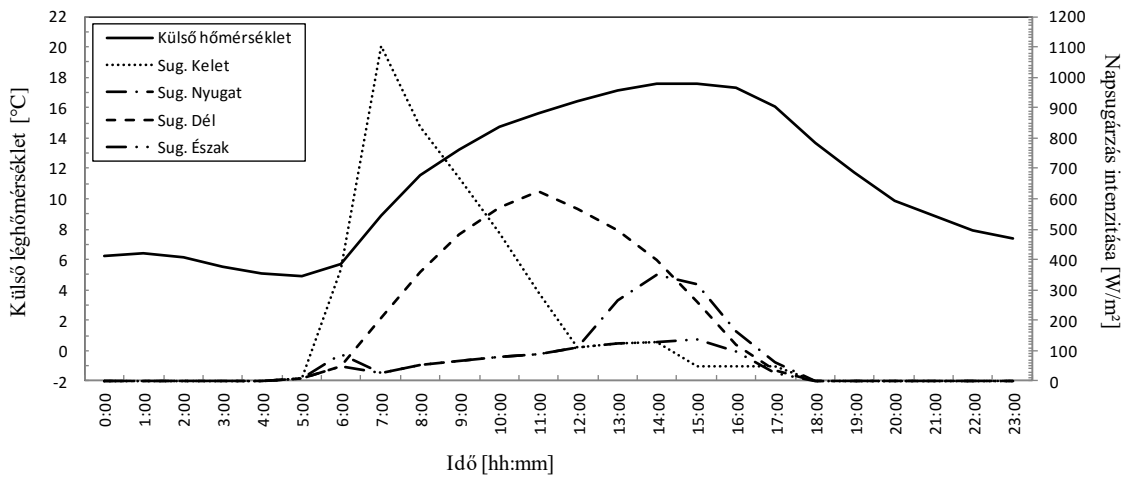
5a. Méréseket végeztem a Debreceni Egyetem PASSOL laboratóriumában, annak érdekében, hogy megvizsgáljam a belső léghőmérséklet alakulását március-április hónapokban 2011-2014 években. A vizsgált négy év adatai alapján, 12 nap adatait figyelembe véve meghatároztam egy „referencia” nap külső óránkénti hőmérsékleteinek, valamint a függőleges felületre érkező sugárzás intenzitás óránkénti értékeinek értékeit.

5b. Adott ablakméret és hőtároló tömeg mellett a fűtési határhőmérséklet függ az adott helyiség tájolásától. A referencia nap esetében a legalacsonyabb fűtési határhőmérséklet K-i tájolásra adódik, ezt közvetlenül követi a D-i tájolás. A legmagasabb fűtési határhőmérséklet É-i tájolás esetében adódik, míg a második legmagasabb értéket Ny-i tájolás esetében kaptam. Megállapítottam, hogy egy adott ablakméret és tájolás mellett, minél nagyobb a hőtároló tömeg annál kisebb a fűtési határhőmérséklet. Azonos tájolás és hőtároló tömeg mellett a nagyobb

ablakméret, $p=0,05$ szignifikancia szint mellett, szignifikánsan kisebb fűtési határhőmérsékletet eredményez.

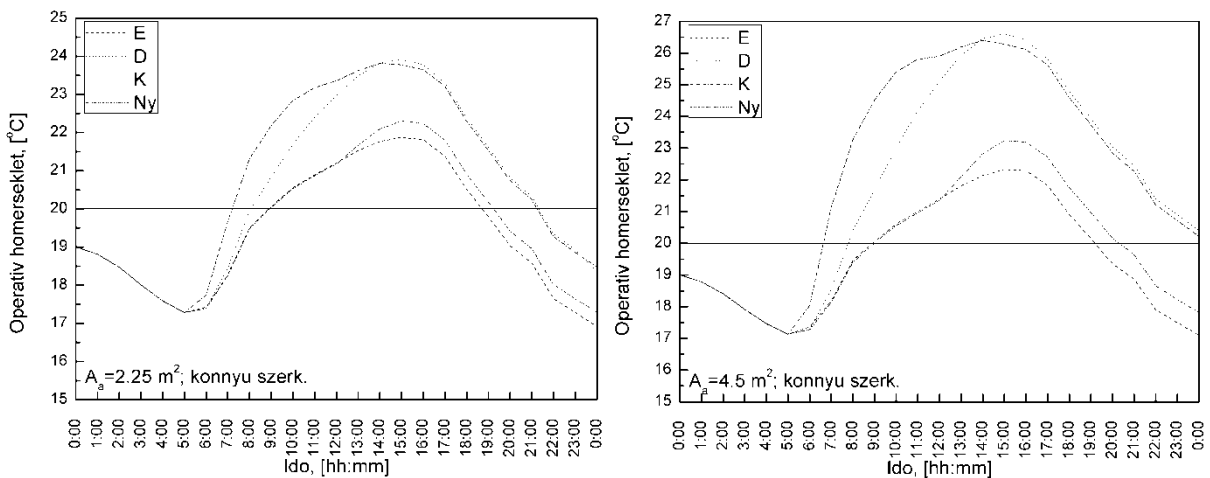
5c. A vizsgált referencia nap adatai és a felvett helyiség paramétereinek alapján meghatároztam a fűtési energiaigényt is. Megállapítottam, akár 11%-os eltérés is jelentkezhet a fűtési energiaigények között. A legnagyobb eltérések a nagyobb ablakméret mellett - É-i és K-i tájolások között adódtak a nehéz szerkezet esetében.

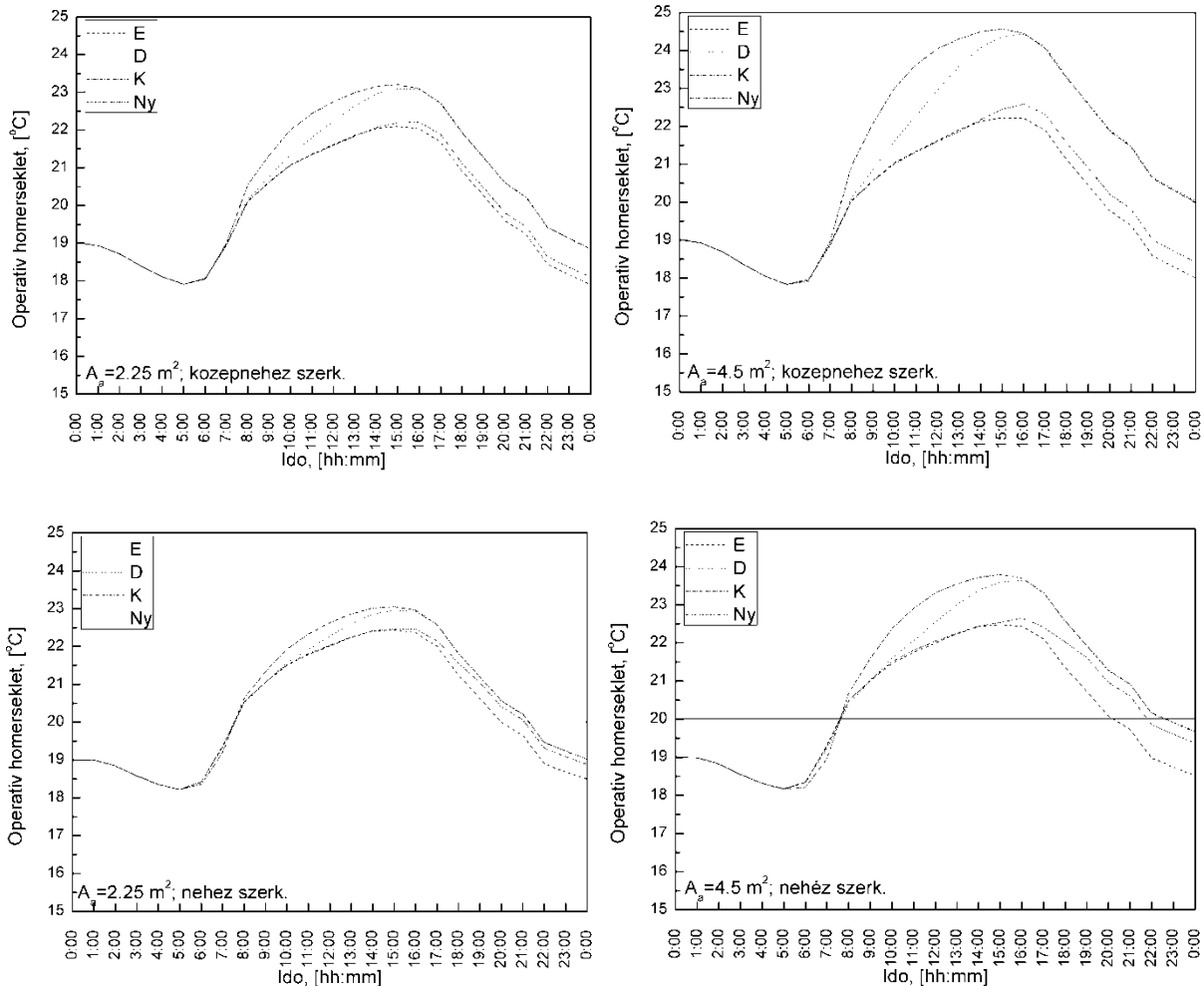
A külső meteorológiai paraméterek értékei alapján (12 nap adatai, 2011-2014 között) elkészítettem egy referencia nap külső hőfokmenetrendjét és a napsugárzás menetrendet mindegyik fő égtájra vonatkozóan (3.5 ábra).



3.5 ábra referencia nap külső hőmérséklete és a napsugárzás intenzitása

Figyelembe véve a referencia nap külső hőmérséklet és sugárzás intenzitás adatait, valamint egy embert hőleadását feltételezve belső hőterhelésként, meghatároztam az operatív hőmérséklet alakulását a helyiségben, a transzparens szerkezet különböző tájolásai esetében (6.10 ábra).





6.10 ábra Operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségekben tájolás szerint

Megállapítható, hogy a hőtároló tömegtől és az ablakmérettől függetlenül a legmagasabb operatív hőmérsékletek, valamint a leghosszabb olyan időszak, amikor az operatív hőmérséklet meghaladja az elvárt 20 °C-t sorrendben Keleti, Déli, Nyugati és Északi tájolások mellett alakulnak ki.

4. Összefoglalás

Magyarországon az épületek össz-energiafogyasztásának jelentős részét teszi ki a fűtésre fordított energiahányad. Ennek megfelelően úgy az új épületek tervezése-, mint a meglévő épületek felújítása során kiemelt figyelmet kell fordítani a fűtési rendszerek méretezésére, valamint a fűtési energiafogyasztás meghatározására. Mivel a fűtési energiafogyasztás számításának egyik legelterjedtebb módszere a hőfokhíd értékét alkalmazza, kiemelt jelentőséget tulajdonítottam a hőfokgyakorisági görbe, valamint a hőfokhíd megállapításának. Ehhez természetesen szükséges a belső referencia hőmérséklet, valamint a napi külső átlaghőmérsékletek meghatározása. Fontos továbbá az épület fűtési határhőmérsékletének minél pontosabb ismerete, mely alapján megállapítható a fűtési idény hossza. A fűtési

határhőmérséklet számítási összefüggésében a hőnyereségek és a hőveszteségek mellett kiemelten fontos szerepet játszik a hőnyereségek hasznosítási foka. Megvizsgáltam, hogy a nemzetközi szakirodalomban milyen összefüggéseket alkalmaznak a hőnyereségek hasznosítási fokának számításához és a kapott eredmények alapján a Yohanis-Norton összefüggést alkalmaztam a számításaim során.

A Debreceni Egyetem Agro-Meteorológiai állomás (Kismacs) rendelkezésemre bocsájtotta az 1964-2012 között mért órai külső átlaghőmérséklet adatokat. Ezen adatok alapján megvizsgáltam az utóbbi 50 évben az éves hőfokgyakorisági görbék alakulását és ezek alapján meghatároztam a hőfokhíd értékeket is. Debrecen város vonatkozásában megvizsgáltam, hogy a városi hőszigetnek milyen hatása lehet a hőfokhídra és ez által a fűtési energiaigényre.

A CarpathClim adatbázisban megtalálhatóak a napi minimum és maximum értékek, melyek alapján napi átlaghőmérsékleteket határoztam meg. Ezeket összevettem a Debreceni Egyetem Agro-Meteorológiai állomás (Kismacs) által rendelkezésemre bocsájtott adatokkal és megállapítottam, hogy a két adatbázis alapján 30 éves időszakra meghatározott hőfokhíd értékek között 3,37% az eltérés. A továbbiakban a CarpathClim adatbázis külső hőmérséklet adatait felhasználva meghatároztam Magyarország 25 településére vonatkozóan a hőfokhíd értékeit. A számított értékeket összevettem a Macskásy által 1901-1930 időszak adatai alapján számított hőfokhíd értékekkel. Egy esettanulmány keretében, egy tipikus családi ház geometriai és hőtechnikai adatait véve alapul, három településre vonatkozóan megvizsgáltam, hogy milyen eltérés jelentkezik a becsült fűtési földgázfogyasztásban ha az általam meghatározott hőfokhíd értékeket vesszük figyelembe.

Az épületek hőtároló tömege és időállandója jelentős szerepet játszik a belső léghőmérséklet ingadozásában. Ennek megfelelően megvizsgáltam, hogy Magyarországon az elmúlt évtizedekben melyek voltak a legszélesebb skálán alkalmazott építőanyagok és figyelembe véve a hőtechnikai követelményeket is megvizsgáltam, hogy egy átlagos geometriai paraméterekkel rendelkező helyiség időállandójára milyen értékek adódnak. A CarpathClim adatai alapján számolt napi átlaghőmérsékleteket figyelembe véve $p=0,25\%$, illetve $p=5\%$ között meghatároztam a napi átlaghőmérsékletek gyakorisági függvényeit: 1 nap átlaga, 3 nap átlaga, 5 nap átlaga és 7 nap átlaghőmérsékletét figyelembe véve. Ezeket az időintervallumokat figyelembe véve javaslatot tettem új száraz külső tervezési hőmérsékletekre 23 magyarországi településre vonatkozóan. Esettanulmányok keretében megvizsgáltam, hogy miként alakulnak a befektetési költségek, a kazánok szezonális hatásfoka valamint a szakaszos fűtéssel elérhető energiamegtakarítás egy tipikus családi ház, illetve egy tipikus társasház esetében.

A Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékének PASSOL laboratóriumában méréseket végeztem annak érdekében, hogy megállapítsam hogyan alakul a belső hőmérséklet a transzparens szerkezet különböző tájolása mellett 2011-2014 március-április hónapokban. A mérések célja a fűtési határhőmérséklet vizsgálata volt. A mért adatokat feldolgoztam és összevettem az MSZ EN ISO 13790 szabvány által megadott számítási módszerrel meghatározott adatokkal. Két esetben (csak sugárzásos hőterhelés, illetve sugárzásos és belső hőterhelés) megállapítottam azokat az időszakokat, amikor a helyiségben az operatív hőmérséklet meghaladja a 20 °C értéket, illetve a 26 °C értéket. A vizsgált négy év adatai alapján, 12 nap adatait figyelembe véve meghatároztam egy „referencia” nap külső órai

hőmérsékleteinek, valamint a függőleges felületre érkező sugárzás intenzitás órai értékeinek értékeit.

A referencia nap adatait figyelembe véve, mindegyik fő égtáj esetében, különböző ablakméret és hőtároló tömeg mellett megvizsgáltam és összehasonlítottam az operatív hőmérséklet alakulását, meghatároztam a hőnyereségek hasznosításai fokának órai adatait, valamint napi átlagértékét is. Napi átlagadatok alapján meghatároztam az egyes helyiségek esetében a fűtési határhőmérséklet értékeit, majd a 2008-2012 évek alapján számolt hőfokgyakorisági görbe alapján megállapítottam mind a 24 esetben a hőfokhíd, valamint a fűtési energiaigény értékeit. A számításokat elvégeztem újabb 24 esetre is ($U_a=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$), ám ez nem vezetett szignifikáns eltérésekhez. Megállapítottam, hogy a vizsgált 24 esetre meghatározott fűtési energiaigény értékek között akár 11% eltérés is kialakulhat. A legmagasabb fűtési energiaigény értékek É-i tájolás, nagy ablakméret és könnyű szerkezet esetében jelentkeztek. Adott ablakméret és hőtároló tömeg mellett a D-i és K-i tájolás vezet a legalacsonyabb fűtési energiaigényekhez. Adott ablakméret és tájolás mellett a nagyobb hőtároló tömeggel érhetünk el kisebb energiaigényt.



Nyilvántartási szám: DEENK/148/2016.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Verbai Zoltán
Neptun kód: K48Z6W
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10035595

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

1. **Verbai, Z.**, Kocsis, I., Kalmár, F.: Outdoor dry bulb heating design temperatures for Hungary.
Energy. 93 (2), 1404-1412, 2015. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.050>
IF:4.844 (2014)
2. **Verbai, Z.**, Lakatos, Á., Kalmár, F.: Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day.
Energy. 76, 780-787, 2014. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.075>
IF:4.844
3. **Verbai, Z.**, Lázár, I., Kalmár, F.: Heating degree day in Hungary.
Environ. Eng. Manag. J. 13 (11), 2887-2892, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF:1.065





További közlemények

Magyar nyelvű könyv(ek) (2)

4. **Verbai Z.**: Hőenergia-fejlesztés. Debreceni Egyetem, Debrecen, 137 p., 2014. ISBN: 9789634737889

5. **Verbai Z.**, Kalmár T., Csáky I., Kalmár F.: Épülettechnikai rendszerek és rendszerelemek. TERC Kft., Budapest, 212 p., 2013. ISBN: 9789639968646

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (3)

6. **Verbai Z.**: Gáztechnika.

In: Épülettechnikai rendszerek és rendszerelemek. Írták: Verbai Zoltán, Kalmár Tünde, Csáky Imre, Kalmár Ferenc, TERC Kft., Budapest, 165-214, 2013. ISBN: 9789639968646

7. **Verbai Z.**: Középület fűtése magas hőmérsékletű ivóvízhálózatra csatlakoztatott hőszivattyúval.

In: Kutatások, kísérletek, eredmények [elektronikus dokumentum]. 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, 3-10, 2012. ISBN: 9789632692876

8. **Verbai Z.**: Egészségügyi létesítmény megújuló energiafelhasználásának vizsgálata:[Geotermikus hőenergia hőhasznosítása a balneológiában II.].

In: Korszerű gyakorlati épületgépészet. Írták: Barna Lajos, Barótfi István, Bánhidi László, Chappon Miklós, Cséki István, Csoknyai István, Csöppenszky Gábor, Dési Albert, Goda Róbert, Kajtár László, Kovács Károly, Magyar Tamás, Magyar Zoltán, Ronkay Ferenc, Szánthó Zoltán, Temesvári Jenő, Várfalvi János, Virág Zoltán, Verlag Dashöfer, Budapest, 1-7, 2012. ISBN: 9789639313743





Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

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

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

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 10,753

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 10,753

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

Debrecen, 2016.06.14.



1. Introduction

Nowadays, 40 percent of all energy consumed in Hungary is consumed in buildings, two-thirds of which goes to heating and cooling. 70 percent of the approximately 4.3 million Hungarian homes fail to meet modern functional technical and thermal engineering requirements, with a similar ratio for public buildings (Hungarian National Energy Strategy 2030).

Heat (space heating, hot water supply and cooking) accounts for about 80 percent of household energy consumption, supplied mainly through individual mains natural gas-powered heating apparatuses, firewood and communal district heating systems.

As far as the utilisation of heat energy is concerned, three scenarios have been examined for the household and tertiary sectors, depending on the building energy programs:

a) BAU: no energy efficiency programs, resulting in a slight increase of the total heat utilisation of energy up to 2030

b) Reference: a saving of 84 PJ up to 2030

c) Policy: a saving of 111 PJ up to 2030

In the case of ‘Reference’ household and tertiary heat energy consumption, the share of renewable energy sources in the segment is 32 percent, i.e. 25 percent for overall heat energy consumption. Oil and coal-based heating will in essence cease (Figure 1.1).

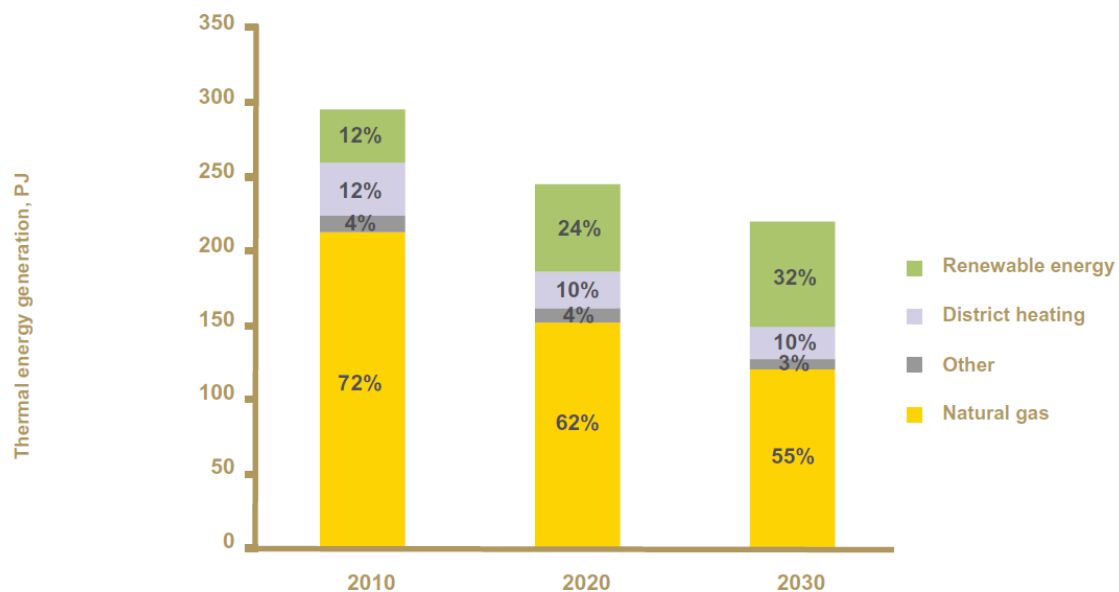


Figure 1.1 Envisaged household and tertiary heat energy consumption in Hungary, based on the “Reference” building energy scenario

(Source: Regional Centre for Energy Policy Research)

The ‘Green’ scenario reckons with more ambitious savings and a higher share of renewable energy sources which, however, appear to be a potential rather than a realistic option under the current fiscal policy.

The 7/2006 Building Energy Performance Regulation and its revisions (40/2012 Decree, 20/2014 Decree, 39/2015 Decree) show a strong correlation with the energy saving goals in the

building sector. The energy requirements are more severe with new and refurbished buildings. For energy certification or energy audits it is extremely important the precise calculation of the energy need for heating. Using complex simulation programs (TRNSYS, EnergyPus, IDA,...) after a laborious data uploading process correct results can be obtained. However, accurate meteorological data are required. Usually, these complex simulation programs are using the meteorological data of a reference year. These data are measured on a certain location. For other locations, the calculated energy demand can show important differences in comparison to the reality.

The degree day method can be successfully used for simplified calculation of the energy demand for heating. The aforementioned Regulation recommends the utilization of the degree day method, so all the algorithms elaborated for Energy Certification of buildings are based on this method. The Winwatt, Archipysics, Auricon, etc. calculation programs, widely used in Hungary, are using the degree day method for calculation of the energy need for heating.

At the beginning of my PhD studies, we rose the question: how precise is the degree day curve used currently in Hungary? All my research focused on this question in the past five years. The importance of this question is emphasised by the fact that in most of cases the energy consumption data for heating are not matching with the predicted data.

The most important task was to build up a database with outdoor temperatures for different locations, for the last decades and to build up the degree day curve for these locations. Using the degree day curve the degree day value and the energy demand for heating can be determined.

2. The aims of the research

- using the temperature data measured by a certain meteorological observatory, the heating degree day values has to be determined for different periods of time. The new degree day values should be compared with the currently used degree day value. The variation in time of the degree day should be analysed.
- the degree day value has to be determined for different settlement in Hungary and the new values should be compared with the currently used degree day value. The error of the currently used calculations should be determined.
- analysis of the effects of the degree day variation of the energy need for heating.
- investigation of the balance point temperature for heating using deterministic and experimental methods, for buildings with different thermal mass.
- determination of new outdoor dry bulb design temperatures at different confidence levels.

I have used the temperature data measured at the Agro-meteorological Observatory Debrecen-Kismacs, and the data contained in the CARPATHCLIM database. For data processing I have used the Excel subroutines and the ORIFGIN LAB program. For heat demand and energy calculation I have used the Bausoft Winwatt software. Furthermore I have used the prescriptions of MSZ EN ISO 13790 and MSZ EN 15251 standards. Indoor temperature was measured using KIMO data logger.

3. New results

1. Thesis

The differences between the currently used degree day value and the calculated degree day values determined at 20 °C reference temperature and 12 °C balance point temperature are between -14.09% and +2.96%.

I have compared the degree day calculated based on the CARPATHCLIM database and the degree day calculated using the outdoor temperature data delivered by the Agro-Meteorological Observatory Debrecen and a difference of 3.37% was found.

First and foremost I made a statistical analysis and comparison of these two databases for Debrecen. For this comparison the period 1981-2010 was taken into consideration. The main results of the statistical analysis are presented in Table 3.1.

Table 3.1 DE METEO CarpathClim-2471

	DE METEO-2471 ABS	DE METEO-2471
Min	0,00	-6,82
Max	6,82	6,17
Mean	0,93	-0,33

The mean difference between the investigated data is 0.93 °C. This difference is caused probably by the fact that the geographical position is not quite the same and the calculation methodology of the daily mean temperatures is different. In Figure 3.1 can be observed that the data set shows homogeneity.

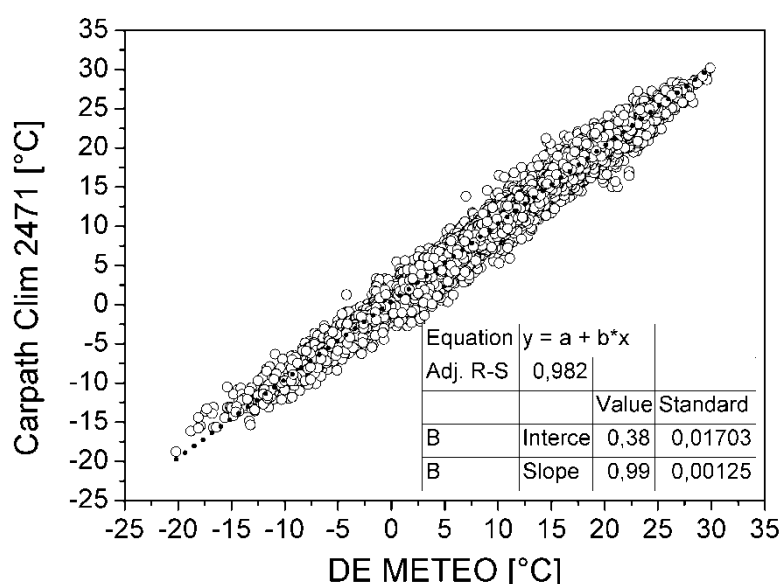


Fig. 3.1 Analysis of temperature data (CarpatCLIM-DE METEO)

2. Thesis

I have established that the calculation of payback time with constant degree day value leads to important differences between the predicted and real payback time values.

Based on the hourly dry bulb temperature records we got from Agro-Meteorological Observatory Debrecen for the period between 1964-2012, the degree day curves have been created for five decades. The curves obtained are shown in Figure 3.2.

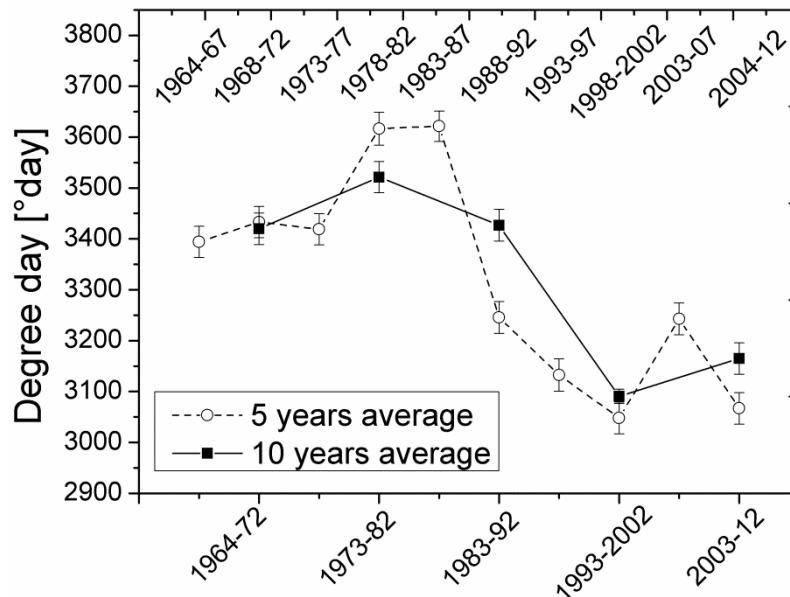


Fig. 3.2 Degree day variation between 1964-2012

The payback time of a building refurbishment, depending on the energy prices and the depth of interventions, can be 20-40 years. This period of time is too long for using a single theoretical value of degree day. In case of Debrecen the real payback time can exceed the calculated value with even 22%.

The dynamic of climate should be taken into account. The best solution is to combine the degree day variation of previous decades with regional climate models. There are different studies and reports related to European seasonal and annual temperature variability which give us useful and sufficient information on the trends of meteorological parameters variation

3. Thesis

For 23 Hungarian settlements, at $p=0.5\%$ and $p=1\%$ confidence level, I have established new dry bulb outdoor temperatures for heat demand calculation assuming the mean temperature values for different periods of time.

I have developed a statistic method usable to determine the design value of the outdoor dry bulb temperature, taking into account the time constant of different buildings.

The statistical analysis of the long term average outdoor dry bulb temperature data in a region can result in a cost effective and reliable outdoor design temperature for sizing of heating systems. The proposed outdoor design temperature is a p -percentile of the average dry bulb temperature frequency distribution, where the value of p is determined by the design policy.

The cumulative frequency distribution of the 1-day, 3-day, 5-day, and 7-day average dry bulb temperature in 25 regions are calculated in the investigation allowing us to give p -percentiles for any p between 0% and 100%. Figure 5 for instance shows the cumulated average dry bulb temperature frequency distributions and the 1-percentile values in the range $[-11.5^{\circ}\text{C}, -4^{\circ}\text{C}]$ belonging to the region '2572' (Debrecen).

Figure 3.3 shows the percentiles for the p values from the range $[0.25\%, 5\%]$ in the case of the 1-day, 3-day, 5-day, and 7-day average dry bulb temperature frequency distribution of the region '2572'. As it can be seen in the figure, the percentile values significantly depend on the number of day the average temperatures are calculated for. The difference between the percentile values calculated from the 1-day average dry bulb temperature and from the 3-day, 5-day, 7-day average dry bulb temperature can be seen in Figure 3.3.

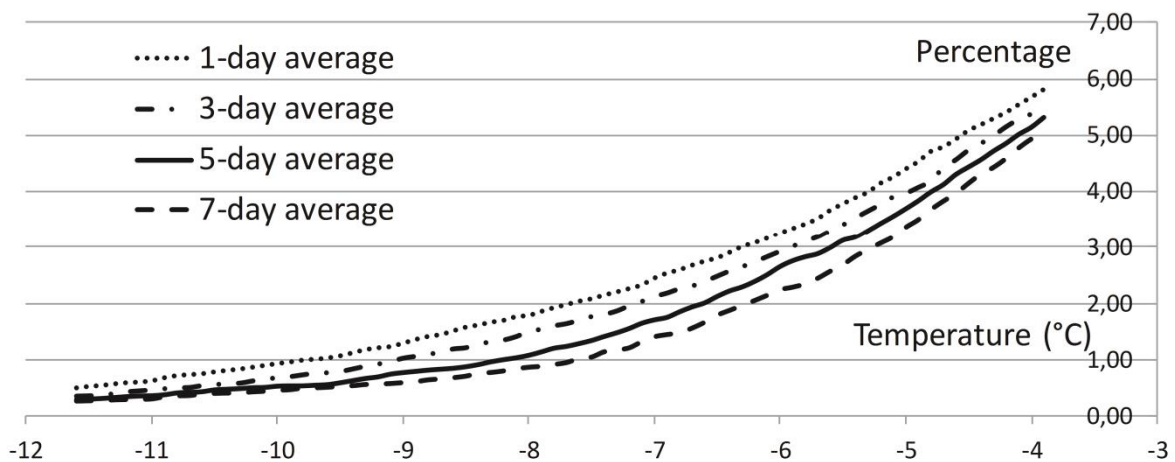


Fig. 3.3 1-percentiles related to the distribution of the 1-day, 3-day, 5-day, and 7-day average dry bulb temperature in the region '2572'

4. Thesis

Taking into consideration the time constant for typical single family houses and block of flats, I have established that the inaccurate outdoor design temperature leads to:

- 0.55-1.25% deviations of the boilers seasonal efficiency
- 4-14% deviations in the investment costs of the heating system.

The energy saving by intermittent operation of central heating system decreases at higher outdoor design temperature values. The grade of the decrease depends on the utilization time.

The efficiency was calculated based on the lower calorific value of the used natural gas. The seasonal efficiency values depending on the boiler type and outdoor dry bulb design temperature can be seen in Table 3.2.

Table 3.2 Seasonal boiler efficiencies, [%]

t_e , [$^{\circ}\text{C}$]	single family house			block of flats		
	traditional	low temp.	condensing	traditional	low temp.	condensing
-15	87.22	93.82	101.25	87.06	93.80	101.39
-13	87.43	93.74	100.87	87.32	93.70	100.98

-14	87.33	93.77	101.06	87.21	93.75	101.17
-11	87.66	93.58	100.42	87.55	93.55	100.52
-12	87.55	93.64	100.63	87.43	93.61	100.74
-10	87.77	93.47	100.11	87.66	93.46	100.23

The heat demand of the analysed buildings was determined for -11.6 °C (the proposed outdoor design temperature for Debrecen, calculated using the 1-day average outdoor temperatures). The decrease of the investment cost in percent for other design temperatures than -15 °C are shown by Figure 3.4.

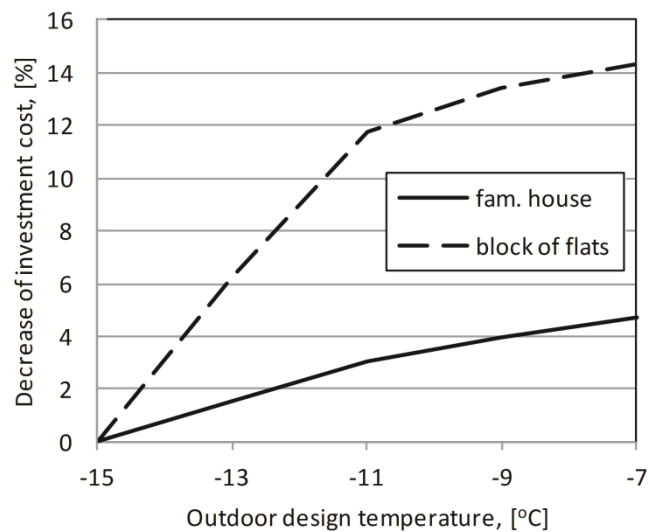


Figure 3.4 Investment cost of the central heating system at different outdoor design temperatures

It can be observed that the reduction of the investment cost is about three times higher in the case of the block of flats. Usually the boiler is chosen to provide the heat demand for heating and for preparation of domestic hot water. For this reason in case of the single family house the increase of the design temperature has a smaller effect on the investment costs.

5. Thesis

5.a In order to determine the indoor temperature variation in an unheated space, I have performed measurements in the PASSOL laboratory of the University of Debrecen in 2011-2014 years. Based on the meteorological data of the investigated years, using the data of 12 specific days, I have established the hourly variation of the outdoor temperature and incident solar radiation on vertical surfaces for a “reference” day.

5b. For a given transparent area and thermal mass the balance point temperature depends on the orientation of the glazing. For the reference day the lowest balance point temperature was obtained for orientation, followed by the S orientation of the glazed area. The highest balance point temperature was obtained for N orientation of the glazed area, followed by the W orientation. I have stated that at a certain transparent area and orientation the balance point

is lower if the thermal mass is higher. At $p=0.05$ significance level I have shown that the higher transparent area leads to lower balance point temperatures at similar thermal mass and orientation of glazing.

5c. For the reference day I have established the heating energy demand for a room with certain geometry. I have stated that the differences between the energy demands can be even 11% depending on the window size, its orientation and thermal mass. The highest deviations were registered between the N and E orientations in the case of largest transparent area and biggest thermal mass.

The meteorological data of the reference day are shown in Figure 3.5. It can be seen the asymmetry between the incident solar radiation for east and west orientations.

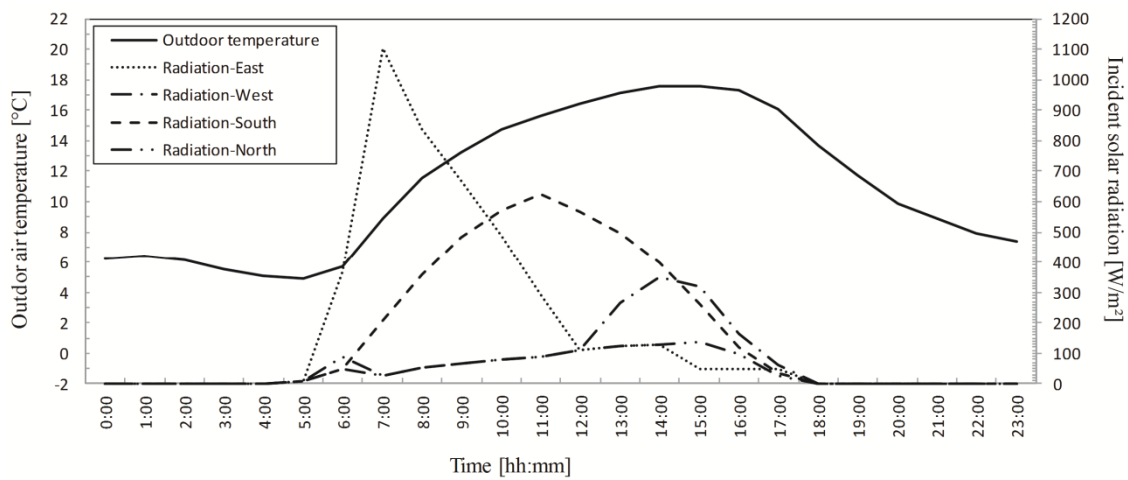
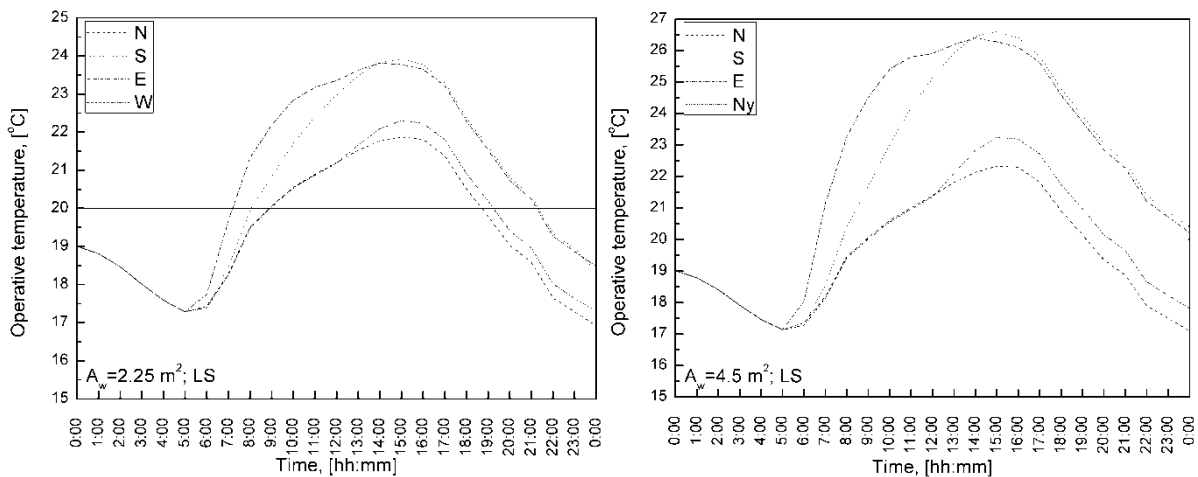


Fig. 3.5. Meteorological data of the reference day

The variation of the operative temperature depending on the orientation, thermal mass and window size are presented shown in Figure 3.6.



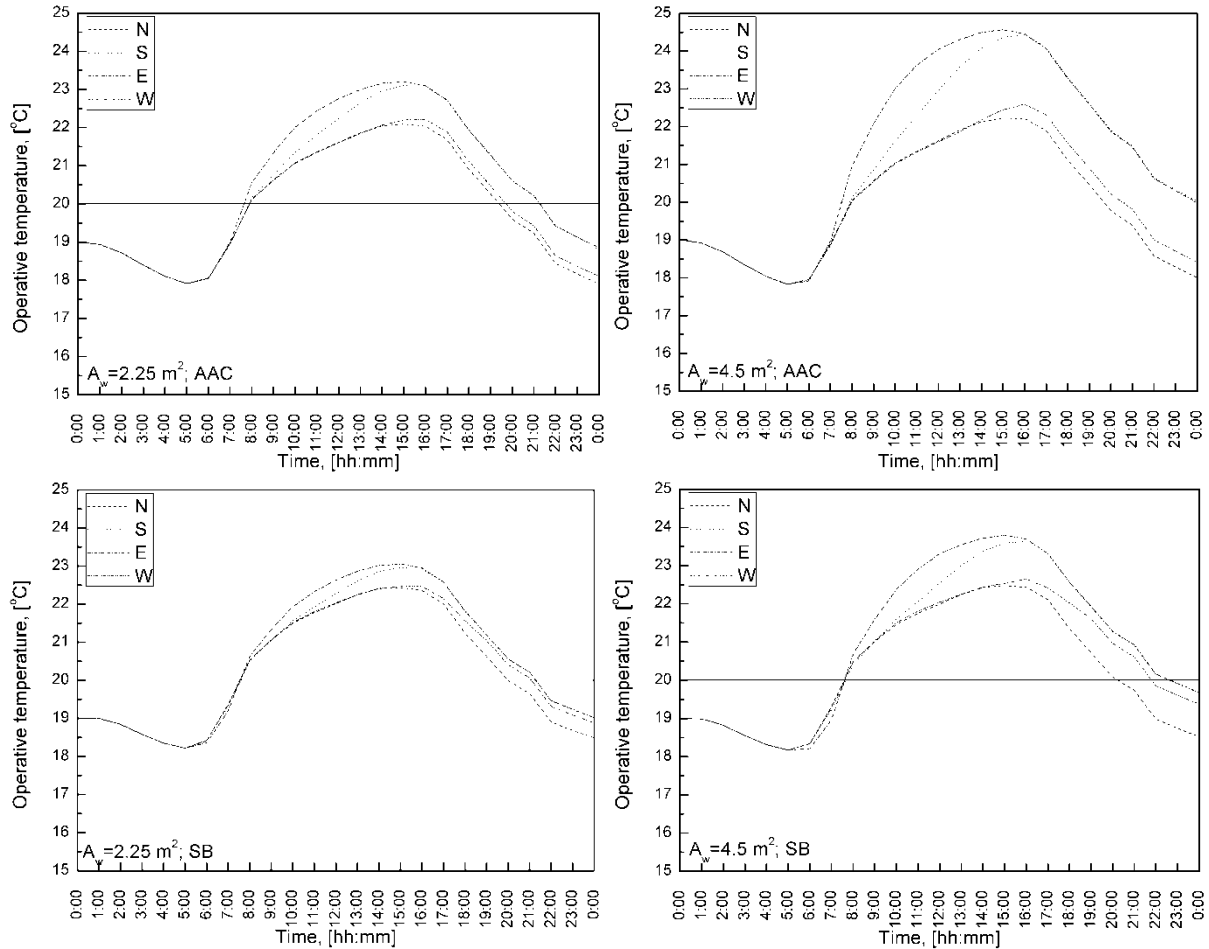


Fig. 3.6. Daily variation of the operative temperature

It can be observed that for the reference day the operative temperatures are almost similar for east and south, respectively north and west orientations of the glazed area. At similar room time constant, if the window size is doubled, the amplitude of the operative temperature will be higher with 1 K (heavy structure) and 2 K (light structure). At similar window size the differences between the amplitudes, depending on the thermal mass, are lower than 1K ($A_w=2.25 \text{ m}^2$) and 2.5 K ($A_w=4.5 \text{ m}^2$). At similar window size and similar thermal mass, the differences between the amplitudes, depending on the orientation, are between 0.5 K ($A_w=2.25 \text{ m}^2$ and heavy structure) and 4.5 K ($A_w=4.5 \text{ m}^2$ and light structure).

4. Summary

In Hungary heating represents an important share from total energy use of a building. Accordingly, the heating systems have to be dimensioned and the elements of a heating system have to be chosen as precisely as possible. This is important both in the case of the planning process of new buildings and the refurbishment process of existing buildings. Because the degree day method is one of the widely used calculation methodology of the heating energy demand, during my work I have focused especially on the determination of degree day curves and degree day values in Hungary. I have carried out a literature survey on the base temperature

and balance point temperature determination. The balance point temperature of a building is extremely important, since it is crucial in the determination of the length of the heating season. In order to calculate the balance point temperature the heat gains utilisation factor has to be known. I have analysed the relations of the utilization factor given by international standards and different scholars and based on the obtained results I have decided to use the Yohanis-Norton equation in my calculus.

I have performed the long-term analysis of heating degree day for Debrecen. The results obtained have proven that there are some differences between the energy demand for heating calculated using the degree day curve of years 1900-1930 and the energy demand calculated using the degree day curve of years 1964-2012. Furthermore for precise calculations, the heat island effects should be taken into account, otherwise the payback time of building refurbishment can differ even with 22% from the expected value. According to our research we stand for a calculation of heating demand of buildings based on a periodically variable degree day value. This can be extrapolated for the following decades and continuously adjusted based on the measured meteorological data. In cities the heat island can have important effects on the heat demand of a building, consequently the degree day values must be corrected so as to obtain appropriate data related to energy demand for heating.

It was shown that differences of even 10% can be registered throughout the country taking as reference the currently used degree day curve. These differences can lead to significant errors in determining the payback time of investments. Using the CarpathClim database the degree day was determined for different regions in Hungary.

In chapter 5 the outdoor dry bulb design temperatures used for dimensioning of central heating systems in Hungary were analysed. It was proven that, in case of currently used building materials, the stored heat and the time constant of the rooms permit the calculation of outdoor dry bulb design temperatures based on the daily average values. New outdoor design temperature values were determined for 1, 3, 5 and 7 day average outdoor temperatures at 99% and 99.5% confidence levels. It was found that the new design temperatures are significantly higher than the currently used values. The higher design temperature will lead to more precise dimensioning of the central heating system elements, consequently the built in thermal output will be closed to real heat demand of buildings. The reduction of the investment cost is higher in case of large buildings in comparison with single family houses. The cost difference depends on the new values of the outdoor design temperature and took values between 4-10% for the analysed cases. The higher outdoor design temperature will lead to higher seasonal efficiency in case of traditional boilers and lower seasonal efficiency in case of condensing boilers. The efficiency variation depends on the new value of the design temperature: the increase for traditional boilers can reach 0.6%, the decrease for condensing boilers can reach 1.2%. The energy saving by intermittent heating is lower in case of higher values of the outdoor design temperatures and, besides the time constant of the room/building depends on the utilization time of the room/building.

In the PASSOL laboratory of the University of Debrecen a series of measurements were carried out in years 2011-2014 (March-April months) in order to see the variation of the indoor air temperature. The main goal was the analysis of the balance point temperature for heating. Using the methodology given by standard MSZ EN ISO 13790 I have calculated the expected air

temperatures in the test room. The measured temperatures were compared with the calculated values. I have identified the periods of the days when the operative temperature in the test room exceeds 20 °C respectively 26 °C. Based on the meteorological data (dry air temperature and solar radiation) of the analysed 12 days (2011-2014) a “reference day” was worked out. Using the outdoor temperature and solar intensity data of the reference day, I have analysed the operative temperature variation in rooms with different thermal mass, different glazing areas and different orientations of the glazed area. The hourly values of the utilization factor have been determined. Using the degree day curve of the years 2008-2012 the degree day values respectively the heating energy demand of the analysed rooms (24 types) were determined. I have performed the calculations for other 24 cases ($U_w=1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$) no significant differences were found in comparison with the previous case ($U_w=1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$). I have stated that the differences between the heating energy demands can reach even 11% depending on the orientation, glazed area and thermal mass of the room. The highest energy demand for heating was found in the case of N orientation of the glazed area, lowest thermal mass and highest window area. At a given window area and thermal mass, the lowest energy demand for heating was obtained for S and E orientation of the glazed area. At a given window size and orientation of the window, the lower energy demand for heating is obtained at higher thermal mass.



Candidate: Zoltán Verbai
Neptun ID: K48Z6W
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10035595

Registry number: DEENK/148/2016.PL
Subject: Ph.D. List of Publications

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific article(s) in international journal(s) (3)

1. **Verbai, Z.**, Kocsis, I., Kalmár, F.: Outdoor dry bulb heating design temperatures for Hungary.
Energy. 93 (2), 1404-1412, 2015. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.050>
IF:4.844 (2014)
2. **Verbai, Z.**, Lakatos, Á., Kalmár, F.: Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day.
Energy. 76, 780-787, 2014. ISSN: 0360-5442.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.075>
IF:4.844
3. **Verbai, Z.**, Lázár, I., Kalmár, F.: Heating degree day in Hungary.
Environ. Eng. Manag. J. 13 (11), 2887-2892, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF:1.065





List of other publications

Hungarian book(s) (2)

4. **Verbai Z.:** Hőenergia-fejlesztés. Debreceni Egyetem, Debrecen, 137 p., 2014. ISBN: 9789634737889
5. **Verbai Z.,** Kalmár T., Csáky I., Kalmár F.: Épülettechnikai rendszerek és rendszerelemek. TERC Kft., Budapest, 212 p., 2013. ISBN: 9789639968646

Hungarian book chapter(s) (3)

6. **Verbai Z.:** Gáztechnika.
In: Épülettechnikai rendszerek és rendszerelemek. Írták: Verbai Zoltán, Kalmár Tünde, Csáky Imre, Kalmár Ferenc, TERC Kft., Budapest, 165-214, 2013. ISBN: 9789639968646
7. **Verbai Z.:** Középület fűtése magas hőmérsékletű ivóvízhálózatra csatlakoztatott hőszivattyúval.
In: Kutatások, kísérletek, eredmények [elektronikus dokumentum]. 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, 3-10, 2012. ISBN: 9789632692876
8. **Verbai Z.:** Egészségügyi létesítmény megújuló energiafelhasználásának vizsgálata:[Geotermikus hőenergia hőhasznosítása a balneológiában II.].
In: Korszerű gyakorlati épületgépészet. Írták: Barna Lajos, Barótfi István, Bánhidi László, Chappon Miklós, Cséki István, Csoknyai István, Csöppenszky Gábor, Dési Albert, Goda Róbert, Kajtár László, Kovács Károly, Magyar Tamás, Magyar Zoltán, Ronkay Ferenc, Szánthó Zoltán, Temesvári Jenő, Várfalvi János, Virág Zoltán, Verlag Dashöfer, Budapest, 1-7, 2012. ISBN: 9789639313743





Hungarian scientific article(s) in Hungarian journal(s) (1)

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

Total IF of journals (all publications): 10,753

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 10,753

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

14 June, 2016

